

UNTERRICHTSMAPPE

# Unser Lebensmittel Luft

Sachinformationen und  
Unterrichtsmaterialien  
rund ums Thema Luft

Herausgeber, Verleger:

Umwelt-Bildungs-Zentrum Steiermark  
A-8010 Graz, Brockmannngasse 53  
Tel.: 0316/835404  
Fax: 0316/817908  
Mail: [office@ubz-stmk.at](mailto:office@ubz-stmk.at)  
Homepage: [www.ubz-stmk.at](http://www.ubz-stmk.at)

Redaktion:

Mag. Michael Krobath

Redaktionelle Mitarbeit

Mag. Andreas Schopper, David Gspaltl

Layout und Grafik:

Mag. Michael Krobath, Coverdesign RoRo+Zec

Druck:

Druckerei Gugler

4. neu überarbeitete Auflage, Graz - November 2016

 **greenprint\***  
klimapositiv gedruckt

 Dieses Papier stammt aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern und kontrollierten Quellen.  
[www.pefc.at](http://www.pefc.at)



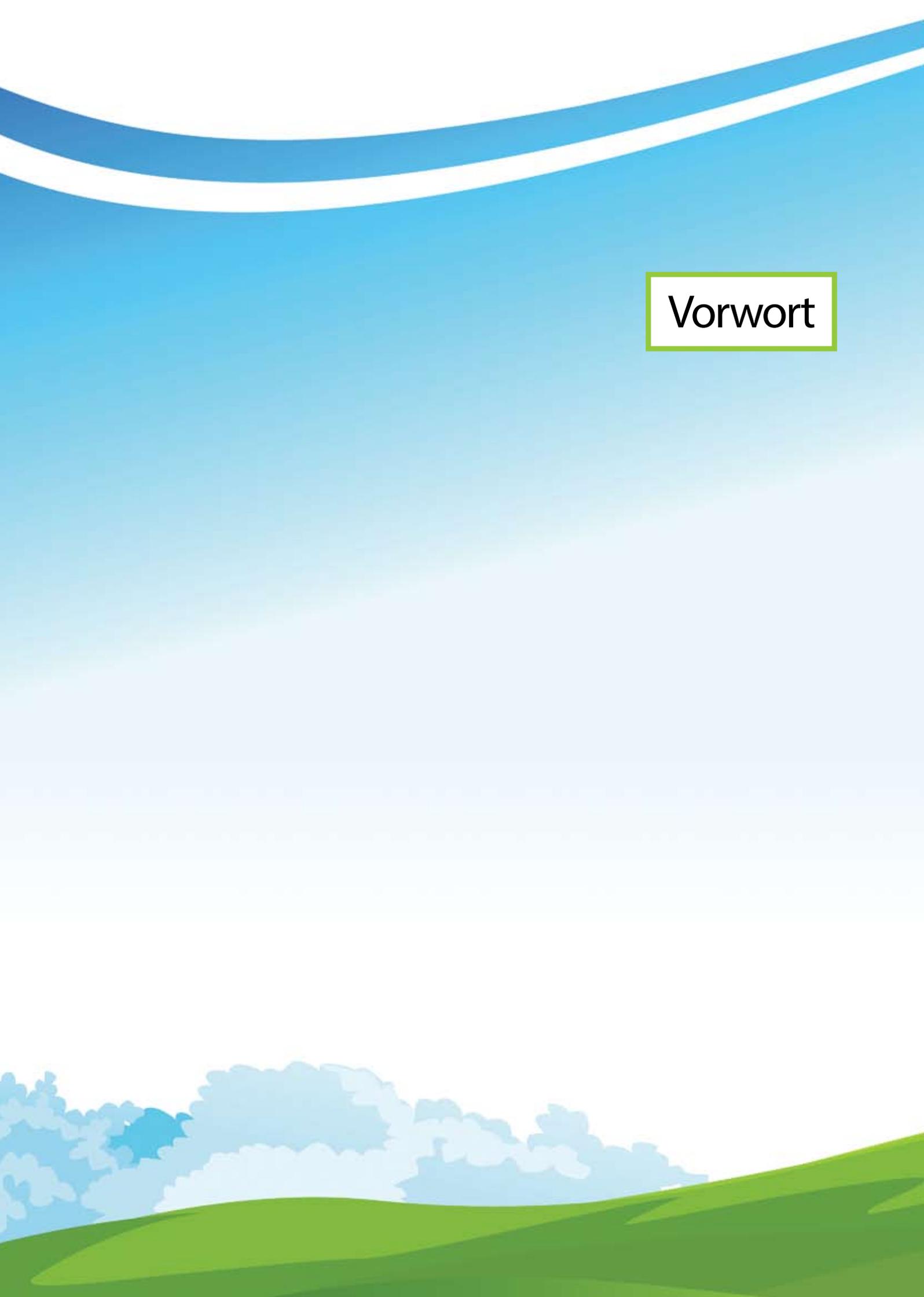
Höchster Standard für Ökoeffektivität.  
Cradle to Cradle™ zertifizierte  
Druckprodukte innovated by gugler\*.  
Bindung ausgenommen



Gedruckt nach der Richtlinie „Druckerzeugnisse“ des Österreichischen Umweltzeichens. gugler\*print, Melk, UWZ-Nr. 609, [www.gugler.at](http://www.gugler.at)

Die Erstellung dieser Unterrichtsmappe wurde vom Amt der Steiermärkischen Landesregierung (Abteilung 15 Energie, Wohnbau, Technik) beauftragt und finanziert. Daten, Grafiken und Fotos stammen - wenn nicht anders angegeben - aus den Beständen der Steiermärkischen Landesregierung bzw. des Umwelt-Bildungs-Zentrum Steiermark.





# Vorwort



## **Sehr geehrte Damen und Herren! Werte Pädagoginnen und Pädagogen!**

Das Thema Luft hat in der Umweltbildung in der Steiermark schon eine lange Tradition. Nachdem es Ende der 1980er-Jahre in Graz zu hohen Stickstoffdioxid-Belastungen gekommen war und damals Smog-Alarm ausgerufen werden musste, entstanden 1989 erste Unterrichtsmaterialien zum Thema „Smog“ speziell für Grazer Schulen und 1990 wurde die erste Auflage der Unterrichtsmappe „Unser Lebensmittel Luft“ veröffentlicht. Im Vordergrund stand damals das erwähnte Stickstoffdioxid, aber auch noch Schwefeldioxid, obwohl letzteres im Vergleich zu den 1970/80er-Jahren bereits deutlich reduziert werden konnte.

1993 wurde die Mappe in einer zweiten, wesentlich umfangreicheren Auflage den steirischen Schulen angeboten.

2004 kam es zu einer gänzlichen Neubearbeitung, da sich die Situation dahingehend verändert hatte, dass seit 2001 nach Vorgaben der EU neben dem Schwebstaub auch Feinstaub zunehmend an Bedeutung gewann. Die hohen ermittelten Werte führten neben umfangreichen Aktivitäten und Maßnahmen zur Gegensteuerung (Luftreinhalteprogramme) auch zu einer Verstärkung des Umweltbildungsangebotes in steirischen Schulen zu diesem Thema.

Die vorliegende vierte Auflage der Mappe „Unser Lebensmittel Luft“ ist eine Folge der Weiterentwicklung im Bereich Luftreinhaltung in der Steiermark. Neue gesetzliche Vorgaben, zahlreiche weitere Maßnahmen zur Luftreinhaltung, neue Erkenntnisse, neue Messmethoden und -schwerpunkte (wie etwa die verstärkte Beachtung von Inhaltsstoffen im Feinstaub) sind in die Erstellung dieser Auflage eingeflossen.

Da Ihre Schülerinnen und Schüler die zukünftigen VerantwortungsträgerInnen in unserem Land sein werden, soll die vorliegende Mappe Ihnen dabei helfen, den aktuellen Wissensstand rund um unsere Luft handlungsorientiert dieser Generation näherzubringen und sie dafür zu sensibilisieren.

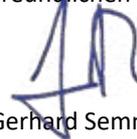
Zahlreiche Medienberichte, v. a. zum Thema der Feinstaub-Problematik, sorgen zwar jährlich für Schlagzeilen, bieten aber kaum Platz für eine nähere Betrachtung der Hintergründe. Das Land Steiermark möchte durch die Beauftragung und Finanzierung der vorliegenden Materialien einen Beitrag dazu leisten, hier fundierte Informationen in die Schulen und weiter in die Familien der Schülerinnen und Schüler zu bringen.

Was hinter den oft zitierten Schlagworten steckt und warum unser Lebensmittel Luft tatsächlich geschützt werden muss, erfahren Sie auf den folgenden Seiten.

Ich darf Sie herzlich dazu einladen, von diesem Angebot im Interesse unserer Jugend reichhaltig Gebrauch zu machen und diese Unterrichtsmappe fächerübergreifend einzusetzen.

Für Ihre engagierte Mitarbeit und Aufklärungsarbeit für den Schutz unserer Luft darf ich Ihnen herzlich danken.

Mit freundlichen Grüßen



Dr. Gerhard Semmelrock  
Amt der Steiermärkischen Landesregierung  
Abteilung 15 Energie, Wohnbau, Technik





# Inhaltsverzeichnis



## ZUR VERWENDUNG

Thema Luft im Unterricht .....	1
Lehrplanbezüge .....	1
Mögliche Lernziele .....	2
Kompetenzen in der Umweltbildung .....	3
Aufbau der Mappe .....	4

## FACHINFORMATIONSTEIL

### 1. Die Atmosphäre - Unsere Lufthülle

1.1. Zusammensetzung der Luft .....	8
1.2. Stockwerkbau der Atmosphäre .....	11

### 2. Luft und Gesundheit

2.1. Die Atmung .....	15
2.2. Atemwegserkrankungen .....	16
2.2.1. Entzündungen .....	17
2.2.2. Weitere Erkrankungen der Lunge .....	20
2.3. Weitere Wirkungen auf den Menschen .....	20
2.4. Wirkungen in der Natur .....	21
2.5. Wirkungen auf Materialien .....	22
2.6. Globale Wirkungen - Klimawandel .....	23

### 3. Die Steiermark und ihre Luft

3.1. Voraussetzungen für die Entwicklung der Schadstoffproblematik .....	26
3.1.1. Rolle der Landschaftsgliederung .....	26
3.1.2. Rolle der klimatischen Rahmenbedingungen .....	28
3.1.3. Schlussfolgerungen .....	32
3.2. Schutz der Luft - gesetzliche Richtlinien .....	33

### 4. Die wichtigsten Luftschadstoffe

4.1. Emission - Transmission - Immission .....	36
4.2. Partikel, Schwebstaub, Feinstaub .....	38
4.3. Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ ) .....	47
4.4. Ozon ( $\text{O}_3$ ) .....	50
4.5. Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) .....	55
4.6. Kohlenstoffmonoxid (CO) .....	58
4.7. Kohlenwasserstoffe ( $\text{C}_n\text{H}_m$ ) .....	60
4.8. Gerüche .....	63

### 5. Messung der Luftgüte in der Steiermark

5.1. Geschichtlicher Überblick .....	68
5.2. Messstationen und Messmethoden .....	68
5.2.1. Automatisches Luftgüte-Messnetz .....	69
5.2.2. Integrale Messungen .....	70
5.2.3. High-Volume-Messungen .....	70
5.2.4. Bio-Indikatoren .....	71
5.2.5. Meteorologisches Messnetz .....	72
5.2.6. Ausbreitungsmodelle .....	73

## PRAXISTEIL

Zur Verwendung des Praxisteils .....		77
Übung 1		Gas-Steckbriefe ..... 79
Versuch 1		CO <sub>2</sub> erlebbar machen ..... 87
Versuch 2		Luftwaage ..... 89
Outdoor 1		Troposphärenhöhe schätzen ..... 91
Versuch 3		Atemluft-Messgerät ..... 95
Versuch 4		CO <sub>2</sub> in der Atemluft ..... 97
Übung 2		Einstieg „Luftverschmutzung“ ..... 100
Übung 3		Niederschlagsprofil ..... 102
Übung 4		Zeitungsartikel sammeln ..... 109
Versuch 5		Bau eines Inversionsmodells ..... 111
Spiel 1		Luft-Dingsbums ..... 114
Versuch 6		Staubsauger-Versuch ..... 124
Spiel 2		Feinstaub-Quartett ..... 127
Spiel 3		Feinstaub-Paare ..... 136
Übung 5		Grenzwert-Überschreitung ..... 142
Übung 6		Feinstaub in den Atemwegen ..... 145
Übung 7		Luftschadstoffbilanz ..... 149
Darstellung 1		Rollenspiel Interessensgruppen ..... 151
Darstellung 2		Forumtheater ..... 156
Versuch 7		Ozonbelastung messen ..... 158
Übung 8		Das Rätsel vom Masenberg ..... 159
Outdoor 2		Besichtigung Luftgüte-Messstation ..... 163
Outdoor 3		Langzeit-Staubmessung ..... 164
Übung 9		Österreichisches Bioindikatornetz ..... 169
Glossar .....		173
Quellenangaben .....		179
Kontaktadressen .....		183



Zur Verwendung



## Thema Luft im Unterricht

Fächerübergreifendes und projektorientiertes Arbeiten ist in allen Schulstufen zu fördern. Das Thema „Luftreinhaltung“ eignet sich besonders für den fächerverbindenden Unterricht in Geographie und Wirtschaftskunde (GW), Biologie- und Umweltkunde (BU), im Ökologieunterricht sowie in Physik und Chemie (PC), wofür sich auch entsprechende Anknüpfungspunkte in den jeweiligen Lehrplänen finden. Viele Einsatzmöglichkeiten der vorliegenden Materialien in unterschiedlicher Intensität bieten sich in allen Schulstufen, da die Thematik Luft und Luftschadstoffe eine äußerst sensible und aktuelle ist. Verständnis für die Natur und Umwelt und in diesem Kontext für die Luft als Lebensgrundlage des Menschen soll aufgebaut werden. Die kritische Auseinandersetzung mit Statistiken, die Aufarbeitung von räumlichen Daten und Informationsmaterial und das Kennenlernen der Auswirkungen wachsender Verkehrsströme auf die Umwelt sind weitere Lehrplanforderungen.



Abb. 1: Schülerin bei der Untersuchung von Staubproben

## Lehrplanbezüge

Die vorliegende Mappe ist für den Einsatz ab der Sekundarstufe I konzipiert. Lehrplanbezüge finden sich auch in höheren Schulstufen, weshalb die Mappe in allen allgemein bildenden und berufsbildenden Schulen zum Einsatz kommen kann. Diese Lehrplanbezüge zeigen sich nicht ausschließlich bei den Schlagworten „Luft“ und „Luftschadstoffe“, sondern sind im komplexen Bereich Umwelt zu finden. In Folge werden die wichtigsten hierfür in Frage kommenden Lehrplanpassagen angeführt:

## Sekundarstufe I

### 5. Schulstufe

- Erkennen, wie Menschen mit ihrer Umwelt umgehen
- Verantwortungsvoller Umgang mit der Umwelt
- Erkennen des Zusammenhangs zwischen Gesundheit und Umweltbedingungen

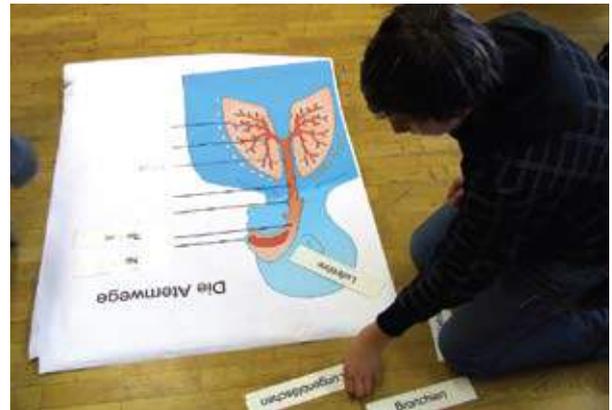


Abb. 2: Zusammenhänge zwischen Luftqualität und Gesundheit werden beleuchtet.

### 6. Schulstufe

- Erfassen von Merkmalen, Aufgaben und Umweltproblemen in Ballungsräumen
- Erfassen der Auswirkungen von Betrieben und Produktionsprozessen auf die Umwelt
- Erwerben grundlegender Informationen und Fertigkeiten für die richtige Wahl von Verkehrsmitteln

### 7. Schulstufe

- Vergleichen unterschiedlicher Standortpotenziale zentraler und peripherer Gebiete an den Beispielen Verkehr, Infrastruktur, Versorgung und Umweltqualität
- Erkennen des Zusammenhangs zwischen Gesundheit und Umweltbedingungen

### 8. Schulstufe

- Die Verantwortung der Menschen für die „Eine Erde“ erkennen
- Erkennen, dass manche Gegenwarts- und Zukunftsprobleme nur überregional zu lösen sind

## AHS - Oberstufe

### 9. und 10. Schulstufe

- Die Bedeutung der Wahrnehmung und Bewertung von Umwelt für das menschliche Handeln erkennen
- Kenntnisse der Probleme des Umweltschutzes aus betriebs- und volkswirtschaftlicher Sicht unter Berücksichtigung technologischer Aspekte erlangen
- Daten in Diagramme umsetzen und interpretieren
- Landschaften als Lebensräume ökonomisch und ökologisch einschätzen



Abb. 3: Messdaten werden interpretiert.

### 11. Schulstufe

- Naturräumliche Voraussetzungen sowie wirtschaftliche, politische und gesellschaftliche Interessen als Ursachen ökologischer Probleme erkennen
- Bereitschaft entwickeln für einen sorgsamem Umgang mit den knappen Ressourcen Luft, Wasser und Boden

### 12. Schulstufe

- Umweltprobleme expandierender Stadtregionen erkennen
- Ursachen und Auswirkungen wachsender Verkehrsströme kennen lernen

## BHS (exemplarisch)

### HAK (I.-V. Jahrgang)

- Regionale ökologische Zusammenhänge erkennen und ihre Bedeutung im Rahmen lebensweltrelevanter Fragestellungen einschätzen

- Raumordnung, Raumplanung und Landschaftsschutz, Nutzungskonflikte

### HLW (I.-V. Jahrgang)

- Die Natur- und Humanfaktoren auf der Erde erklären und ihre Vernetzung in Öko- und Wirtschaftssystemen erläutern
- Ökonomische Handlungsmuster und die sich daraus ergebenden Verteilungskonflikte und Umweltschäden erklären und zu Problemlösungsansätzen kritisch Stellung nehmen



Abb. 4: Gemeinsames Finden von Problemlösungen.

### HTL (I.-V. Jahrgang)

- Über die Begrenztheit der Ressourcen der Erde Bescheid wissen und Konflikte um ihre Nutzung und Verteilung erklären
- Wechselwirkung zwischen Ökosystemen und dem wirtschaftenden Menschen erläutern

## Mögliche Lernziele

Bei den folgenden Zielen handelt es sich um Vorschläge auf der Grob- und Feinzielebene in Ergänzung zu den Lehrplanteilen. Die SchülerInnen sollen ...

- die unterschiedlichen Luftschadstoffe und ihre Eigenschaften kennen (PC)
- die besonderen Umweltbelastungen in den verschiedenen Jahreszeiten in unterschiedlichen Regionen und ihre Auswirkungen für die BewohnerInnen beurteilen (GW, BU)
- den Zusammenhang zwischen Schadstoffbelastung und naturräumlichen Gegebenheiten erkennen und deren Auswirkungen benennen (GW, BU)
- sehr stark belastete Gebiete naturräumlich und kulturräumlich zuordnen

- Messwerte in Diagramme umsetzen, lesen und interpretieren
- positive und negative Veränderungen aus Zeitreihen herauslesen und begründen
- die Umweltprobleme der unterschiedlichen Regionen der Steiermark kennen (GW, BU)
- die wichtigsten Luftschadstoffe kennen und die unterschiedliche regionale Intensität der Belastung mit Hilfe von Karten und Diagrammen feststellen (PC, GW)
- Immissionswerte lesen, vergleichen und interpretieren
- langjährige Aufzeichnungen über unterschiedliche Schadstoffe lesen und in Diagrammen darstellen
- regionale Differenzierung der Schadstoffbelastung mit Hilfe von Karten erklären
- Maßnahmen der Umweltverbesserung und ihre Nachhaltigkeit in Diagrammen ablesen
- Zusammenhänge zwischen Luftbelastungen und wirtschaftlicher Nutzung erkennen und verstehen (GW, BU)

### Kompetenzen in der Umweltbildung

Die Inhalte der Mappe richten sich weitgehend nach dem „Grundsatzlerlass Umweltbildung für nachhaltige Entwicklung“ des Bundesministeriums für Bildung.



Abb. 5: Eigene Ideen und Meinungen werden präsentiert.

Eine kompetenzorientierte Ausrichtung des Lernangebotes soll demnach den Schülerinnen und Schülern kognitive, emotionale und handlungsorientierte Entwicklungen ermöglichen. In Folge werden exemplarisch einige der zu erreichenden Kompetenzen und deren Anknüpfungspunkte (->) in der vorliegenden Mappe aufgelistet:

- Die Schülerinnen und Schüler sollen ökologische, ökonomische und soziale Fakten und systemische Zusammenhänge erkennen, interpretieren und präsentieren.  
> *In den Unterlagen wird zB die Verknüpfung der aktuellen Luftschadstoffproblematik mit der geschichtlichen und wirtschaftlichen Entwicklung der Steiermark, der geographischen Lage und der Topographie des Bundeslandes beleuchtet.*
- Die Schülerinnen und Schüler sollen Veränderungen in der Umwelt hinsichtlich möglicher ökologischer, ökonomischer und sozialer Auswirkungen einschätzen können.  
> *Experimente zu Luftschadstoffen oder die Betrachtung gesundheitlicher Folgen werden dazu im Praxisteil der Mappe angeboten.*
- Die Schülerinnen und Schüler sollen sich mit gegensätzlichen Standpunkten und Interessen auseinandersetzen und unterschiedliche Perspektiven abschätzen und beurteilen können.  
> *Bei der Festlegung von Maßnahmen zur Vermeidung von Luftschadstoffen fließen oft viele Interessen ein. Ein Rollenspiel aus dem Schulalltag zeigt unterschiedliche Perspektiven auf.*
- Die Schülerinnen und Schüler sollen achtsam mit sich, ihren Mitmenschen und der Umwelt in ihren jeweiligen Lern-, Arbeits- und Lebensräumen umgehen.  
> *Hauptmotiv der Mappe ist, die Luft als täglich konsumiertes Lebensmittel zu erkennen, was zu einem achtsamen Umgang damit führen soll.*
- Die Schülerinnen und Schüler sollen die Auswirkungen ihres Handelns auf schulischer, lokaler, regionaler und globaler Ebene abschätzen können.  
> *Es wird berechnet, welche Emissionen das eigene Verhalten (zB Mobilitätsverhalten) bedingt.*

Die Mappe soll im Sinne der Umweltbildung bzw. des Grundsatzlerlasses „Umweltbildung für nachhaltige Entwicklung“ aufzeigen „wie die komplexe Verflechtung vielfältiger gesellschaftlicher Einflüsse zum gegenwärtigen Zustand unserer Umwelt geführt hat“ und soll „das Bewusstsein, das Verantwortungsgefühl und die Kompetenz der Schülerinnen und Schüler für die Gestaltung ihrer Zukunft stärken“.

## Aufbau der Mappe

Die Mappe gliedert sich in 5 Kapitel eines Fachinformationsteiles und einen Praxisteil. Kapitel 1 des Fachinformationsteiles widmet sich unserer Atmosphäre und den Gasen darin. Kapitel 2 beschäftigt sich damit, welche Aufgaben einzelne Gase der Luft in unserem Körper haben und wie sich Luftschadstoffe auf unsere Gesundheit auswirken. Kapitel 3 blickt auf die geschichtlichen und geographischen Voraussetzungen für die Entwicklung der Luftschadstoffproblematik speziell in der Steiermark und dient als eine Grundlage für das Verständnis der Verbreitung einzelner Luftschadstoffe, die in Kapitel 4 näher beleuchtet werden. In diesem Hauptkapitel wird auf mehrere Fallbeispiele aus der Steiermark eingegangen, um die Alltagsnähe der Thematik „Luftschadstoffe“ zu vergegenwärtigen. Kapitel 5 zeigt abschließend noch diverse Methoden der Ermittlung und Messung von Luftschadstoffen.

In den einzelnen Kapiteln finden sich am Blatt- rand jeweils Symbole (Abb. 6) als Verweise auf zum fachlichen Inhalt passende praktische Umsetzungsmöglichkeiten im Praxisteil. Dabei handelt es sich um Anleitungen inkl. Beilagen aus folgenden Methodenbereichen:



### Versuch

Einfache Experimente und Versuchsanordnungen, die alle auch abseits des Chemie- und Physikunterrichts und ohne Labor bzw. Labormaterialien durchgeführt werden können.



### Übung

Aufgaben wie Datenrecherchen oder Berechnungen mit Arbeitsblättern.



### Spiel

Zur spielerischen Vertiefung von fachlichen Inhalten.



### Darstellung

Rollenspiele oder schauspielerische Aktivitäten zum Thema.



### Outdoor

Beispiele für Aktivitäten außerhalb der Schule.

Begriffe im Lauftext, vor denen das Symbol → steht, werden im Glossar im Praxisteil näher

erläutert. Alle anderen Fachausdrücke (zB Inversion, Halbstundenmittelwert, ...) werden schon in den einzelnen Kapiteln erläutert.



Abb. 6: Verweise im Fachinformationsteil auf den Praxisteil.

Sämtliche Inhalte der Mappe sind für die Verwendung in der Schule freigegeben und dürfen vervielfältigt werden. Für weitere Verwendung einzelner Teile der Mappe im Bildungsbereich ist eine Quellenangabe erforderlich.



Grafiken aus dem Fachinformationsteil, die im Unterricht zur Vertiefung des Themas von Nutzen sein könnten, sind in der Mappe mit dem Download-Symbol versehen. Diese Darstellungen finden sich dann als Dateidownloads auf [www.ubz-stmk.at/luft](http://www.ubz-stmk.at/luft) unter dem dortigen Punkt „Downloads“. Originalquellen anderer Grafiken finden sich jeweils in der Bildunterschrift.

Nicht behandelt bzw. in einzelnen Passagen nur kurz angeschnitten wird das wichtige Thema Innenraumluft, da es den Rahmen dieser Mappe sprengen würde. Es wird jedoch auf diesbezügliche Unterrichtsmaterialien auf [www.ubz-stmk.at](http://www.ubz-stmk.at) verwiesen.



# FACHINFORMATIONSTEIL





# 1. Die Atmosphäre - Unsere Lufthülle

## 1.1. Zusammensetzung der Luft

Obwohl Luft nur schwer „greifbar“ ist, handelt es sich dabei doch um das einzige Element, das uns ab dem Moment der Geburt umhüllt und einschließt. Trotz ihrer „Unsichtbarkeit“ ist Luft das Lebenselixier unseres Planeten. Das durchsichtige Gasgemisch steuert über den natürlichen Treibhauseffekt den Wärmehaushalt in der Atmosphäre, machte Leben so überhaupt erst möglich und ist für uns unser Lebensmittel Nr. 1, denn ohne Luft wäre unser Leben in wenigen Minuten zu Ende.

Gase kommen in unserer Atmosphäre in sehr unterschiedlichen Konzentrationen vor und fast die gesamte Luft besteht nur aus zwei Gasen. Jedem Gas kommt aber eine besondere Rolle zu. Tab. 1 fasst die häufigsten Gase zusammen:

Name	Formel	Volumsanteil
Stickstoff	N <sub>2</sub>	78,08 %
Sauerstoff	O <sub>2</sub>	20,95 %
Argon	Ar	0,93 %
<b>Zwischensumme</b>		<b>99,96 %</b>
Alle weiteren Gase werden als →Spurengase bezeichnet:		
Kohlenstoffdioxid	CO <sub>2</sub>	0,04 %
Neon	Ne	18,1 ppm*
Helium	He	5,2 ppm
Methan	CH <sub>4</sub>	1,7 ppm
Krypton	Kr	1,1 ppm
<b>... und viele weitere</b>		

Tab. 1: Durchschnittliche Zusammensetzung von trockener Luft (\* 1 ppm = 0,0001 %). Aufgrund von Aufrundungen ergibt die Summe insg. mehr als 100 %.

### Stickstoff (N<sub>2</sub>)

Wenn man von Stickstoff als Gas spricht, meint man damit den „molekularen Stickstoff“, also die Verbindung aus zwei Stickstoff-Atomen mit der Summenformel N<sub>2</sub>.

Obwohl N<sub>2</sub> das mit Abstand häufigste Gas in der Atmosphäre ist, können Pflanzen den gasförmigen Stickstoff der Luft nicht unmittelbar

nutzen. Stickstoff muss deshalb in eine Form überführt werden, die von den Pflanzen verwertbar ist. Das geschieht u. a. durch Knöllchenbakterien oder freilebende Mikroorganismen. Auch bei Gewittern können Blitze N<sub>2</sub> in freie Stickstoffatome aufspalten, die sich mit Sauerstoff verbinden und mit dem Regen dann in den Boden gelangen. In der Pflanze fördert Stickstoff dann das Wachstum.

Auch für Mensch und Tier gilt, dass das Gas Stickstoff (N<sub>2</sub>) nicht direkt verwertbar und deshalb auch nicht am Gasaustausch in der Lunge beteiligt ist. Wir nehmen Stickstoff aber zB durch die Nahrung auf. Danach kann er in körpereigene Proteine, Aminosäuren, Enzyme, Hormone, DNS usw. eingebaut werden. Stickstoff ist also lebenswichtig.

Das Gas Stickstoff gab es in der Uratmosphäre (Abb. 7) schon vor über vier Milliarden Jahren, allerdings nur in Form von Spuren. Es war damals ein Ergebnis vulkanischer Tätigkeit.



Abb. 7: Illustration der Uratmosphäre, wie ein Künstler sie sich vorstellt (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

Nach Abkühlung der Erde und infolge hoher UV-Einstrahlung bedingten →photochemische Prozesse sowie frühe Stoffwechselfvorgänge u. a. die Ansammlung von Stickstoff in der Atmosphäre. Vor etwa 3,4 Milliarden Jahren war Stickstoff dann vermutlich der Hauptbestandteil der Atmosphäre.

### Sauerstoff (O<sub>2</sub>)

Auch hier meint man mit Sauerstoff als Gas den „molekularen Sauerstoff“, also die Verbindung aus zwei Sauerstoff-Atomen mit der Summenformel O<sub>2</sub>.

Fast alle Lebewesen benötigen Sauerstoff zum Leben, in hohen Konzentrationen dagegen ist

er für die meisten Lebewesen giftig. Das farb- und geruchlose Gas ist außerdem an vielen Verbrennungs- und Korrosionsvorgängen beteiligt.

Die Bildung von Sauerstoff spielte eine entscheidende Rolle bei der Entstehung unserer heutigen Atmosphäre. Vor etwa 2,3 Milliarden Jahren reicherte sich Sauerstoff in den Ozeanen an, der v. a. von Cyanobakterien (früher als Blaualgen bezeichnet) und Algen produziert wurde. Von dort konnte er in die Atmosphäre entweichen. Vor rund 1 Milliarde Jahren betrug die Sauerstoffkonzentration der Atmosphäre allerdings erst 3 %. Erst vor 500 bis 600 Millionen Jahren folgte dann ein rascherer Anstieg der Luftsauerstoffkonzentration auf 12 % aufgrund verstärkter Freisetzung von Sauerstoff durch Photosynthese.

Das heutige Niveau wurde erstmals vor etwa 350 Millionen Jahren erreicht, hat aber seit damals mehrere starke Schwankungen durchgemacht (Abb. 8).

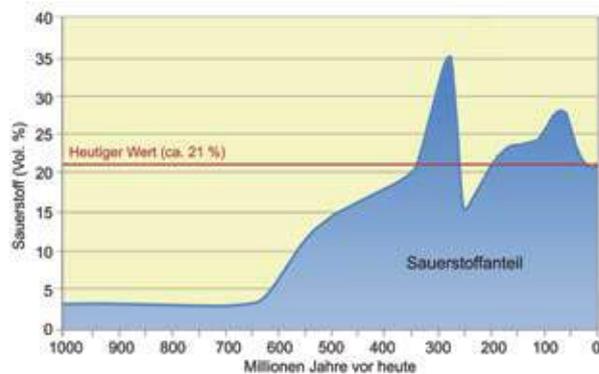


Abb. 8: Entwicklung des Sauerstoffanteils in der Erdatmosphäre in den letzten 1000 Millionen Jahren

## Argon (Ar)

Argon ist das häufigste auf der Erde vorkommende →Edelgas und trotz der geringen Konzentration in der Luft der dritthäufigste Bestandteil der Erdatmosphäre. Dieser Anteil ist großteils auf den Zerfall eines Kaliumisotops zurückzuführen, bei dem Argon entsteht.

Wie die anderen Edelgase hat Argon auf Grund seiner Reaktionsträgheit keine biologische Bedeutung. Anwendung findet es jedoch in Forschung und Industrie.

## Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>)

Kohlenstoffdioxid (oder Kohlendioxid) ist eine Verbindung aus Kohlenstoff und Sauerstoff und das bekannteste und häufigste Spurengas in der Atmosphäre. Dass es trotz seiner geringen Konzentration von 0,04 % über einen so hohen Bekanntheitsgrad verfügt, liegt an seiner enormen Bedeutung für das Leben auf der Erde und seinen Einfluss auf das Weltklima.

Es entsteht sowohl bei der Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Substanzen unter ausreichender Sauerstoffzufuhr als auch im Organismus von Lebewesen als Produkt der Zellatmung. Kohlenstoffdioxid ist damit ein wichtiger Bestandteil unserer Existenz und des globalen Kohlenstoffzyklus.

Schon vor über vier Milliarden Jahren war CO<sub>2</sub> als ein Produkt des Vulkanismus ein bedeutender Bestandteil der damaligen Atmosphäre mit bis zu 10 % Anteil. Im Laufe der nächsten Jahrmillionen wurde Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre in großen Mengen in den neu entstandenen Ozeanen gelöst und Kohlenstoff wurde auch in Form mächtiger Ablagerungen am Ozeanboden deponiert. Außerdem entzog der Aufbau von Biomasse, also das Wachstum von Lebewesen, der Atmosphäre CO<sub>2</sub> und sein Anteil an der Luftzusammensetzung verringerte sich dadurch. Trotzdem blieb der Kohlenstoffdioxid-Anteil im Verlauf der weiteren Erdgeschichte aufgrund unterschiedlichster Ursachen großen Schwankungen unterworfen. Für die letzten ca. 800 000 Jahre kann man diesen Anteil gut über die Analyse von Eisbohrkernen rekonstruieren. Für weiter zurückreichende Betrachtungen wird zB die der Zahl der Spaltöffnungen in fossilen Blättern verwendet.

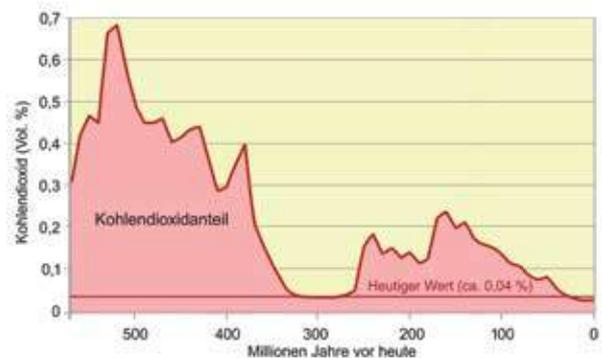


Abb. 9: Eine mögliche Entwicklung des Kohlendioxidanteils in der Erdatmosphäre in den letzten 550 Millionen Jahren (Quelle: GEOCARB II - Modellsimulation des Kohlenstoffkreislaufs)

Diese Methoden sind aber mit großen Unsicherheiten behaftet, weshalb Abb. 9 nur einen möglichen Verlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration der letzten ca. 550 Millionen Jahre zeigt.

Dass im Lauf der Erdgeschichte der CO<sub>2</sub>-Gehalt meist viel höher war als heute, darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass das aktuelle Ansteigen der CO<sub>2</sub>-Konzentration Auswirkungen auf das heutige Leben auf der Erde hat. Nicht umsonst findet in den Medien CO<sub>2</sub> vorrangig durch seine Bedeutung als Treibhausgas Niederschlag. Es ist für die lebensfreundlichen Temperaturen auf der Erde stark mitverantwortlich. Vom Menschen zusätzlich in der Atmosphäre angereichert hat es aber auch eine hohe Relevanz für den Klimawandel und die gegenwärtige Konzentration von 0,04 % ist wahrscheinlich sogar der höchste Wert seit 15 bis 20 Millionen Jahren. Dieses Thema wird in dieser Mappe aber nur kurz angeschnitten (Kap. 2.6.) und es wird auf spezielle Klimaprojekte für Schulen (siehe [www.ubz-stmk.at/klima](http://www.ubz-stmk.at/klima)) verwiesen.

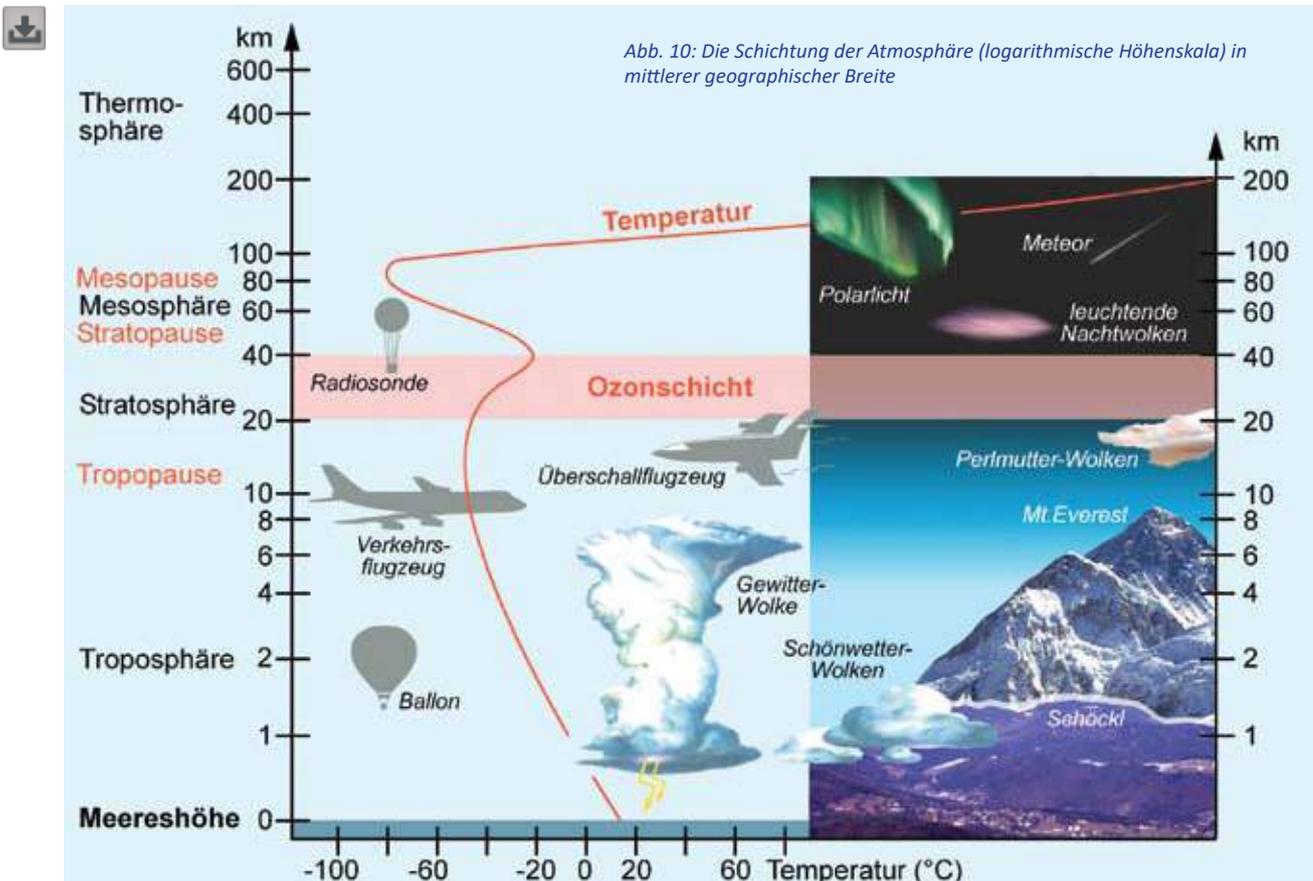
## Neon (Ne)

Neon ist wie Argon ein Edelgas und hat somit aufgrund seiner Reaktionsträgheit keine biologische Bedeutung. Seit Entstehung der Erde ist ein Großteil des Neons aus der Atmosphäre entwichen. Auf Grund der komplizierten Herstellung im Vergleich zum ähnlichen Argon wird Neon in der Technik nur in kleineren Mengen verwendet.

## Helium (He)

Das Edelgas Helium ist nach Wasserstoff zwar das zweithäufigste Element im Universum, kommt aber in der Erdatmosphäre nur in äußerst geringer Konzentration vor. Auf der Erde wird es beim Zerfall verschiedener radioaktiver Elemente gebildet. Der Großteil des auf der Erde vorhandenen Heliums ist daher nichtstellaren Ursprungs.

Das entstandene Helium sammelt sich in natürlichen Erdgasvorkommen, weshalb Helium aus Erdgas gewonnen werden kann und dann in Industrie und Technik Anwendung findet.



## Methan (CH<sub>4</sub>)

Bereits in der Uratmosphäre der Erde vor über vier Milliarden Jahren war Methan in sehr geringem Maße vorhanden. Erst später führten frühe Stoffwechselvorgänge von Bakterien zu einer Erhöhung des Methangehalts. Auch heute wird ein großer Teil des Methans auf der Erde durch Mikroorganismen gebildet und es ist auch ein Hauptbestandteil von Erdgas, weshalb Methan auch vorwiegend als Heizgas zur Wärmeerzeugung und zum Betrieb von Motoren genutzt wird. Außerdem ist Methan ein hochwirksames Treibhausgas.

## Krypton (Kr)

Krypton ist ein Edelgas, somit sehr reaktionsträge und kommt nur äußerst geringfügig in der Atmosphäre vor. Die Gewinnung von Krypton erfolgt ausschließlich im Rahmen des Linde-Verfahrens aus der Luft und der größte Teil davon wird als Füllgas für Glühlampen verwendet.

## Weitere Gase

Neben den hier nur fünf erwähnten Spurengasen finden sich in der Luft noch etliche weitere wie Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O), Ozon (O<sub>3</sub>), Kohlenstoffmonoxid (CO), Xenon (Xe) u. v. a.

## Weitere Inhaltsstoffe

„Reine“ Luft ist aber nicht nur ein Gasgemisch. Sie enthält meist auch feste Substanzen in Form kleiner Partikel (atmosphärisches Aerosol), die aus natürlichen Quellen stammen und außerdem Wasserdampf, der an diesen Partikeln kondensieren kann (Wolken, Nebel).

## 1.2. Stockwerkbau der Atmosphäre

Die Erdatmosphäre hat eine Masse von etwa  $5,15 \times 10^{18}$  Kilogramm, ausgeschrieben sind das 5 150 000 000 000 000 000 Kilo oder auch 5 150 000 Gigatonnen. Diese Masse äußert sich an jedem Punkt der Atmosphäre im dort herrschenden Luftdruck. Mit nach oben hin abnehmender, über einem Punkt der Atmosphäre liegender Luftmasse, lassen sich auch

unterschiedliche Schichten der Atmosphäre ausmachen, die ihrem typischen Stockwerkbau zugrunde liegen.

## Troposphäre

Zwei Drittel dieser Atmosphärenmasse findet man in der untersten Luftschicht, der Troposphäre. Die Höhe dieses relativ dünnen „Erdgeschosses“ ist temperaturabhängig und beträgt über den Polen nur rund 8 km, über dem Äquator bis zu 18 km. Die Grenzschicht zum nächsten Stockwerk, der Stratosphäre, nennt man Tropopause, wobei auch alle anderen Grenzschichten (Abb. 10) immer mit dem Anhängsel „-pause“ (vom griech. Wort „pauerein“ = beendigen) bezeichnet werden, die Schichten selbst immer mit „-sphäre“ (vom griech. Wort „sphaira“ = Kugel).

Typisch sind in der Troposphäre die nach oben hin sinkenden Temperaturen mit einer vertikalen Temperaturabnahme bis zur Tropopause auf ca. -75 °C über dem Äquator und ca. -45 °C über den Polen. Diese Abkühlung hängt damit zusammen, dass die Erwärmung der Luft über den sonnenbeschienenen und dadurch warmen Boden erfolgt, der ähnlich einer Herdplatte die Luft über ihm erwärmt.

Je weiter man sich von dieser „Herdplatte“ entfernt, desto kälter wird es natürlich auch. Auch Konvektion, das ist das Aufsteigen warmer Luft, die dann Wolken und Gewitter bilden kann, transportiert Wärme und damit Energie nach oben. All diese Vorgänge und das, was wir im Allgemeinen als „Wetter“ bezeichnen, spielt sich in diesem dünnsten Stockwerk der Atmosphäre ab (Abb. 11).



Abb. 11: Eine sich aufbauende Gewitterwolke stößt an die Tropopause und kann nicht weiter aufsteigen. (Quelle: Wikimedia commons)

Die Temperaturabsenkung bis zur Tropopause verhindert nämlich einen übergroßen Verlust



an Wasserdampf, da dieser in Form von Eiskristallen wieder zur Erde zurückkehrt. Folglich herrscht über der Tropopause jeden Tag ungetrübter Sonnenschein, allerdings bei Temperaturen, die absolut lebensfeindlich sind. Dazu kommen die mit der Höhe ansteigenden Windgeschwindigkeiten, was beispielsweise für die globale Verbreitung von Schadstoffen von enormer Bedeutung ist. Dadurch können etwa Rauch- und Aschesäulen von Vulkanausbrüchen relativ rasch über den gesamten Erdball transportiert werden.

### Stratosphäre

Der (Schad)stoffaustausch mit der nächsten Luftschicht, der Stratosphäre, ist sehr gering. Dieses zweite Stockwerk, welches bis in eine Höhe von ca. 50 km reicht, ist der „Schutzmantel“ der Erde. In ihm befindet sich die Ozonschicht, welche die tödliche  $UV_C$ -Strahlung (200-280 nm = Nanometer Wellenlänge) komplett absorbiert und die kanzerogene  $UV_B$ -Strahlung (280-315 nm) stark abschwächt. Diese abgeschwächte  $UV_B$ -Strahlung ist für den Organismus von Lebewesen von großer Bedeutung. So wird zB das lebenswichtige Vitamin D zu rund 90 Prozent in der Haut gebildet – jedoch nur unter dem Einfluss der Sonne.

Durch die Filterung des Sonnenlichts wird die Stratosphäre aufgeheizt. Diese Aufheizung wird durch →Radikalbildung, →Ionisation und schließlich →Rekombination (Bildung neuer Verbindungen) bewirkt - zB auch durch die Zertrümmerung und Bildung von Ozon. Daher kommt es bis zur Stratopause wieder zu einem Temperaturanstieg auf nahe 0 °C. In der Stratosphäre bilden sich weiters die →Perlmutterwolken und hohe →Cirruswolken.

### Mesosphäre

Das dritte Stockwerk ist die Mesosphäre bis in ca. 85 km Höhe. In ihr kommt es wieder zu einem Temperaturabfall auf etwa -80 ° bis -90 °C.

### Thermosphäre

Anschließend an die Mesopause befindet sich die Thermosphäre, die bis in 500-600 km Höhe

reicht und weltweit vor allem für den Funkverkehr von Bedeutung ist, weil sie Kurzwellen reflektiert.

In dieser Atmosphärenschicht kommt es auch zur Ausbildung der Polar- oder Nordlichter (Abb. 12) und zu einem starken Temperaturanstieg ab ca. 120 km, wobei bei etwa 400 km Höhe bereits etwa 1600 °C erreicht werden. Diese Wärme ist allerdings nicht spürbar, weil die Luftdichte bereits millionenfach geringer als in Bodennähe ist. Die erwähnte Temperatur äußert sich nur in der raschen Bewegung der Gasteilchen.



Abb. 12: Bei besonders starker Sonnenaktivität können Nordlichter in der Thermosphäre bis in unsere Breiten sichtbar sein. Das Bild zeigt ein Nordlicht vom Schöckl bei Graz aus fotografiert im Jahr 2015. (Foto: Herfried Eisler).

### Exosphäre

Die letzte, äußerste, nicht genau begrenzte Zone ist die Exosphäre, die bereits eine sehr geringe Atomverteilung besitzt und den Übergang in das luftleere All darstellt.

Die Tatsache, dass die für uns lebenswichtige Lufthülle nur den dünnsten untersten Teil der Atmosphäre ausmacht, zeigt, wie verletzlich diese „Lufthaut“ ist. Nicht umsonst geraten AstronautInnen beim Anblick dieser zarten, blauen Schicht (Abb. 13) immer wieder ins Staunen ob der Faszination, die von ihr ausgeht und plädieren wie viele andere Menschen für einen strengen Schutz der Lufthülle.



Abb. 13: Der Blick aus dem Weltall auf die Atmosphäre zeigt ihre geringe Mächtigkeit und damit hohe Verletzlichkeit eindrucklich (Foto: NASA)



## 2. Luft und Gesundheit

## 2.1. Die Atmung

Ohne Luft kein Leben. Jeden Tag atmen wir – je nach Alter und körperlicher Aktivität – 20 000 bis 30 000 Mal ein und aus. Dabei werden zwischen 10 000 und 15 000 Liter Luft in den Körper und wieder hinaus befördert. Doch warum strömt die Luft eigentlich in die Lunge? Was passiert in unserem Körper mit der eingeatmeten Luft? Wo geht sie hin? Was bewirken die Gase und Inhaltsstoffe in uns?

Beim Atmen kann man zwischen Bauchatmung und Brustatmung unterscheiden. Bei beiden Formen kommt es zu einer Vergrößerung der Lunge. Bei der Bauchatmung zieht sich das Zwerchfell zusammen, sodass sich die Lunge darüber ausdehnen kann, bei der Brustatmung bewirken Bewegungen der Zwischenrippenmuskulatur eine Erweiterung des Brustkorbs, wobei die Lunge mitgedehnt wird. In beiden Fällen sinkt durch die Ausweitung der Lunge der Druck in ihr, es entsteht also ein Unterdruck. Dadurch kann nun Luft durch die

Atemwege (Abb. 14) in den Körper strömen. Dies geschieht über Mund oder Nase, wobei die Nasenatmung gesünder ist, da hier die Luft bereits durch Härchen und Schleimhäute gereinigt, angefeuchtet und vorgewärmt wird.

Weiter geht es über den Rachen, vorbei am Kehlkopf und den Stimmbändern in die Luftröhre. Die Luftröhre teilt sich dann in der Luftröhrengabel in die zwei Hauptbronchien und weiter in die großen Bronchien.

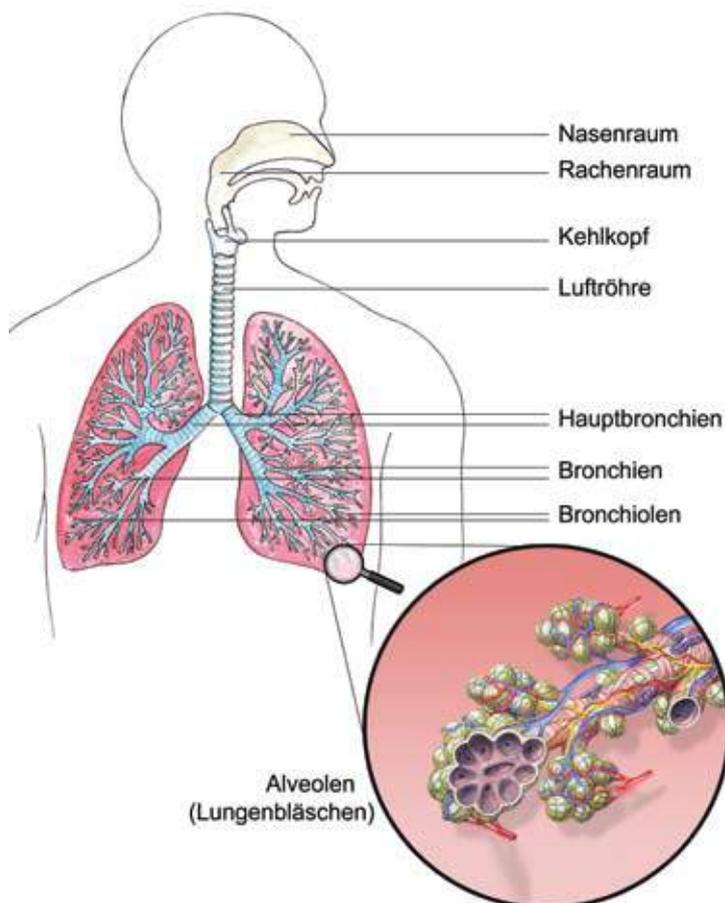
Stäube oder Gase, die bis hierher gelangen, können vom Körper meist gut entfernt werden. Dazu gibt es Rezeptoren, die Hustenreiz auslösen. Sie sitzen v. a. in der Schleimhaut der oberen Luftwege, also dem hinteren Rachenraum, dem Kehlkopf, der Luftröhre bis zu den großen Bronchien. Mikroskopisch feine, sich bewegende Härchen (Zilien bzw. Flimmerepithel, siehe Abb. 56 auf Seite 45) können aus diesen Bereichen Stäube und Krankheitserreger wie auf einem Förderband aus Schleim wieder aus den Atemwegen entfernen.

Das weitere Bronchialsystem (das sind die Luftwege in der Lunge) wird wie die Äste eines Baumes immer verzweigter und dünner. Wenn diese Luftwege dann keinen Wandknorpel

mehr haben, nennt man sie Bronchiolen. Diese besitzen kein Flimmerepithel mehr und enden dann in den Alveolen, das sind die Lungenbläschen. Die Alveolen erinnern an eine weintraubenartige Anordnung, haben aber nur einen Durchmesser zwischen 50 und 250 Mikrometern (= 0,05 bis 0,25 Millimeter). Hier passiert nun das, was man als lebensnotwendige Atmung versteht: der Gasaustausch. Die Lungenbläschen haben eine Haut, hinter der ein Netz von Blutgefäßen liegt (siehe Abb. 15). Diese Haut ist so dünn, dass der Sauerstoff in der Luft durch sie hinein zu den Blutgefäßen gelangen kann. Die roten Blutkörperchen im Blut nehmen den Sauerstoff auf und die linke Herzkammer verteilt über die Aorta und die Arterien das Blut im Körper.

Die Lungenbläschen nehmen aber auch im Gegenzug Kohlendioxid aus dem Blutkreislauf auf. Woher kommt dieses aber? Sauerstoff, der über das

Abb. 14: Vereinfachte Darstellung der Atemwege (Quelle: Wikimedia commons; Patrick J. Lynch)



Blut in alle Zellen des Körpers kommt, „verbrennt“ Nährstoffe (v. a. aus unserer Nahrung) und wandelt diese in Kraft und Wärme um. Dabei entsteht u. a. Kohlendioxid, mit dem unser Körper nichts anfangen kann. Die roten Blutkörperchen transportieren es aus den Zellen ab und das kohlendioxidreiche, sauerstoffarme Blut wird über die Venen zur rechten Herzkammer und von dort Richtung Lunge gepumpt. Durch die dünne Haut der Alveolen gelangt das Kohlendioxid in die Lunge. Das funktioniert, weil das Blut mehr Kohlendioxid enthält als die Luft, es kann dadurch in die Luft der Lungenbläschen hinausdiffundieren. Über das Ausatmen gelangt es dann in die Außenluft.

  
**Versuch 4**  
 Praxisteil  
 Seite 97

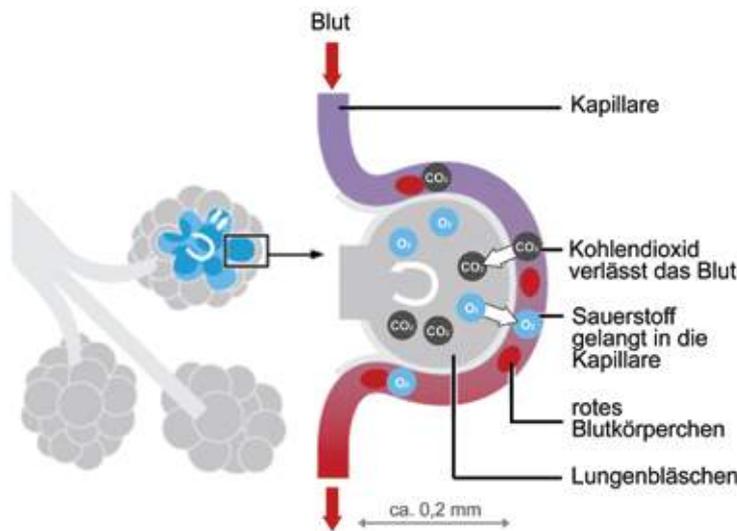


Abb. 15: Gasaustausch in einem Lungenbläschen (Quelle: [www.lungeninformationsdienst.de](http://www.lungeninformationsdienst.de))

Beim Menschen (in körperlicher Ruhe) werden beim beschriebenen Prozess des Atmens pro Minute durchschnittlich 0,3 Liter Sauerstoff und ca. 0,25 Liter Kohlendioxid ausgetauscht. Um das zu erreichen, schleust unser Körper rund 8 Liter Luft pro Minute durch die Lunge. An dieser großen Menge kann man abschätzen, wie wichtig es ist, dass die in den Körper gelangende Luft möglichst sauber und schadstofffrei sein sollte.

  
**Übung 2**  
 Praxisteil  
 Seite 100

Diese Form der erläuterten Lungenatmung und des Gasaustausches funktioniert so übrigens auch bei allen landlebenden Wirbeltieren. Andere Formen der Atmung sind die Kiemenatmung zB bei Fischen und Krebsen, die Tracheenatmung zB bei Insekten oder Spinnen und die Hautatmung zB beim Regenwurm.

## 2.2. Atemwegserkrankungen

Wie im Kapitel 2.1 beschrieben sind die Atemwege die luftleitenden Bahnen zwischen Außenluft und Alveolen. Sie lassen sich in die oberen und unteren Atemwege gliedern. Zu den oberen zählen Nase und Nasennebenhöhlen, der Mund, der Rachen (Pharynx) und der Kehlkopf (Larynx). Zu den unteren Atemwegen zählen die Luftröhre (Trachea) und die Lunge (Bronchien, Bronchiolen, Alveolen und Lungengewebe).

Atemwegserkrankungen können in einzelnen Abschnitten dieses Atmungstraktes, aber auch in jedem dieser Bereiche gleichzeitig auftreten.

Im Prinzip können obstruktive und restriktive Atemwegserkrankungen unterschieden werden. Obstruktive Atemwegserkrankungen sind Erkrankungen, bei denen es zu einer Verengung oder Verlegung der Atemwege, also zu einer Obstruktion, kommt. Daher fällt auch das Ausatmen schwer. Dies führt langfristig zu einer Überblähung der Lunge (Emphysem) und zu Gasaustauschstörungen.

Beispiele sind Asthma, chronische Bronchitis, COPD, zystische Fibrose (Mukoviszidose) und das Lungenemphysem.

Bei restriktiven Atemwegserkrankungen ist die Dehnbarkeit der Lunge und/oder des Brustkorbs (Thorax) vermindert. Infolge kommt es zu Einschränkungen der Lungenfunktion.

Beispiele für restriktive Atemwegserkrankungen wären Thoraxdeformationen (zum Beispiel durch Traumata wie Rippenbrüche oder Skoliosen), verminderte Alveolenbelüftung zB bei einer Lungenentzündung, Verwachsungen, oder einem Lungenödem.

Ursachen und Ausprägungen von Atemwegserkrankungen können also sehr unterschiedlich sein. In diesem Kapitel werden allerdings nur jene Erkrankungen behandelt, die auch mit Luftschadstoffen in Verbindung gebracht werden können.

Gelangen Luftschadstoffe über die Atemwege in den Körper, können diese von Rezeptoren

als körperfremde, unerwünschte Stoffe erkannt werden. Ab wann, in welcher Form und wie stark der Körper dann auf diese Schadstoffe reagiert, ist von Mensch zu Mensch unterschiedlich, denn verschiedene persönliche Faktoren beeinflussen die gesundheitlichen Wirkungen der Schadstoffe. Dazu zählen:

- **Der gesamte Gesundheitszustand und körperliche Status:** Personen mit einer Vorerkrankung, zB Asthma, COPD oder einer Herzkrankheit sind für akute Erkrankungen durch Luftschadstoffe anfälliger.
- **Das Alter:** Generell sind Kinder und Jugendliche aufgrund ihrer im Verhältnis höheren Atemfrequenz und engeren Atemwege stärker betroffen.
- **Das Atemmuster:** Bei tiefer Atmung und Mundatmung ist die Schadstoffbelastung stärker als bei flacher Atmung und Nasenatmung.
- **Der Anstrengungsgrad der körperlichen Aktivität (Intensität):** Der Anstieg der Atemfrequenz verursacht eine höhere Aufnahme von Schadstoffen über die Atmung.
- **Die genetischen Faktoren:** Auch sie beeinflussen die Empfindlichkeit eines Menschen auf Luftschadstoffe.

### 2.2.1. Entzündungen

In den häufigsten Fällen handelt es sich bei Atemwegserkrankungen um Entzündungen der Atemwege. Die Entzündung ist ein wichtiger Schutzmechanismus unseres Körpers. Sie ist in erster Linie eine Reaktion des angeborenen, aber bei Bedarf auch des erworbenen Immunsystems. Das Erscheinungsbild von Entzündungen ist sehr vielfältig und abhängig von der Art und Anzahl organischer oder anorganischer Schadstoffe, doch der grundlegende Ablauf einer Entzündung ist immer sehr ähnlich:

In unserer Umwelt befinden sich zahlreiche chemische und physikalische Schadstoffe (Noxen), aber auch Erreger wie Bakterien und Viren. Die Einwirkung von Noxen führt zu einer Gewebeschädigung.

Zum Schutz vor derartigen Schädigungen hat das Abwehrsystem des Menschen aber im Lauf der Evolution eine Reihe von Mecha-

nismen entwickelt, die krankheitserregende Schadstoffe beseitigen können. So führt die Gewebeschädigung etwa zur Freisetzung von Entzündungsbotenstoffen aus dem Gewebe. Von besonderer Bedeutung für die Wirksamkeit dieser Mechanismen ist die Tatsache, dass Bestandteile des angeborenen und erworbenen Abwehrsystems über die Blutgefäße sehr schnell an den Ort der Gewebeschädigung transportiert werden können. Insbesondere zu erwähnen sind körpereigene „Fresszellen“, die sogenannten Makrophagen. Diese Stoffe führen zu lokalen Reaktionen, die man Entzündung nennt. Im Allgemeinen führt dieser Vorgang zur Beseitigung der schädlichen Noxe, zur Wiederherstellung des ursprünglichen Gewebes und damit zur Heilung.

Bei einer sehr schweren Gewebeschädigung führt es aber zu einem Ersatz durch Bindegewebe und dadurch zu Narbenbildung. Außerdem können manche Erkrankungen durch ihre entzündliche Reaktion selbst Gewebeschädigungen verursachen.

Zu unterscheiden sind natürlich auch unterschiedliche Formen einer Entzündung, wobei bei Luftschadstoffen als mitauslösende Faktoren zumeist die ersten beiden Formen anzutreffen sind:

- **Akute Entzündung:** Sie ist gekennzeichnet durch ihr plötzliches Auftreten und einen schnellen, oft heftigen Verlauf über nur wenige Stunden oder Tage.
- **Chronische Entzündung:** Sie ist durch einen langen Verlauf über Wochen, Monate oder sogar Jahre gekennzeichnet. Oft beginnt sie schleichend, kann sich aber auch aus einer akuten Entzündung entwickeln. Die chronische Entzündung bleibt durch den dauerhaften Verbleib der Schädigung bestehen und kann zu einem teilweisen Funktionsverlust bis hin zum Totalausfall des betroffenen Organs führen. Eine bereits bestehende chronische Entzündung wird durch Luftschadstoffe natürlich noch verstärkt.
- **Rezidivierende Entzündung:** Sie verläuft schubweise. Es gibt krankheitsfreie Intervalle, jedoch kehrt die Entzündung im Normalfall immer wieder zurück. Rezidivierende Entzündungen sind häufig bei Menschen mit einem geschwächten Abwehrsystem.

- **Perakute Entzündung:** Sie ist durch einen extrem kurzen und im schlimmsten Fall auch tödlichen Verlauf gekennzeichnet. Als Ursache liegt entweder eine sehr hohe Schadstoffbelastung oder eine sehr schlechte körperliche Abwehrlage vor.
- **Subakute Entzündung:** Sie läuft langsamer als die akute, aber schneller als die chronische Entzündung ab.

Von Entzündungen betroffen können alle Teile der Atemwege sein. Dementsprechend haben diese Atemwegserkrankungen auch unterschiedliche Bezeichnungen:

### Rhinitis

Als Rhinitis wird eine akute (gewöhnlicher Schnupfen) oder chronische Entzündung der Nasenschleimhaut bezeichnet. Dafür kann es infektiöse, allergische und pseudoallergische Ursachen geben. Am häufigsten tritt sie im Rahmen einer Erkältung auf.

Aber auch Luftschadstoffe wie Stäube, Stickstoffoxide oder Ozon werden v. a. für eine chronische Rhinitis (länger als 3 Monate) verantwortlich gemacht, wobei dies hier dann meist im Rahmen einer lokalen Reizung und Entzündungsreaktion geschieht.



Abb. 16: Allseits bekannt: Schnupfen (Rhinitis)  
(Quelle: istock/Alex Gumerov)

Es gibt noch andere Formen der Rhinitis, die hier aber nicht von Bedeutung sind.

### Pharyngitis

Die Pharyngitis ist eine Entzündung der Rachen Schleimhaut und eine sehr häufige Erkrankung. Häufigste Ursache ist eine virale Infektion oft aufgrund eines grippalen Infekts.

Es gibt aber mehrere Formen der Pharyngitis, wobei eine Ursache auch Reizungen durch Umweltschadstoffe sein können - größtenteils sind es hier Stäube. Menschen, die ständig austrocknenden Schadstoffen ausgesetzt sind, wie beispielsweise RaucherInnen oder Straßenarbeiter, können vermehrt Beschwerden aufweisen.

### Laryngitis

Die Laryngitis ist eine Entzündung des Kehlkopfes, oft verbunden mit Heiserkeit, trockenem Husten und Halsschmerzen. Auch hier gibt es eine akute und eine chronische Form.

Die akute Form wird in eine Entzündung der verschiedenen Abschnitte des Kehlkopfs unterteilt. Eine Form davon wird auch als Pseudokrupp bezeichnet. Die akute Laryngitis wird überwiegend durch Virusinfekte der oberen Atemwege oder auch durch Stäube, Rauchen oder starke Stimmbelastung verursacht.

Als chronisch gilt eine Laryngitis, wenn die Entzündung länger als drei Wochen dauert. Sie entwickelt sich aus einer akuten Laryngitis u. a. durch Rauchen und Arbeiten in staubiger, trockener Umgebung.

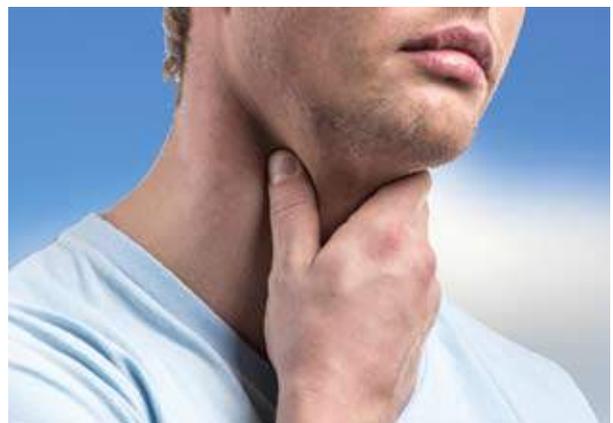


Abb. 17: Halsschmerzen begleiten oft Atemwegserkrankungen (Quelle: PantherMedia / blueskyimage)

### Tracheitis

Die Tracheitis ist eine Entzündung der Luftröhre und erfolgt meist in Kombination mit Rhinitis, Laryngitis oder Bronchitis. Auch hier spricht man bei längerem Auftreten von einem chronischen Verlauf, dessen Ursache u. a. das Einatmen gesundheitsschädlicher Stoffe sein kann, allen voran wiederum Tabakrauch.

## Bronchitis

Als Bronchitis wird die Entzündung der Bronchien bezeichnet. Man unterscheidet die akute Bronchitis, die chronische Bronchitis und die chronisch obstruktive Bronchitis.

Als akute Bronchitis wird eine neu entstandene Entzündung der Bronchien bezeichnet, typisch mit Husten, Schleimproduktion und Fieber. Die Schleimhäute in den Bronchien schwellen an (Abb. 18, rechts) und verringern die Atemfähigkeit.

Dauert eine Bronchitis länger an (über drei Monate), spricht man von einer chronischen Bronchitis. Als Ursache ist an erster Stelle das Rauchen zu nennen, aber auch Luftschadstoffe der Außenluft (zB Schwefeldioxid, Stäube) werden mit der chronischen Bronchitis in Verbindung gebracht.

Schadstoffe hemmen die Tätigkeit des Flimmerepithels und können über Jahre die Zilien (Härchen des Flimmerepithels) sogar degenerieren. Das Selbstreinigungssystem der Lunge wird dadurch gestört.

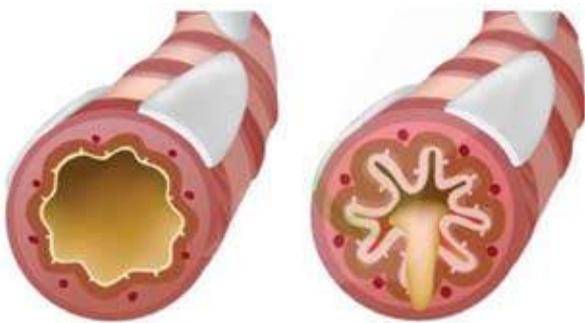


Abb. 18: Normale (links) und angeschwollene (rechts) Schleimhäute im Querschnitt durch eine Bronchie (Quelle: Wikimedia commons)

Die chronisch obstruktive Lungenerkrankung (chronic obstructive pulmonary disease = COPD) ist ein Sammelbegriff für eine Gruppe von Krankheiten der Lunge, die durch Husten, vermehrten Auswurf und Atemnot bei Belastung gekennzeichnet sind. Der Großteil aller COPD-PatientInnen sind RaucherInnen oder aber dem Passivrauchen ausgesetzte Menschen.

Als weitere ungünstige Einflüsse gelten u. a. die Belastung der Atemluft durch Verbrennung von biologischem Material, Staubpartikel an Arbeitsplätzen (zB Landwirte im Viehstall oder auch Bauarbeiter) oder eine hohe Belastung der Atemluft durch Schwefeldioxid.

## Pneumonie

Die Pneumonie wird im Allgemeinen als Lungenentzündung bezeichnet und wird in der Regel durch eine Infektion verursacht, zumeist durch Bakterien oder auch nicht selten durch Viren.

Bezüglich Luftschadstoffen sind hier v. a. Stäube zu nennen. Die Staubkörnchen lagern sich im Gewebe der Lunge ein, führen zu einer Reizung und dadurch zu einer Entzündung. Das Gewebe vernarbt dadurch auch noch und kann Partikel nicht mehr so gut abtransportieren, was zu einer weiteren Verminderung der Lungenfunktion führt. Auch ätzende Reizstoffe, wie eingeatmete Gase, können Verursacher sein.

## Asthma bronchiale

Auch Asthma bronchiale - meist einfach als Asthma bezeichnet - ist eine chronische, entzündliche Erkrankung der Atemwege. Es handelt sich dabei um anfallsartig auftretende Zustände von Atemnot auf Grund einer vorübergehenden Verengung der Atemwege (Abb. 19). Diese Verengung ist eine Folge von vermehrter Sekretion von Schleim, Verkrampfung der Bronchialmuskulatur und Bildung von Ödemen der Bronchialschleimhaut. Verursacht wird diese Empfindlichkeit der Atemwege und die damit verbundene Entzündung durch eine Vielzahl von Reizen.

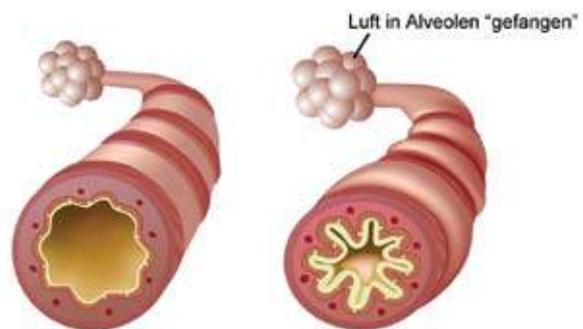


Abb. 19: Normale (links) und verengte (rechts) Bronchie im Querschnitt (Quelle: Wikimedia commons)

V. a. bei Kindern kann die schon frühe Belastung durch Stickstoffdioxid, Feinstaub und Tabakrauch zu dieser Erkrankung führen. Asthma gilt in Industrienationen deshalb auch als häufigste chronische Lungenerkrankung – etwa jedes zehnte Kind leidet daran.

### 2.2.2. Weitere Erkrankungen der Lunge

Neben den genannten entzündlichen Prozessen in den Atemwegen können massivere oder länger andauernde Belastungen auch zu sehr ernstesten Erkrankungen der Lunge führen.

#### Tumore der Lunge

Die meisten Luftschadstoffe wirken durch längerfristige Einwirkung cancerogen (krebs-erregend) auf die Lunge. Die Schadstoffe lagern sich auf verschiedenen Zellen ab und verursachen durch deren Reizung oder Veränderung nach zum Teil erst Jahrzehnten eine unkontrollierte Zellteilung, also eine Tumorbildung, wobei nur bösartige Tumore als Krebs bezeichnet werden. Paradebeispiele für Krebs auslösende Schadstoffe sind Feinstäube oder Zigarettenrauch mit den darin enthaltenen Kohlenwasserstoffen (zB Benzo[a]pyren). Am häufigsten diagnostiziert wird das bösartige Bronchialkarzinom (allgemein bezeichnet als Lungenkrebs).

Ein zusätzliches Gefahrenpotential für die Gesundheit sind auch mutagene (erbgutschädigende) Substanzen in Luftschadstoffen - zum Teil auch schon nach Kurzzeitinhalation. Dabei lösen die verschiedenen Einwirkungen auf die Lungenzellen im Erbgut der Zellkerne (DNA) diverse Chromosomenveränderungen aus, die letztendlich zu Mutationen führen. Viele dieser Zellmutationen führen wiederum zu Tumoren, andere beeinflussen den Stoffwechsel oder die Regenerationsfähigkeit von Geweben.

#### Lungenödem

Das Lungenödem ist eine unspezifische Bezeichnung für das Austreten von Flüssigkeit aus den Blutkapillaren (das sind die kleinsten Blutgefäße) in das Interstitium (Zellzwischenräume) und die Alveolen (Lungenbläschen). Das behindert natürlich die Atmung und den Gasaustausch (siehe Kapitel 2.1). Hauptsymptome sind folglich eine Atembehinderung und eine generelle Sauerstoffunterversorgung. Hier gibt es wiederum unterschiedliche Formen und Ursachen.

In Bezug auf Luftschadstoffe kann das Einatmen von chemischen Reizstoffen, wie zum Beispiel Rauchgas, zu einem toxischen Lungenödem

führen. Es kommt dabei zu einem starken Austritt von Flüssigkeit, in Folge zu starker Atemnot bis hin zum Ersticken. In der „normalen“ Außenluft ist das aber nicht der Fall.

Schadstoffbedingte Reizung (insbesondere durch Stickstoffoxide) und Entzündung des Lungengewebes kann jedoch zum Austreten von Flüssigkeit aus den Blutkapillaren führen, da diese durch die Entzündungsreaktion durchlässiger werden.

### 2.3. Weitere Wirkungen auf den Menschen

Schadstoffbelastete Luft wirkt nicht nur auf die Atmungsorgane, sondern auch auf Haut und auf Augen. Außerdem kann es zu einer oralen Aufnahme von Luftschadstoffen kommen, wenn Nahrungsmittel von diesen zuvor belastet wurden.

Erwähnenswert ist v. a. die Auswirkung diverser Luftschadstoffe auf die Augen, da hier Bindehautentzündungen (Konjunktivitis, Abb. 20) auftreten können. Diese Erkrankung ist durch die typische Rötung der Augen gekennzeichnet und verursacht Jucken bis hin zu starkem Brennen und Tränenfluss. Auch wenn die Ursachen dafür mannigfaltig sind, gelten auch Luftschadstoffe (zB Ozon) als ein Auslöser für eine toxische Konjunktivitis.



Abb. 20: Typische Augenrötung bei einer Bindehautentzündung (Quelle: Wikimedia commons)

Darüber hinaus begünstigen Luftschadstoffe wie Feinstaub Herz-Kreislaufkrankungen oder können auch entzündliche Reaktionen im Gehirn auslösen, da feinste Partikel (siehe Kap. 4.2.) über die Blutbahn im ganzen Körper verteilt werden können. Studien lassen bei erhöhter Luftverschmutzung auch ein höheres Risiko für Diabetes und mögliche Schädigungen bei Neugeborenen vermuten.

Bei Nahrungsmittelkontaminationen über die Luft sind auch die Langzeitwirkungen kleinster Dosen zu berücksichtigen. Ihr →Kumulations-effekt und die Speicherung in Körperorganen oder im Fettgewebe sind hier von Bedeutung. Auch wenn viele Schadstoffe wieder aus den Nahrungsmitteln entfernt werden können und manche nur zu einem relativ geringen Teil in den Magen-Darm-Trakt aufgenommen werden (zB Blei nur zu etwa 10-15 % über die Verdauung, aber fast zu 100 % über den Inhalationsweg), darf dieser Themenbereich nicht vernachlässigt werden.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass es einige besonders gefährdete Personengruppen gibt, die bei hoher Luftschadstoffbelastung mit körperlichen Auswirkungen reagieren:

- Personen mit chronischen Funktionsstörungen des Atmungssystems (Bronchitis, Lungenemphysem, Asthma)
- Personen mit akuten Infektionen (vor allem im Atemtrakt)
- Personen mit Herz-Kreislaufkrankungen
- Kinder und Kleinkinder
- RaucherInnen

Neben den direkten gesundheitlichen Auswirkungen auf die Menschen selbst ergeben sich daraus natürlich auch volkswirtschaftliche Auswirkungen, die es nicht zu vernachlässigen gilt. Dazu zählen etwa zusätzliche Krankenhausaufenthalte aufgrund von Atemwegserkrankungen, vermehrte Arztkonsultationen, gesteigerter Medikamentenbedarf, häufigere Tage mit eingeschränkter Aktivität bzw. zusätzliche Abwesenheit am Arbeitsplatz und in der Schule.

## 2.4. Wirkungen in der Natur

Die Wirkungen von Luftschadstoffen auf Boden, Wasser, Tier- und Pflanzenwelt sind so mannigfaltig, dass sie hier nur angerissen werden können. So können Schadstoffeinträge über die Luft zB zu langfristigen Beeinträchtigungen und Veränderungen des Bodenzustandes (Bodenversauerung, Stickstoffübersättigung) führen. Folgen von Versauerungsprozessen im Boden sind:

- Abnahme der Kationenaustauschkapazität und dadurch verstärkte Auswaschung sorptionsgebundener Kationen wie Calcium, Magnesium und Kalium. Die Nährstoffaufnahme wird dadurch beeinträchtigt.
- Zerstörung der Ton- und Feldspatminerale, die aber unverzichtbar für die Speicherung von Nährstoffen im Boden sind.
- Verstärkte Freisetzung von toxischen Metallionen. Dies sind zum einen Schwermetalle, die über Jahrzehnte durch die Luftschadstoffe eingetragen wurden und zum anderen Aluminiumionen, die durch die Bodenversauerung freigesetzt werden.
- Die toxischen Ionen führen zur Wurzelschädigung und damit zu verringertem Wasserhaltevermögen. Es kommt zu verstärkter Verwässerung insbesondere von schweren Böden.
- Veränderung von Wurzelwachstum und →Mykorrhiza.
- Verringerung der Lebensfähigkeit von Bodenorganismen.
- Ansteigen der Aluminiumgehalte in Trink- und Quellwasser.

Bei der Stickstoffübersättigung der Böden sind ebenfalls negative Auswirkungen festzuhalten:

- Verstärkter Humusabbau (Nährstoffspeicher geht verloren).
- Veränderung der Artenzusammensetzung.
- Geringere Wurzelmasse in Verbindung mit einem stärkeren Zuwachs ergibt ein ungünstiges Spross/Wurzelverhältnis (eingeschränkte Stabilität).
- Erhöhte Nitratgehalte im Trink- und Quellwasser.

Wie aus den Aufzählungen hervorgeht, kann auch die Wasserqualität (Versauerung von Seen, Nitratbelastung) unter dem Schadstoffeintrag über die Luft leiden. Eine Versauerung hat zur Folge, dass die gelösten Aluminium- und Schwermetallionen die Gewässerfauna vergiften können und die Artenzahl dadurch abnehmen kann. Dadurch werden Nahrungskreisläufe gestört oder es kann im Extremfall die gesamte Lebensgemeinschaft absterben.

Weitere Folgewirkungen durch Qualitätsverluste von Boden und Wasser und Interaktionen mit der Tier- und Pflanzenwelt sind unvermeidbar. Allerdings wirken natürlich auch die direkt

über die Luft angelieferten Schadstoffe wie Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Ammoniak oder Ozon bei hohen Konzentrationen schädlich auf Pflanzen. Zumeist problematischer ist jedoch die Anreicherung von Schadstoffen im Lauf der Zeit.

Da einzelne Pflanzen bis hin zu ganzen Ökosystemen an konstante Umweltbedingungen angepasst sind, werden sie durch Luftschadstoffe mit erheblichen Änderungen konfrontiert. Daraus entstehen Störungen, die von einer Verringerung des Pflanzenwachstums bis zum Absterben der Pflanzen reichen können. So führte etwa das Schwefeldioxid in den 70er/80er-Jahren des 20. Jahrhunderts zum Schlagwort „Waldsterben“.



Abb. 21: Waldschäden durch Schwefeldioxid in den 1980er-Jahren

Dieser Begriff fasst eine Vielzahl von Schädigungen zusammen, die Einzelbäume schwächen, zum Absterben bringen und im Extremfall auch großflächig bestandsgefährdend wirken. Da Waldschäden auch in Reinluftgebieten durch Ferntransport der belasteten Luft auftreten können, sind die verantwortlichen Quellen oft schwer auszumachen. Schwefeldioxid, Chlor- und Stickstoffverbindungen sowie Kohlenwasserstoffe gelangen über die Assimilationsorgane in die Pflanzen, wobei klimatische Bedingungen (zB zunehmende Trockenperioden) die Wirkung noch verstärken können. Folgen sind Nadel- oder Blattverlust, Kronenverlichtungen (Abb. 21) und Zuwachsverluste.

Unter anderem führte auch die Sorge um den Wald damals zu neuen politischen Bewegungen, zum Erlass strenger Emissionsvorschriften und weiterer Maßnahmen zur Reduktion von Schwefeldioxid. Die Verbesserung des Zustandes des österreichischen Waldes seit damals zeigt sich ganz klar im „Österreichischen Bioindikatornetz“ (siehe Kap. 5.2.4.).

Heute sind nennenswerte Waldschäden aufgrund von Luftverschmutzung kein Thema mehr.

Um mögliche Belastungen frühzeitig zu erkennen bzw. zu verhindern, existieren etliche Maßnahmen und Kontrollmechanismen, um den Zustand von Gewässern, Luft, Boden, Tier- und Pflanzenwelt und natürlichen Lebensräume zu gewährleisten.

## 2.5. Wirkungen auf Materialien

Luftverunreinigungen können nicht nur bei Menschen, Tieren und Pflanzen Erkrankungen hervorrufen sondern auch bei Denkmälern und Kunstgütern hohe Sachschäden verursachen, in erster Linie durch die Beschleunigung der natürlichen Verwitterungs- und Alterungsprozesse infolge der Verschmutzung. Nach langjährigen Erfahrungen des Bundesdenkmalamtes können etwa 10 % des gesamten Denkmalbestandes Österreichs als akut gefährdet gelten.

Durch das komplexe Einwirken der vorwiegend gasförmigen Luftverunreinigungen ist die genaue Feststellung der Schadursache vielfach nicht möglich. Neben der direkten Zerstörung sind auch Sekundäreffekte wie erhöhter Wasch- und Reinigungsaufwand oder die Beeinträchtigung der Gebrauchseigenschaften mit erwähnenswerten volkswirtschaftlichen Verlusten verbunden.

Nachfolgend werden einige Schadstoffe auf ihre Wirksamkeit auf Materialien hin angesprochen:

### Stäube (Ruß)

Partikelförmige Luftverunreinigungen bewirken eine Verschmutzung der Materialien, wobei die gebildeten Ablagerungen zusätzlich gasförmige Schadstoffe absorbieren können. Diese Ablagerungen verbinden sich mit den Kalk- und Gipsausscheidungen zu einer dichten Kruste, die das „Atmen“ des Gesteins verhindert. Durch Frostwechsel (Eisbildung) wird die Kruste abgesprengt (sog. „Steinpest“). Deshalb müssen Verschmutzungen früh genug entfernt werden (Abb. 22).



Abb. 22: Der Evangelist Johannes am Wiener Stephansdom vor und nach der Reinigung 2012. Foto: Zeitschrift „Unser Stephansdom Nr. 98, November 2012.

### Stickstoffoxide

Diese wirken auf die Farbstabilität von Kunststoffen (zB Polyurethan, Acetat-Folien) und auf Wolle.

### Schwefeldioxid

Alle Substanzen, die Karbonate enthalten, werden angegriffen (Kalkstein, Marmor, Kalksandstein, Mörtel). Schwefeldioxid verwandelt Karbonate in Sulfate (zB Gips), die durch den Regen ausgewaschen werden, wodurch Substanz verloren geht (Abb. 23)



Abb. 23: Sandstein-Figur aus dem Jahr 1702 aufgenommen 1908 (links) und 1969 (rechts). Foto: Westfälisches Amt für Denkmalpflege

Auch Textilien (Baumwolle, Jute, Seide, Nylon) werden durch die Bildung von Schwefelsäure an der Oberfläche angegriffen. Weiters sind auch Auswirkungen auf Beschichtungen, Anstriche, Farben und Metalloberflächen (Korrosion) zu beobachten.

## 2.6. Globale Wirkungen - Klimawandel

Das Thema Klimawandel gehört nicht zum in dieser Unterrichtsmappe behandelten Themenkreis. Zur Abrundung des Themas empfiehlt es sich aber, auch diesen Aspekt der →anthropogenen Emissionen zu betrachten. Immerhin wird das bekannteste Treibhausgas Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) bei vielen Prozessen, die zum Ausstoß von hier behandelten Luftschadstoffen führen, ebenso erzeugt bzw. bedingt, also v. a. bei Verbrennungsprozessen.

In Kap. 1.1. wurde gezeigt, dass der Kohlendioxid-Gehalt in der Atmosphäre in der Erdgeschichte meist wesentlich höher war als heute. Hier darf man aber eine erdgeschichtliche Entwicklung nicht mit aktuellen Problemen und der Auswirkung des aktuell steigenden CO<sub>2</sub>-Gehalts der Atmosphäre auf die Menschheit verwechseln. Unser Eingreifen in natürliche Schwankungen zeigt sich hier sehr gut bei Betrachtung der Abb. 24, die den CO<sub>2</sub>-Anteil in den letzten 650.000 Jahren zeigt. Das rasante Ansteigen am rechten Ende des Diagramms liegt hier deutlich über dem vorhergehenden Ablauf mit Wechsel zwischen Warm- und Kaltzeiten, während dem der Anteil immer unterhalb von 0,03 %, also unter 300 ppm lag.

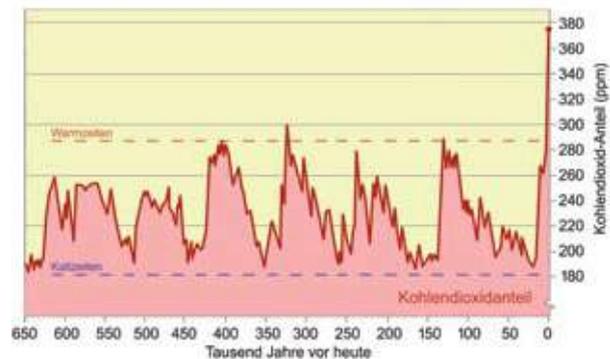
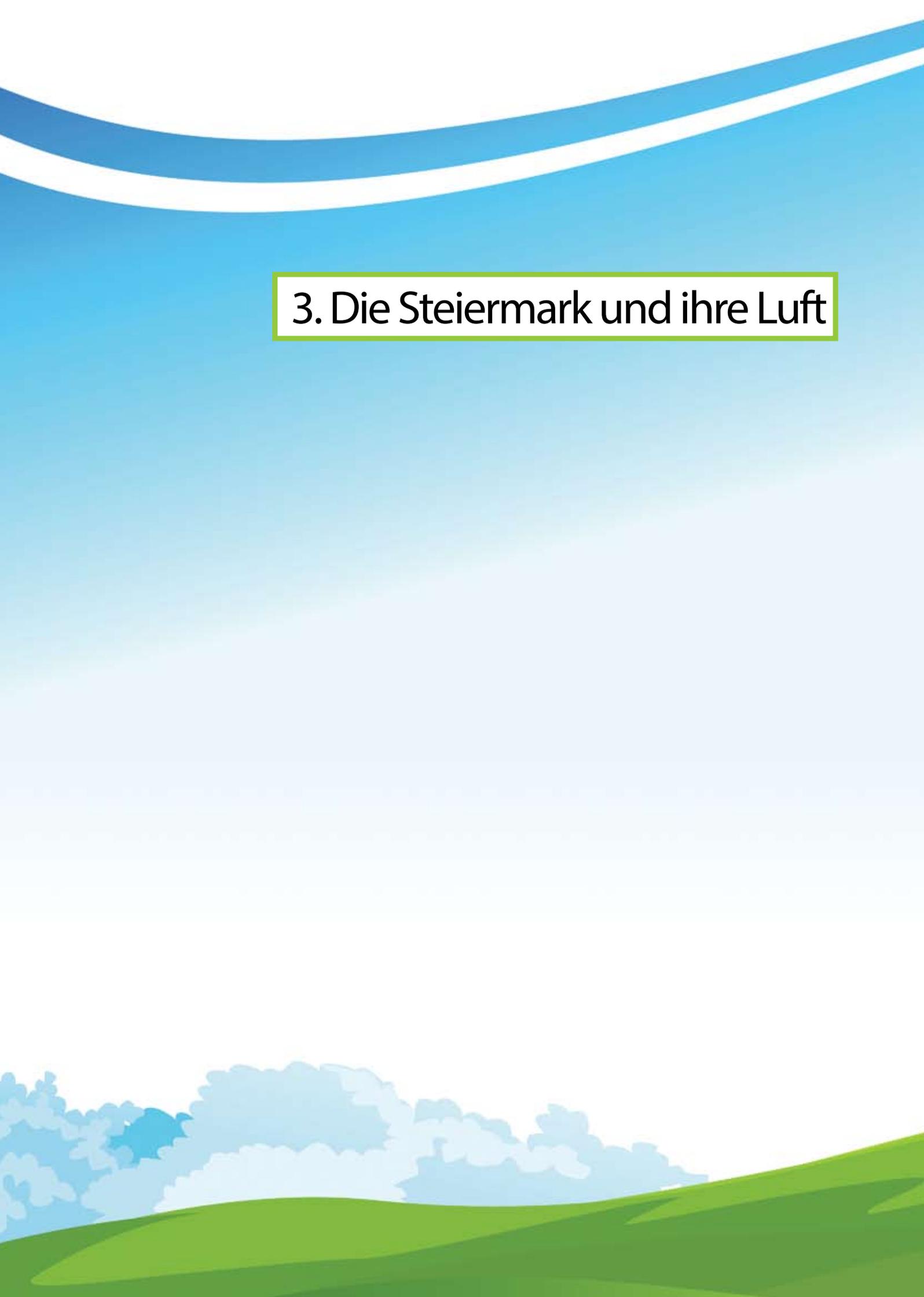


Abb. 24: Entwicklung des Kohlendioxidanteils in der Erdatmosphäre in den letzten 650.000 Jahren (Quelle: IPCC-Bericht 2007).

Darüber hinaus existieren zahlreiche weitere Luftschadstoffe, die ebenso - teils wesentlich effizientere - Treibhausgase sind, allerdings mit geringeren Konzentrationen in der Luft. Hier wären zB Methan (CH<sub>4</sub>), Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O), Ozon (O<sub>3</sub>) oder →FCKW zu nennen.

Am Thema Klimawandel Interessierte finden Projekte im Bildungsbereich dazu zB unter [www.ubz-stmk.at/klima](http://www.ubz-stmk.at/klima).



### 3. Die Steiermark und ihre Luft

### 3.1. Voraussetzungen für die Entwicklung der Schadstoffproblematik

Für eine Betrachtung der regionalen Schwerpunkte der Luftbelastung in der Steiermark sollte man sich vorerst einiger Punkte bewusst werden, die zur Entwicklung der heutigen Emissionen (Schadstoffausstoß) führten, die für die Transmission (Transport der Schadstoffe in der Luft) verantwortlich sind und die für die Immissionen (Einwirken der Schadstoffe) von großer Bedeutung sind.

Dabei reicht es nicht aus, nur die schadstoffausstoßenden Quellen zu suchen, man muss auch die naturräumlichen Gegebenheiten der Steiermark betrachten, die einen entscheidenden Einfluss auf die Ausbreitungsbedingungen der Schadstoffe haben und oft mitverantwortlich für hohe Messwerte sind.

#### 3.1.1. Rolle der Landschaftsgliederung

Der Landschaftsgliederung der Steiermark, also dem „Grundgerüst“ der Naturraumfaktoren, wird hier schon eine wichtige Rolle zuteil. Während der Entstehung der Alpen bildeten sich im Gebirgsinneren durch Dehnung der Erdkruste Senkungszone, die heute als die für die Steiermark so charakteristischen inneralpinen Becken in Erscheinung treten. Ebenso entstanden durch die starke tektonische Belastung zahlreiche geologische Störungen, also linienhafte Schwachzonen im Gesteinsverband, die sich über hunderte Kilometer ziehen können. Entlang dieser Linien, wo der Gesteinsuntergrund wesentlich stärker aufgelockert ist, konnten sich Flüsse leichter eingraben und Täler bilden. Tatsächlich folgen viele steirische Täler solchen Störungen, wofür das obere Mur- und das untere und mittlere Mürztal als langgestreckte Tiefenlinie ein Musterbeispiel darstellen („Mur-Mürz-Furche“).

Dadurch entstand die für die Steiermark so typische Kleinkammerung der Landschaft, die sich aus einzelnen Becken und - am Alpenrand - Buchten unterschiedlicher Größe und unterschiedlichsten Talräumen zusammensetzt.

Aufgrund des großen Gebirgsanteiles der Steiermark mussten sich Siedlungen natürlich auf diese „Talkammern“ beschränken, wodurch dort schon früh relativ abgeschlossene, viel-

fach eigenständige Kultur- und Wirtschaftsräume mit jeweils eigenen zentralen Siedlungen entstanden. Bestimmte Gunstfaktoren führten dann teils zu einer besonders großen Bevölkerungs- und Bebauungsdichte. Hier ist wieder die erwähnte „Mur-Mürz-Furche“ zu nennen.



Abb. 25: Zentrum steirischer Industriegeschichte: Historische Ansicht des Werkes Leoben-Donawitz in der Mur-Mürz-Furche

In diesem zusammenhängenden Talsystem entwickelte sich auf der Basis günstiger Verkehrslage (sog. „Schräger Durchgang“ von Wien nach Italien) und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen (gründerzeitliche Industriekonzentration auf Standorte an Eisenbahnlinien bei gleichzeitiger Verfügbarkeit von Kohle) die größte inneralpine Bevölkerungskonzentration der Steiermark und eine auch heute noch alpenweit bedeutende Industrieregion (Abb. 25).

Wie schon angedeutet, prägt die Landschaftsgliederung der Steiermark nicht nur die Entwicklung von Siedlungen, sondern auch jene der heutigen Verkehrswege. Die hohen Gebirge stellten natürlich immer schon Verkehrshindernisse dar, wenn auch viele Hochgebirgspässe schon in prähistorischer Zeit begangen wurden (zB Sölkpass, Abb. 26, links).



Abb. 26: Historischer Verkehrsweg Sölkpass (links) und heutige Transitroute über den Schoberpass (rechts)

Folglich musste sich auch der Verkehr im Gebirgsraum auf relativ schmale Korridore beschränken, die sich bis heute zu den großen inneralpinen Verkehrsleitlinien der Steiermark

entwickelt haben (Murtal, Mürztal, Palten-Liesing-Tal, Ennstal). Tab. 2 zeigt für drei Jahre die Kfz-Belastung einiger dieser steirischen Transitrouten durch die Alpen. Durchwegs ist ein Ansteigen der Kfz-Frequenz festzustellen, das auch durch eine „Erholung“ nach der Wirtschaftskrise mitbedingt ist.

Transitroute	2008	2011	2015
A9-Pyhrnautobahn (Schoberpass)	20812	21439	23083
S6-Semmeringschnellstraße (Krieglach)	16505	15640	18317
S35-Brucker Schnellstraße (Röthelstein)	14641	15063	16172

Tab. 2: Durchschnittliche tägliche Kfz-Belastungen an ausgewählten steirischen Verkehrsleitlinien zwischen 2008 und 2015. In Klammern die Zählstellen (Quelle: <http://www.asfinag.at/unterwegs/dauerzaehlstellen>)

Das Vorland bot wegen seiner Topographie kaum Verkehrseinschränkungen, während der Grenzraum zwischen Gebirge und Vorland deshalb bedeutend war, da sich hier Verkehrswege in die Alpen bündeln mussten. Vor allem die Stadt Graz ist hier erwähnenswert, da die Landeshauptstadt innerhalb der Steiermark eine hervorragende Lage einnimmt (Abb. 27).

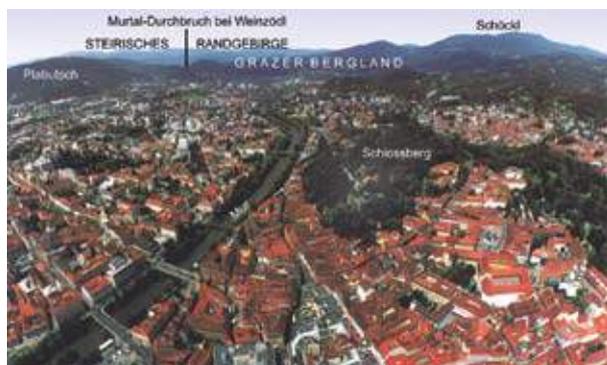


Abb. 27: Die günstige Position von Graz am Alpenrand als Konzentrationsspunkt für Verkehrswege durch das Murtal in die Alpen

Dort, wo die Mur das Gebirge verlässt und sich ihr Tal wie ein Trichter zum Grazer Feld hin erweitert, liegt ein Knotenpunkt uralter Verkehrswege. Diese laufen hier sternförmig aus dem Vorland zusammen, um durch das Murtal ins Gebirge zu leiten, von wo die Handelswege über die Täler und Pässe der Obersteiermark die Verbindung in den Donauraum herstellen. Diese günstige Verkehrsposition war zusammen mit der perfekten Schutzlage des Murüberganges am Fuß des Schlossberges ein Hauptgrund für die Entwicklung zur Landeshauptstadt und zum Wirtschaftszentrum der Steiermark mit all seinen positiven und nega-

tiven Folgeerscheinungen, wobei die Luftgüte zu letzteren zählt.

Noch klarer und eindeutiger als beim Verkehrsnetz sind die Beziehungen zwischen dem Naturraum und seiner Inanspruchnahme durch den Bergbau, dessen Existenz an das Vorkommen von Bodenschätzen gebunden ist. Die Steiermark hatte schon seit dem Mittelalter den Ruf eines Bergbaulandes, was auf den Reichtum entsprechender Ressourcen verweist. Vor allem in der Obersteiermark zeigt sich eine Konzentration solcher Ressourcen. Dies hängt mit dem Gesteinsbestand der Nordalpen zusammen, wobei sich sowohl die Nördlichen Kalkalpen (mit Salz und Gips) als auch besonders die Grauwackenzone (mit Eisenerz, Magnesit und Graphit) als bedeutend hervorheben.

In diesen Gebieten spielte der Bergbau schon in der frühen Landesgeschichte eine große Rolle für Siedlung, Wirtschaft und Politik, wobei natürlich das Eisen (und dabei besonders die Großlagerstätte Erzberg - Abb. 28) eine Schlüsselposition innehatte. Dabei wurden auch die Grundlagen für eine frühe wirtschaftliche Prosperität geschaffen, die sich etwa in europäischer Bedeutung der steirischen Eisenindustrie im 18. Jahrhundert niederschlug und in vielen Elementen des Wirtschaftslebens bis heute nachwirkt.



Abb. 28: Der Erzberg - steirisches Sinnbild industrieller Entwicklung

Im Vorland spielten lange die Kohlevorkommen von Köflach-Voitsberg eine große Rolle - auch für die dortige Luftbelastung. Sie sind ebenso wie die der Mur-Mürz-Furche an Becken gebunden, worin es während des Tertiärs zur Ausbildung dieser Lagerstätten kam (abgeschlossene Senken mit Sumpfwäldern als Grundlage der später so wichtigen Kohlevorkommen). Diese wurden bereits im 17. Jahrhundert entdeckt, aber erst ab dem 19.

Jahrhundert in großem Stil gewonnen, wobei die Gründung der Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbau-Gesellschaft (1856) und die Eröffnung der Bahnlinie von Graz (1860) Ausgangspunkte einer dynamischen Entwicklung waren, die binnen weniger Jahrzehnte das Landschaftsbild ebenso wie das Wirtschafts- und Sozialgefüge vollkommen umgestaltete. Damit war das Köflach-Voitsberger Kohlerevier lange das bedeutendste Österreichs. Die letzte Braunkohle wurde allerdings im Jahr 2004 gefördert, wonach das Abbaugelände rekultiviert wurde (Abb. 29).



Abb. 29: Historische Ansicht des Braunkohle-Tagbaus Oberdorf (oben) und das rekultivierte Abbaugelände heute (unten) (Fotos: [www.gkb-bergbau.at](http://www.gkb-bergbau.at))

Auch außerhalb unserer Landesgrenzen gelegene Standorte, die unsere Luftqualität mitbeeinflussen, erfuhren eine solche Entwicklung, wie etwa die große Lagerstätte im Becken von Velenje/Wöllan (Slowenien), die vornehmlich zum Betrieb des aus diesem Grund hier platzierten größten kalorischen Kraftwerkes von Slowenien (Šoštanj/Schönstein) in großem Stil abgebaut wurde. Schwere Beeinträchtigungen der Luftqualität durch sehr hohen Schwefeldioxid-Ausstoß waren die Folge und auch in der Steiermark zu messen. Mit der Sanierung des Kohlekraftwerkes ging die Belastung aber deutlich zurück.

Solche Ferntransporte von Luftschadstoffen bis in die Steiermark gibt es aber auch heute noch. Seit Beginn der verstärkten Feinstaubmessungen wurden immer wieder Staubeinträge an steirischen Messstationen festgestellt, die ihren Ursprung in Emissionen aus dem osteuropäischen Raum haben. Dabei handelte es sich sowohl um Stäube aus dem Abbrennen landwirtschaftlicher Flächen als auch um industrielle Stäube. Von solchen Ferntransporten muss man v. a. dann ausgehen, wenn auch an hoch gelegenen Messstationen (also fernab lokaler Emittenten) plötzlich ungewöhnlich hohe Messwerte diverser Luftschadstoffe auftreten. Über meteorologische Modelle (Trajektorienanalyse) kann man dann die Zufuhr von Luftmassen rekonstruieren und so den Ursprungsbereich dieser Stoffe eingrenzen. Folglich sind auch natürliche Rahmenbedingungen wie etwa die aktuelle Witterung (sowohl lokal als auch überregional) für die Konzentration von Luftschadstoffen stark mitverantwortlich.

### 3.1.2. Rolle der klimatischen Rahmenbedingungen

Auch andere natürliche Faktoren sind von großer Bedeutung für die steirische Luftqualität. Warum wurden und werden etwa Feinstaubspitzenwerte in Österreich meist aus Graz gemeldet (siehe Kap. 4.2.) und nicht aus dem bevölkerungsreicheren Wien oder aus Linz mit seiner wesentlich größeren Industrie?

Grund ist hierbei wiederum die topographische Lage der Steiermark und speziell der Landesteile südlich des Alpenhauptkammes: Während der Luftaustausch im Donauraum durch die Offenheit nach Westen und die somit bessere Luftzufuhr aus der Hauptwindrichtung gegeben ist, ist die Steiermark mit Ausnahme ihrer nördlichsten Landesteile nach Nordwesten, Westen und Südwesten, also gegenüber den vorherrschenden Windrichtungen, sehr gut durch die Alpen abgeschirmt. Diese →Leelage bewirkt eine generelle Windarmut in den Tälern und damit einhergehend eine charakteristische Neigung zu Kaltluftansammlung und Temperaturinversion sowie Nebel- und Hochnebelreichtum. Dies wiederum hat besonders ungünstige Ausbreitungsbedingungen von Luftschadstoffen zur Folge, sodass

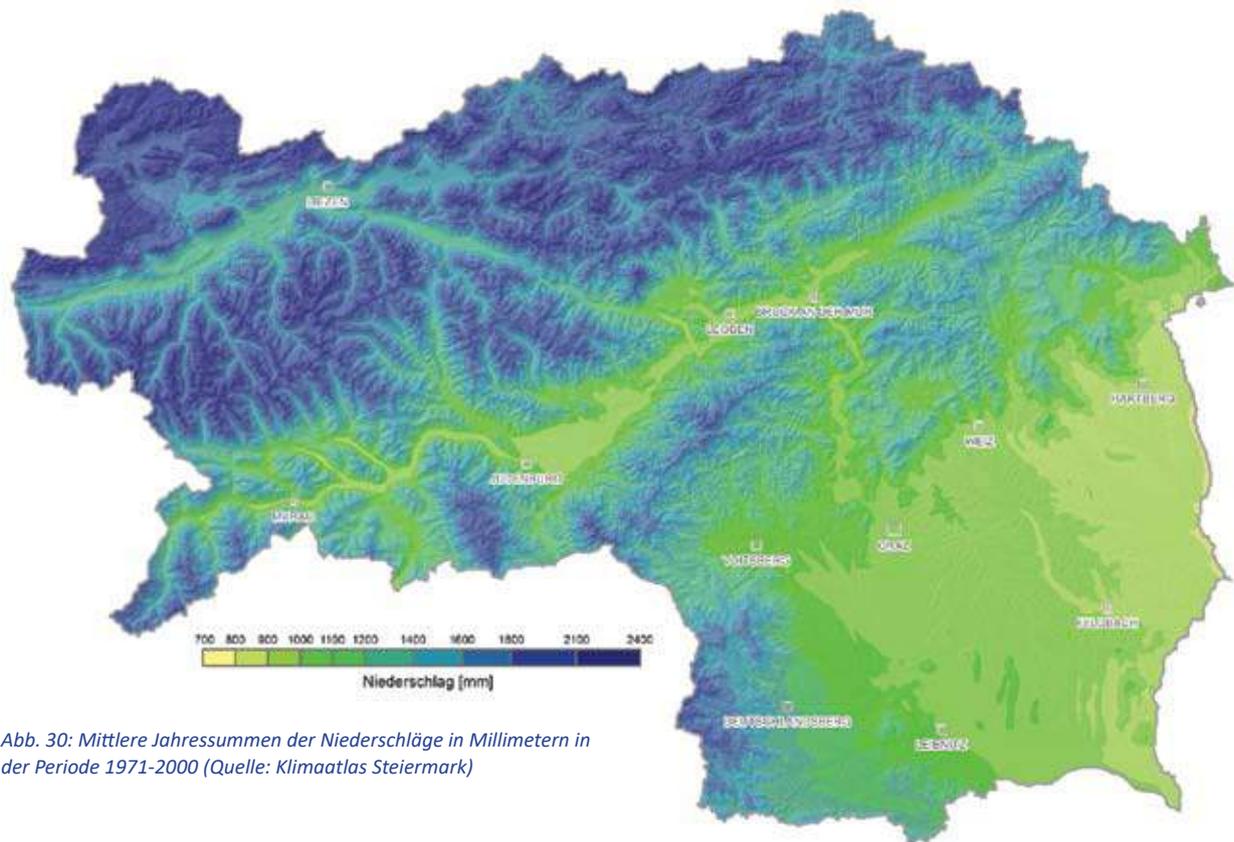


Abb. 30: Mittlere Jahressummen der Niederschläge in Millimetern in der Periode 1971-2000 (Quelle: Klimaatlas Steiermark)

Luftaustausch und damit -reinigung stark reduziert werden.

 Übung 3  
Praxisteil  
Seite 102

Die Abschirmung durch die Alpen beeinträchtigt aber auch das Niederschlagsgeschehen. Abb. 30 zeigt die Verteilung der Niederschläge in der Steiermark mit dem Maximum (Blautöne) im Norden und Nordwesten und dem Minimum im Osten und Südosten, aber auch in den inneralpinen Tälern südlich des Alpenhauptkammes (Grüntöne).

Da niederschlagsbringende Systeme in der Steiermark vorwiegend aus dem Sektor West-Nordwest-Nord kommen, regnen diese oft an den Nord- oder Zentralalpen ab und erreichen die südlichen und südöstlichen Landesteile nicht. Diese niederschlagsbringenden Fronten wären aber gerade im Winter entscheidende Reinigungsfaktoren für die Luft, da sie durch einen Luftaustausch Schadstoffe abtransportieren könnten.

Neben diesen großräumigen klimatischen Verhältnissen gibt es jedoch auch kleinräumigere Phänomene, die sich auf die Schadstoffausbreitung auswirken. In erster Linie handelt es sich dabei um die schon erwähnten Inversionen und um Lokalwindssysteme.

### Inversionen

Wenn man auf einen Berg steigt, weiß man, dass die Lufttemperatur mit zunehmender Höhe sinkt, doch das muss nicht immer der Fall sein. Im Winterhalbjahr melden Wetterstationen auf Bergen oft positive Temperaturen, während in den Tälern Frost herrscht - das ist dann eine Inversion - also eine „inverse“ (umgekehrte) Temperaturschichtung. In diesen Fällen sammelt sich kältere Luft in den Niederungen, da sie eine höhere Dichte als wärmere Luft hat. Darüber liegt dann wie ein Deckel ein Paket wärmerer Luft (Abb. 31). Das funktioniert aber nur bei stabilem Wetter, wenn also kein starker Wind oder keine Niederschläge diese Luftschichtung stören.



Abb. 31: Schematische Darstellung einer Inversion

Problematisch daran ist, dass alle ausgestoßenen Luftschadstoffe dann auch in dieser kühleren, bodennahen Luft bleiben und sich hier konzentrieren anstatt aufzusteigen und sich zu verdünnen.

Diese Erscheinung ist für die Steiermark auf Grund des vielgestaltigen Reliefs (Wechsel von Becken und Talengen) besonders typisch. Die inneralpinen Becken haben hierbei eine besondere Anfälligkeit für Inversionen, da sie allseitig durch hohe Berge abgeschirmt und von Talengen ober- und unterhalb der Becken begrenzt sind. Das bewirkt eine besonders ausgeprägte Windarmut und hohe Kaltluftgefährdung.



Abb. 32: Die Abgase aus dem Kamin können wegen vorherrschender Bodeninversion nicht aufsteigen

### B) Freie Inversionen (Höheninversionen)

Sie entstehen aufgrund dynamischer Vorgänge in der Atmosphäre, zB wenn milde Luftmassen auf Kaltluftseen in Bodennähe gleiten.

Die Folge ist, dass nun die Temperatur zuerst nach oben hin „normal“ abnimmt, und erst von einer bestimmten Höhe an (Untergrenze der Inversion) zuzunehmen beginnt. Ab der Obergrenze der Inversion nimmt sie wieder gesetzmäßig ab (siehe Temperaturprofil in Abb. 33).

Freie Inversionen sind im Winterhalbjahr oft mit Hochnebelbildung verbunden. Wer während einer solchen Zeit im Gebirge unterwegs ist, steht dann meist unter strahlend blauem Himmel und über einem Wolkenmeer, das die Obergrenze dieser Hochnebeldecke darstellt (Abb. 34).

Wenn diese Form der Inversion vorliegt, können Luftschadstoffe und Abgase vorerst normal aufsteigen und sich in der sog. →Mi-



Übung 4  
Praxisteil  
Seite 109

Da fast alle Becken und Buchten dazu größere Konzentrationen von Bevölkerung, Verkehr und Industrie beherbergen, führt das dort unweigerlich zu einer erhöhten Luftproblematik v. a. in der kalten Jahreszeit.



Versuch 5  
Praxisteil  
Seite 111

Für die Konzentration der Luftschadstoffe ist aber auch die Art der Inversion mitverantwortlich. Hier kann man prinzipiell zwei Formen unterscheiden.

### A) Bodeninversionen

Der Boden kühlt dabei (v. a. nachts und v. a. in der kalten Jahreszeit) durch Wärmeabstrahlung aus. Dadurch wird auch die bodennahe Luft stärker abgekühlt als die darüber liegende Luft. Da die kältere (dichtere) Luft unten bleibt, nimmt die Temperatur vom Boden bis zur Obergrenze der Inversion zu. Oft sind solche Inversionen mit Bodennebel verbunden. Wenn diese Form der Inversion vorliegt und sie sich auch tagsüber nicht auflöst, konzentrieren sich Luftschadstoffe besonders stark in Bodennähe (Abb. 32).

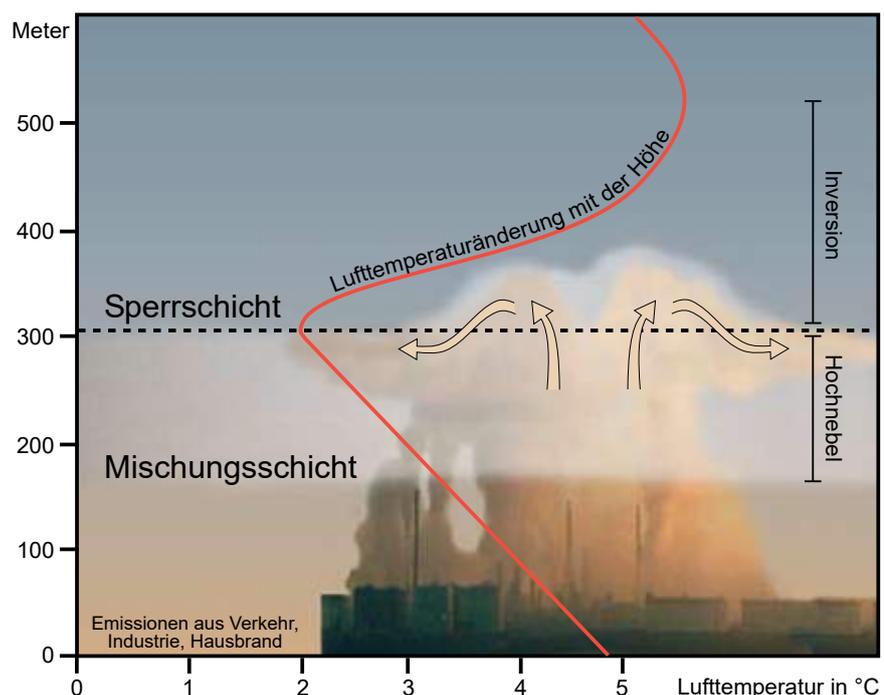


Abb. 33: Verhalten von Emissionen bei einer freien Inversion

schungsschicht verteilen und verdünnen. Erst darüber kommt dann die Sperrschicht. Das ist die Untergrenze der Inversion. Die thermische Energie der Abgase auch größerer Emittenten reicht nun nicht mehr aus, diese Inversion zu durchdringen, da die Luft hier nun nach oben wärmer wird und die abgekühlten Abgase wieder zurück in die Mischungsschicht fallen (Abb. 33). Blickt man von oben auf die Hochnebeldecke, erkennt man an solchen Stellen zwar eine Aufwölbung der Nebeldecke, aber kein Durchbrechen der Abgase (Abb. 34).



Abb. 34: Blick vom Schöckl nach Süd-West auf die Abgasfahnen zweier Emittenten. Die Gase wölben den Hochnebel zwar auf, durchdringen ihn aber nicht und sinken in die Mischungsschicht zurück. Dadurch bleiben unter diesen Bedingungen die Schadstoffe unter der Nebelgrenze.

Die Inversion wirkt also immer wie ein Deckel, der den vertikalen Luftaustausch unterdrückt oder unterbindet, die Schadstoffe bleiben damit in den untersten Luftschichten und damit in unserer Atemluft.

Je nach Geländekonfiguration können sich Inversionen oft besonders stark ausbilden oder lang anhalten. Je abgeschlossener und kessel-förmiger ein Landschaftsteil ist, desto besser können sich dort richtige „Kaltluftseen“ ausbilden.

Auch im Sommerhalbjahr gibt es Inversionen, allerdings lösen sich solche in der Nacht gebildeten Bodeninversionen in der Regel noch in den frühen Vormittagsstunden aufgrund der starken Sonneneinstrahlung und Erwärmung der bodennahen Luft auf.

### Lokalwindssysteme

Je nach Geländeausprägung können auch lokale Windsysteme die Schadstoffausbreitung stark beeinflussen. In der Steiermark sind hier Talwindssysteme von großer Bedeutung.

Der Impuls zur Entwicklung solcher Talwinde kommt von den tagesperiodischen Schwankungen der Luftdruckdifferenz zwischen Gebirge und Vorland (vergleichbar mit dem

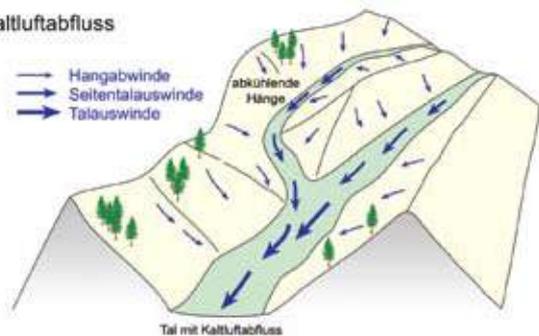
Land-Seewind-System). Das Gebirge kühlt sich nachts rascher ab als das durch die Vegetation „trägere“ Vorland. Dadurch bildet sich im Vorland ein Tief aus (bzw. ein Hoch im Gebirge). Dazu kommen Hangabwinde durch Kaltluftabfluss und es entsteht insgesamt ein talauswärts gerichtetes Windfeld.

Dieses kann man sich wie in den folgenden Punkten aufgezeigt vorstellen.

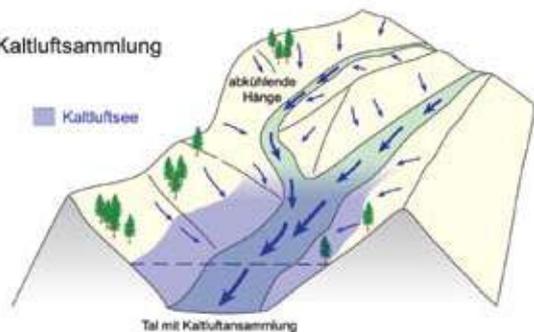
### A) Kaltluftabfluss und Hangabwind

Wenn nachts die bodennahe Luft schneller abkühlt als die Luft darüber, sinkt diese dichtere und damit schwerere Kaltluft unter dem Einfluss der Schwerkraft als Hangabwind zu Tal (Abb. 35). Meist setzt dieser Kaltluftabfluss kurz nach Sonnenuntergang ein.

#### 1.) Kaltluftabfluss



#### 2.) Kaltluftsammlung



#### 3.) starke Inversion mit Hochnebel



Abb. 35: Schema eines nächtlichen Lokalwindsystems

### B) Seitentalauswinde

Ihre Entstehung steht analog zu den Hangabwinden. Statt über geneigte Hänge abzufließen, fließt die kühlere, dichtere Luft entspre-

chend der Talneigung ab. In dicht besiedelten Gebieten haben diese Winde für die Lüfterneuerung eine große Bedeutung.

### C) Talauswinde

Bei größeren Tälern kann dieser Prozess zu einem bedeutenden Faktor für die Schadstoffausbreitung werden, insbesondere bei größeren Emittenten.

So ist etwa in Graz der Murtaauswind entscheidend. Diese 200-300 Meter mächtige Strömung ist ein Ergebnis der oben beschriebenen Vorgänge.

### D) Taleinwinde

Analog zu den meist nächtlichen Winden der Punkte A bis C passiert tagsüber genau das Gegenteil: Das Gebirge erwärmt sich dann rascher als das Vorland und es entstehen wieder Luftdruckunterschiede, die Luftbewegungen in Gang setzen.

Außerdem steigt Luft über sonnenerwärmten Hängen auf, Luft muss von unten „nachgeliefert“ werden und es entstehen Hangaufwinde (Abb. 36).



Abb. 36: Schema des Taleinwindes

Auf diese Weise entstehen Taleinwinde und damit ein im Gegensatz zur Nacht umgekehrtes Windfeld.



Abb. 37: Beispiel für den Wechsel von Talaus- zu Taleinwind bei einem Emittenten in Graz

Abb. 37 zeigt genau jenen Zeitpunkt, an dem an der Abgasfahne eines Emittenten in Graz zu erkennen ist, dass der morgendliche Talauswind vom einsetzenden Taleinwind abgelöst wird. Ein solch beispielhafter Ablauf ist aber nur möglich, wenn stabiles Wetter herrscht, also keine durchziehenden Fronten oder überregionale Winde diesen Prozess überlagern. Der Windrichtung entsprechend werden dann stets jene Gebiete stärker mit Luftschadstoffen belastet, die auf der Seite der jeweiligen Abgasfahne liegen.

### 3.1.3. Schlussfolgerungen

Das Zusammenwirken zwischen all diesen erwähnten Faktoren des Naturraums (Lage im Großraum, Kleinkammerung der Landschaft, lokale Geländebeziehungen, klimatische Einflüsse bzw. regionale Besonderheiten) zeichnet nun mitverantwortlich für die Luftschadstoffbelastung, sodass man abschließend besondere Gunst- und Ungünstlagen in der Steiermark erkennen kann. Von „besonders günstig“ bis „besonders ungünstig“ für die Luftqualität kann man etwa in folgender Weise aufliedern:

- Pass- und Höhenlagen (Gebirge)
- Mittlere Höhen in Hanglagen (zB St. Radegund bei Graz)
- Riedelland (zB Kumberg oder Lassnitzhöhe)
- gut durchlüftete Täler (zB Liesingtal oder Gesäuse)
- schlecht durchlüftete Täler (zB Palental oder Mur-Mürz-Furche)
- Talböden des Vorlandes (zB Grazer Bucht oder Leibnitzer Feld)
- Inneralpine Becken und Lagen (zB Judenburg-Knittelfelder Becken)



Rechnet man nun noch hinzu, dass die meisten ungünstigen Lagen günstige Siedlungsräume mit dementsprechenden sozioökonomischen Elementen (teils hohe lokale Bevölkerungs- und Industriedichte, reges Wirtschaftsleben mit hohem Verkehrsaufkommen) sind, lässt sich die zu erwartende Umweltproblematik leicht erkennen.

 **Spiel 1**  
Praxisteil  
Seite 114

### 3.2. Schutz der Luft - gesetzliche Richtlinien

Um diesem Spannungsfeld zwischen sozio-ökonomischen Faktoren und Umweltschutz gerecht zu werden, sind gesetzliche Richtlinien natürlich unabdingbar.

Eine Schwierigkeit dabei ist sicher die, dass Luft ja keine Staats-, ja nicht einmal Kontinentalgrenzen kennt. Deshalb ist das Thema Luftreinhaltung nur grenzübergreifend behandelbar und dementsprechend gibt es hier EU-weite Richtlinien über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität. Darin sind einheitliche Grenzwerte für verschiedene Schadstoffe festgelegt und auch einheitliche Messtechniken, die zur Ermittlung dieser Werte dienen. In Österreich gelten darüber hinaus bundesweite Gesetze, die teils strengere Grenzwerte für Luftbelastung haben als EU-weite Richtlinien.

#### Bundesluftreinhaltegesetz

Das Bundesluftreinhaltegesetz enthält allgemeine Verpflichtungen zur Luftreinhaltung und hat vor allem das Ziel, rechtliche Unschärfen zwischen bundes- und landesrechtlichen Luftreinhaltebestimmungen zu beseitigen und eindeutige Gesetzesverhältnisse zu schaffen.

#### Immissionsschutzgesetz Luft

Die entscheidende gesetzliche Grundlage für die Messung von Luftschadstoffen in Österreich ist das Immissionsschutzgesetz Luft (IG-L).



Abb. 38: Verkehrsbeeinflussungsanlage mit dem „IG-L Hunderter“ oder „Feinstaub-Hunderter“

Einen breiteren Bekanntheitsgrad erhielt das IG-L durch seine Nennung auf Verkehrsbeeinflussungsanlagen (Abb. 38, im Volksmund „Feinstaub-Hunderter“), wenn im Fall von hohen Konzentrationen einzelner Luftschadstoffe Geschwindigkeitsreduktionen vorgeschrieben werden.

Die wesentlichen Ziele dieses Gesetzes gehen aber weit über solche Einzelmaßnahmen hinaus und sind:

• Der dauerhafte Schutz der Gesundheit des Menschen, des Tier- und Pflanzenbestandes sowie der Kultur- und Sachgüter vor schädlichen Luftschadstoffen.

• Der Schutz des Menschen vor unzumutbar belästigenden Luftschadstoffen.

• Die vorsorgliche Verringerung der Immission von Luftschadstoffen.

• Die Bewahrung und Verbesserung der Luftqualität, auch wenn keine Grenz- und Zielwertüberschreitungen registriert werden.

#### Ozongesetz

Auch wichtig für Österreich ist das Ozongesetz, mit dem Regeln für den Umgang mit erhöhten Ozonkonzentrationen festgelegt sind. Es enthält Vorschriften zur Ozonüberwachung und zur Information der Bevölkerung und auch Bestimmungen über die Ziele und Maßnahmen zur Absenkung der Ozon-Vorläufersubstanzen.

Die aktuellen gesetzlichen Grenzwerte für die einzelnen Schadstoffe sind in den jeweiligen Kapiteln (4.2. bis 4.7.) angeführt.





## 4. Die wichtigsten Luftschadstoffe

## 4.1. Emission - Transmission - Immission

Der Schadstoffausstoß, der Schadstofftransport und der Schadstoffeintrag stellen im Rahmen der Luftreinhaltung das grundlegende Beziehungsgefüge dar (Abb. 39). Daher müssen diese Begriffe vor Betrachtung der einzelnen Luftschadstoffe erläutert werden.

Unter Emission (= Schadstoffausstoß) ist ganz allgemein das Freisetzen von (Luftschad-) Stoffen, Energie und Strahlen an die Umgebung zu verstehen.

Die Ausbreitung der emittierten Luftschadstoffe in der Atmosphäre wird als Transmission bezeichnet. Während dieser Transportvorgänge erfolgt allgemein eine Konzentrationsabnahme durch Vermischung der Abgase mit Frischluft. Darüber hinaus bewirken die meteorologischen Bedingungen in der Atmosphäre luftchemische Veränderungen der Schadstoffe, wie etwa beim Thema Ozon (siehe Kap.4.4.). Von einer Immission (= Schadstoffeintrag)

man Feucht- oder Nassdeposition. Lagern sich Schadstoffe ohne Einfluss von Niederschlägen ab, spricht man von Trockendeposition.

Eine wichtige Frage im Zusammenhang mit diesen Begriffen ist jene nach der Herkunft der einzelnen Schadstoffe (Kap. 4.2. bis 4.8.), also nach den Emissionsquellen.

Bei der Immission ist die Frage nach der Höhe des Konzentrationsniveaus der Schadstoffe in unserer Atemluft wichtig.

Zu beiden Fragen hat sich in den letzten Jahrzehnten viel verändert. Während in den 80er-Jahren des 20. Jahrhunderts etwa noch Schwefeldioxid als großes Problem der Luftverschmutzung galt, konnte dieses bis in die Gegenwart stark reduziert werden. Allerdings sind inzwischen andere Schadstoffe in den Vordergrund getreten, deren Wirkungen bisher unterschätzt wurden oder die zuvor nicht gemessen werden konnten.

Die folgenden Kapitel widmen sich deshalb den heute aktuellen Luftschadstoffen, wobei pro Schadstoff auf 1-2 Fallbeispiele aus der

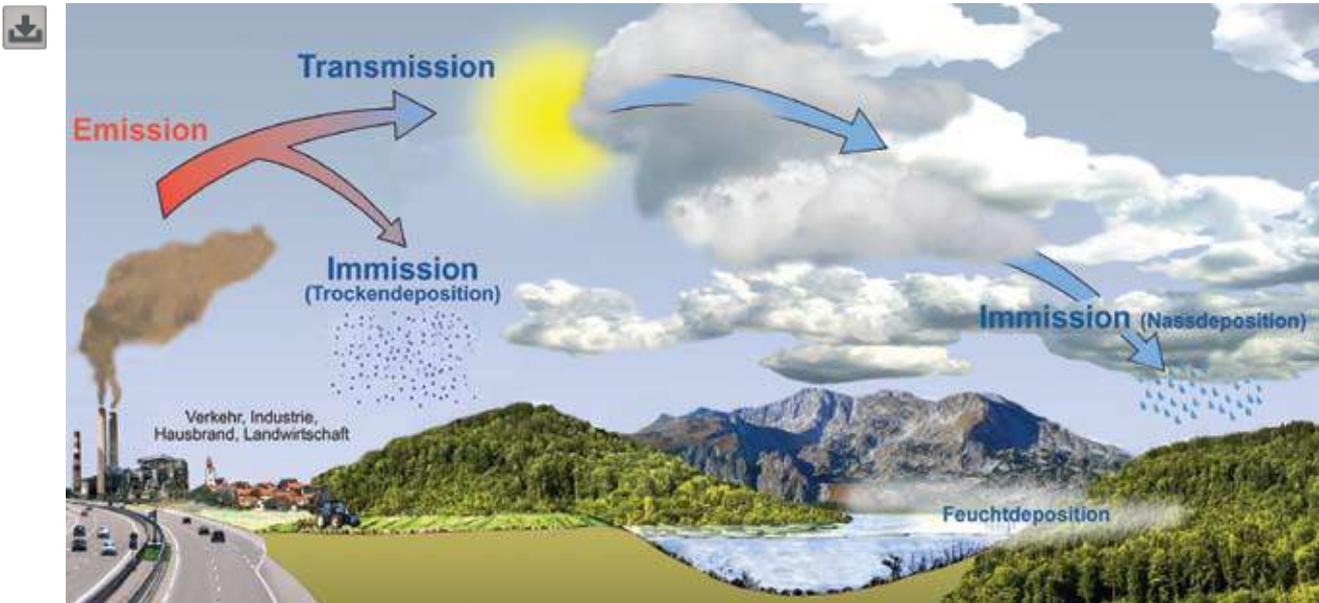


Abb. 39: Schematische Darstellung von Emission, Transmission und Immission

spricht man dann, wenn sich die Luftschadstoffe aus der Atmosphäre wieder auf einer Oberfläche absetzen. Diese Oberflächen stellen beim Menschen etwa die Atemwege dar und bei Pflanzen die Blätter. Schadstoffe, die sich in Wassertröpfchen der Atmosphäre auflösen und so im Nebel oder als Regen mit Oberflächen in Kontakt kommen, nennt

Steiermark näher eingegangen wird, die diverse Belastungssituationen nachvollziehbar darstellen. In der Karte in Abb. 40 sind diese Fallbeispiele verortet.

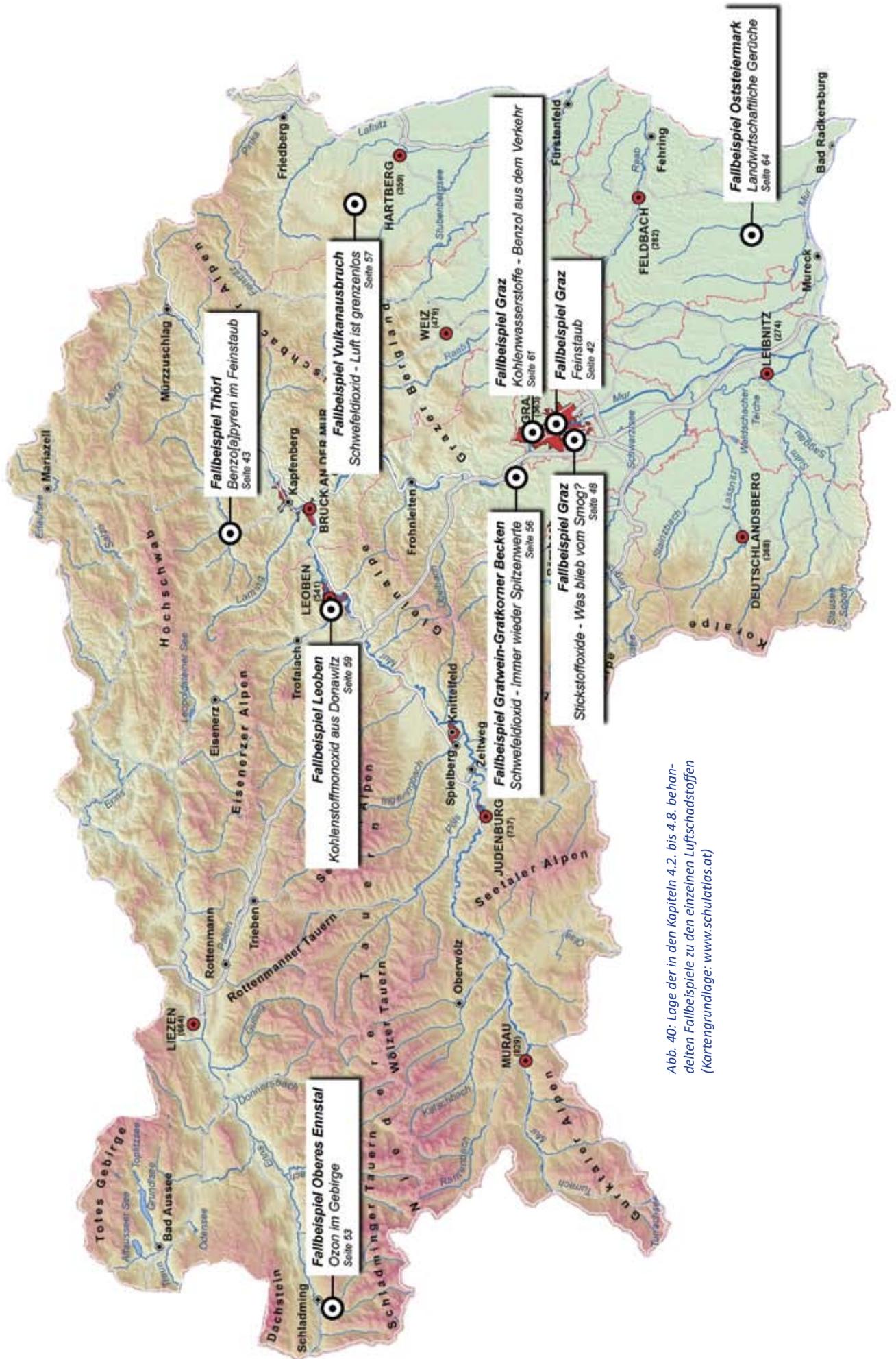


Abb. 40: Lage der in den Kapiteln 4.2. bis 4.8. behandelten Fallbeispiele zu den einzelnen Luftschadstoffen (Kartengrundlage: [www.schulatl.at](http://www.schulatl.at))

## 4.2. Partikel, Schwebstaub, Feinstaub

Unter Partikeln oder Stäuben versteht man hier alle schwebenden Feststoffe, die sich dispers (verstreut, verteilt) in einem Gas(gemisch), also der Luft, befinden. Diese Schwebstoffe können aus unterschiedlichen chemischen Substanzen zusammengesetzt und unterschiedlichsten Ursprungs sein. Als natürliche Emissionen gelten zB windverfrachteter Gesteinsstaub oder Blütenpollen. Vom Menschen produzierte Stäube entstehen meist durch Verbrennungsprozesse, mechanische Prozesse oder durch Aufwirbelung.

Die Korngröße - also der Durchmesser - der einzelnen Staubpartikel liegt zwischen 200 µm (Mikrometer) und 0,01 µm. Sind die Partikel kleiner als 30 µm spricht man von Schwebstaub, sind sie kleiner als 10 µm hat man es mit Feinstaub zu tun, der immer wieder für Schlagzeilen sorgt (Abb. 41) und der in Folge detaillierter betrachtet wird.



Abb. 41: Feinstaubproblematik in den Medien

Staub ist also nicht gleich Staub und Feinstaub ist auch nicht jener Staub, dem wir in unseren Häusern und Wohnungen täglich mit Staubsauger und Staubtuch begegnen. Bei Feinstaub handelt es sich vielmehr um mikroskopisch kleine Teilchen, die kleiner als ein hundertstel Millimeter sind ( $10\ \mu\text{m} = \frac{1}{100}\ \text{mm}$ ). In der wissenschaftlichen Nomenklatur spricht man dann von Partikeln mit einem →aerodynamischen Durchmesser bis  $10\ \mu\text{m}$ . Da die international verwendete Bezeichnung für Feinstaub „particulate matter“ lautet, kürzt man diesen Luftschadstoff mit  $\text{PM}_{10}$  ab. Um auch kleinere Teilchen extra betrachten

zu können, kann man Feinstaub aber auch in noch genauere Größenbereiche gliedern:

- Feinstaub mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner als  $0,08\ \mu\text{m}$  bezeichnet man auch als *ultrafeine Partikel*. Diese können sich schnell zu größeren Teilchen vereinigen.
- Partikel kleiner als  $2,5\ \mu\text{m}$  werden zusammenfassend als *feine Partikel* oder als  $\text{PM}_{2,5}$  bezeichnet. Sie werden teils auch extra gemessen.
- Den Größenbereich  $2,5\ \mu\text{m}$  bis  $10\ \mu\text{m}$  nennt man *grobe Fraktion im  $\text{PM}_{10}$* .

Feinstaub ist kein homogener Schadstoff, sondern eine Summe verschiedener Teilchen, also ein komplexes physikalisch-chemisches Gemisch aus festen und flüssigen Partikeln, das direkt bei diversen Verbrennungs- oder mechanischen Prozessen (Abb. 42) entsteht oder aus anderen Luftschadstoffen in einem chemischen Prozess indirekt gebildet wird. Die wichtigsten Bereiche, bei denen Feinstaub entsteht, sind:

- Straßenverkehr: Auspuffemissionen und Abrieb (Bremsen, Reifen, Kupplung, Straße)
- aufgewirbelter Straßenstaub, Winterstreuung (Splitt und Salz)
- Verbrennung (Hausbrand, industrielle Feuerungen)
- Industrie (zB Eisen- und Stahlindustrie)
- Schottergewinnung, Steinbrüche
- Landwirtschaft (Bodenbearbeitung, Düngung, Schweine- und Geflügelzucht)



Abb. 42: Die Beispiele für Feinstaub-Quellen reichen vom Verkehr über Baustellen und Hausbrand bis hin zur Landwirtschaft.

Bei den Entstehungsmechanismen anthropogen verursachter Teilchen kann man weiters zwischen folgenden Prozessen unterscheiden:



Versuch 6  
Praxisteil  
Seite 124

- **Primäre Teilchen aus Verbrennungsprozessen aller Art**  
Diese werden oft als ultrafeine Partikel emittiert. Dazu zählt zB Ruß aus Dieselmotoren.
- **Primäre Teilchen aus mechanischen Prozessen**  
Zu dieser Gruppe zählen jene Partikel, die aus dem Abrieb von Fahrzeugteilen wie Reifen und Bremsen, aber auch durch Straßenabrieb entstehen. Auch wieder aufgewirbelte Stäube (feinst zerriebener Streusplitt bzw. Streusalzkristalle) zählen hierzu. Die bei weitem bedeutendste Quelle der Wiederaufwirbelung von Staub ist der Straßenverkehr. Solche Teilchen treten meist als grobe Partikel auf.
- **Sekundäre Partikel**  
Sie werden aus gasförmigen Vorläufersubstanzen (wie Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, →Ammoniak, flüchtige organische Kohlenwasserstoffe) gebildet und sind meist feine Partikel. Diese chemisch gebildeten sekundären Emissionen spielen nicht nur in Ballungsräumen eine Rolle, sondern auch in ländlichen Regionen.



Spiel 2  
Praxisteil  
Seite 127

Neben diesen menschlichen Feinstaubquellen gibt es auch eine natürliche Grundbelastung, wie zB Salzkristalle aus Meeressgisch oder Partikel aus Vulkanausbrüchen. In der Steiermark sind auch immer wieder Teilchen aus Winderosion, zB aus der Sahara, die bei bestimmten Verhältnissen bis nach Mitteleuropa transportiert werden können, von Bedeutung. Auch Pollenfragmente und Sporen können kleiner als 10 µm sein und tragen dann zur natürlichen PM<sub>10</sub> Belastung bei. Im Allgemeinen kann man aber diese natürlichen Quellen bei der Feinstaub-Problematik außer Acht lassen, da sie im Vergleich zu den künstlichen Quellen in keinem Verhältnis stehen.

Doch woher kommt nun am meisten Feinstaub? Eine Streitfrage, die aber keine allgemein gültige Aussage zulässt, denn die Anteile der Feinstaubquellen sind sehr stark vom Standort abhängig und die Unterschiede zwischen einzelnen Messstationen sind dementsprechend hoch. In innerstädtischen Bereichen nimmt der

Verkehr natürlich einen großen Anteil der gesamten Feinstaubbelastung ein, in ländlichen Regionen bzw. Gebieten mit höherem Einfamilienhausanteil gewinnt der Hausbrand an größerer Bedeutung und auch die Entfernung der Messstationen zu Emittenten ist selbstverständlich zu beachten.

Eine Angabe für die Steiermark ist also nur grob gemittelt möglich, sodass man eine Dreiteilung der Verursacherquellen vornehmen kann: 1/3 Verkehr, 1/3 Hausbrand, 1/3 Rest.

Für Österreich gesamt gibt es aber jährlich Daten der Emissionen und derer Quellen. Das Umweltbundesamt gibt hier für das Jahr 2013 (aktuellster Wert bei Drucklegung) die Werte für PM<sub>10</sub> (Abb. 43) an. Auch für feinere Stäube (PM<sub>2,5</sub>) gibt es eine Aufgliederung (Abb. 44).

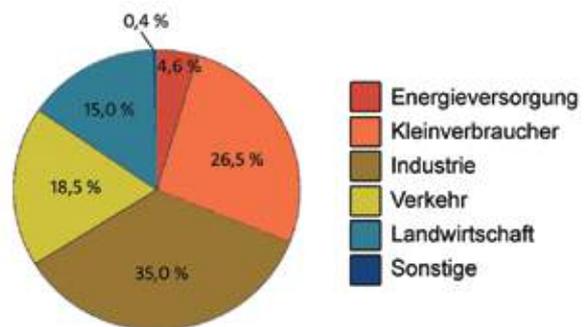


Abb. 43: Anteil der Verursacher-Sektoren an den PM<sub>10</sub>-Emissionen Österreichs im Jahr 2013 (Quelle: Umweltbundesamt)

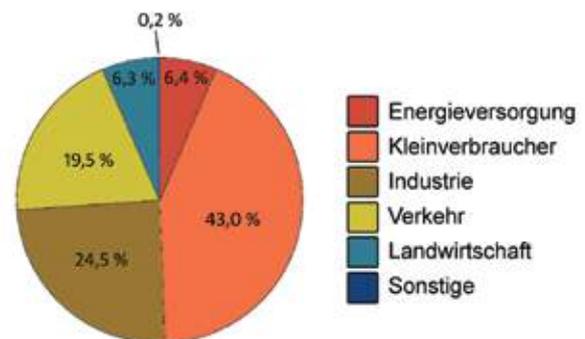


Abb. 44: Anteil der Verursacher-Sektoren an den PM<sub>2,5</sub>-Emissionen Österreichs im Jahr 2013 (Quelle: Umweltbundesamt)

Auch die Zusammensetzung von Feinstaub ist stark vom Standort abhängig. Tab. 3 zeigt hier diverse Inhaltsstoffe und dazugehörige Verursacher.

	Komponente	Vorläufer/Ursache
<b>Primäre Teilchen</b>	Ruß	Verbrennungsprozesse
	geologisches Material	Bau- und Landwirtschaft, Verkehr, Wind
	Schwermetalle	Verbrennung, Produktion
	Abriebspartikel	mechanische Beanspruchung
	biologisches Material, Pilzsporen, Pflanzenfragmente	Vegetation
<b>Sekundäre Teilchen</b>	Sulfat	Schwefeldioxid
	Nitrat	Stickstoffoxide
	Ammonium	Ammoniak
	organischer Kohlenstoff	flüchtige organische Substanzen

Tab. 3: Inhaltsstoffe und Ursachen für Feinstaub

All diese Partikel können - je nach Korngröße - einige Stunden oder über mehrere Tage in der Luft bleiben und auch über weite Strecken transportiert werden. Teilchen über 10 µm sedimentieren rasch und werden so aus der Luft entfernt, während feine Partikel meist nur durch einen Luftaustausch (Luftturbulenzen durch atmosphärische Prozesse) abtransportiert werden können. Vor allem sekundäre Partikel haben eine sehr lange Lebenszeit, weshalb auch lange Transportwege möglich sind (einige 1000 km). Außerdem können luftgetragene Teilchen fest oder flüssig sein und ihren Aggregatzustand in Abhängigkeit von der umgebenden Luft und der Temperatur ändern. Maßgebend ist auch die chemische Zusammensetzung der Partikel, etwa für ihre Reaktivität und ihre Fähigkeit, Wasser aus der Luft aufzunehmen und als Kondensationskeime für Wolkentröpfchen zu dienen.

Dass sich Staub neben unterschiedlichen Korngrößen und unterschiedlichem Chemismus auch durch unterschiedlichste Materialien und Komponenten voneinander unterscheidet, erkennt man gut unter dem Rasterelektronen-Mikroskop. Abb. 45 zeigt einige Partikel in einer solchen Vergrößerung.

Die Gefahr, die Feinstaub in sich birgt, ist eben seine geringe Größe und die daraus folgende →Lungengängigkeit. Je kleiner Teilchen sind, desto tiefer dringen sie in die Lunge ein (siehe „Gesundheitliche Auswirkungen von Partikeln und deren Inhaltsstoffen“, Seite 45).

Aus diesem Grund werden seit einigen Jahren

an einigen steirischen Messstationen auch Teilchen extra gemessen, die kleiner als 2,5 µm sind, also PM<sub>2,5</sub>. Zur Darstellung eines Trends ist die Zeitreihe aber noch zu kurz.

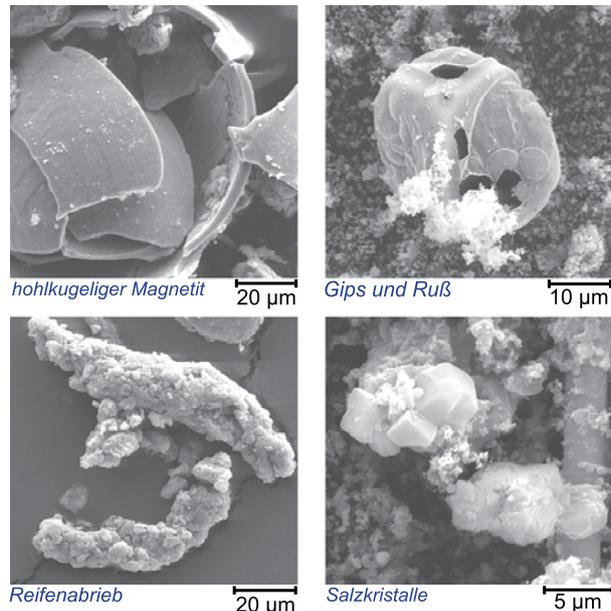


Abb. 45: Verschiedene Staub-Komponenten unter dem Rasterelektronen-Mikroskop, jeweils mit eigenem Linearmaßstab

Wie lassen sich aber nun solche mikroskopisch kleinen Teilchen messen und was wird überhaupt in der Steiermark messtechnisch festgehalten? Stäube in der Luft werden in der Steiermark bereits seit 1975 gemessen und seit 1985 automatisch erfasst. Diese Messungen ergaben dann die Schwebstaub-Belastung (abgekürzt TSP = total suspended particulates), wobei der PM<sub>10</sub>-Anteil aber nicht getrennt erfasst wurde. Im Jahr 2000 wurden die ersten Staub-Messstationen auf die Messung der Feinstaubkonzentrationen umgerüstet. Aufgrund neuerer gesetzlicher Vorschriften ab 2001, die erstmals einen Grenzwert für PM<sub>10</sub> vorschrieben, wurden diese Messungen ab 2001 intensiviert. Heute werden 41 Luftgütemessstationen (Stand 2016) in der Steiermark betrieben, die u. a. Feinstaub messtechnisch erfassen. Zwei Beispiele von Messungen finden sich in den beiden Fallbeispielen dieses Kapitels.

### Gesetzliche Grenzwerte

Seit Juli 2001 gibt es einen eigenen, auf einer EU-Richtlinie basierenden Grenzwert für Feinstaub, die Maßeinheit ist µg/m<sup>3</sup>. Das bedeutet, man misst wie viel Mikrogramm (µg) an

Partikeln sich in einem Kubikmeter Luft befinden. Auch die meisten anderen Schadstoffe werden in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen. Angegeben wird dabei jeweils ein gemittelter Wert der kontinuierlichen Messungen über eine bestimmte Zeitdauer. Zur Anwendung kommen hier meist Mittelwerte über eine halbe Stunde Messzeit (= Halbstundenmittelwert oder HMW), über 24 Stunden (= Tagesmittelwert oder TMW) oder der Jahresmittelwert (JMW).

Der HMW eignet sich sehr gut, um kurzfristige Schwankungen der Belastung zu sehen, zB wenn man nachvollziehen möchte, wann und wo die Belastung in der Silvesternacht hoch war.

Der TMW ist wichtig, da er beim Feinstaub herangezogen wird, um damit einen gesetzlichen Grenzwert (Tab. 4) zum „dauerhaften Schutz der menschlichen Gesundheit“ beschreiben zu können.

Der JMW eignet sich, um langfristige Entwicklungen über mehrere Jahre gut sichtbar zu machen. Auch hier gibt es einen Grenzwert.

Tab. 4 zeigt auch Grenzwerte für die Staubdeposition und die darin enthaltene Menge der Schwermetalle Blei und Cadmium. Leere Felder in der Tabelle bedeuten „keine Grenzwerte“.

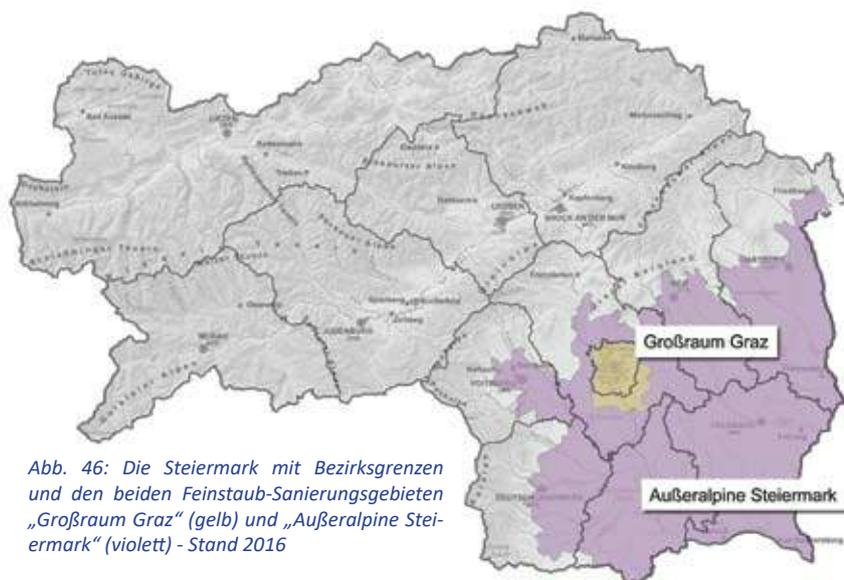


Abb. 46: Die Steiermark mit Bezirksgrenzen und den beiden Feinstaub-Sanierungsgebieten „Großraum Graz“ (gelb) und „Außeralpiner Steiermark“ (violett) - Stand 2016

gewisse Anzahl an Toleranztagen, an denen der Grenzwert überschritten werden darf. Aktuell liegt die Zahl der tolerierten Überschreitungstage laut Immissionsschutzgesetz-Luft bei 25. Laut EU liegt dieser Toleranzwert allerdings bei 35 Tagen. Erst wenn an Messstationen an über 35 Tagen die Feinstaub-Grenzwerte überschritten werden, drohen hier Konsequenzen. Da diese Toleranz - auch in der Steiermark - in vergangenen Jahren oft überschritten wurde (siehe Abb. 48), wurde Österreich von der EU auch schon mehrfach durch eine Klagsandrohung gemahnt (auch bezüglich zu hoher Stickstoffdioxid-Werte).

Allerdings hat sich die Situation aufgrund vieler Maßnahmen in den letzten Jahren auch schon deutlich verbessert, sodass die sog. „Feinstaub-Sanierungsgebiete“ in der Steiermark bereits verkleinert werden konnten. Die Karte in Abb. 46 zeigt die aktuelle Abgrenzung dieser Gebiete erhöhter Belastung (Stand 2016). Von besonderer Problematik ist das Thema Feinstaub dort - bzw. überall - in der kalten Jahreszeit. Die Abb. 49 im folgenden Fallbeispiel zeigt diesen signifikanten Jahresgang mit einem Maximum der Belastung im Winter. Grund dafür sind die in den Kapiteln 3.1.1. und 3.1.2. erwähnten naturräumlichen Rahmenbedingungen, die zu dieser Zeit für einen wesentlich schlechteren Luftaustausch als im Sommerhalbjahr verantwortlich sind.



Übung 5  
Praxisteil  
Seite 142

Luftschadstoff	HMW	TMW	JMW
Feinstaub (PM <sub>10</sub> )		50	40
Feinstaub (PM <sub>2,5</sub> )			25
Blei in PM <sub>10</sub>			0,5
Staubniederschlag (SN)			210
Blei im SN			0,100
Cadmium im SN			0,002

Tab. 4: Grenzwerte für Partikel (Erläuterungen im Text) in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  bzw. Grenzwerte für Staubdeposition und dessen Schwermetallgehalt in  $\text{mg}/\text{m}^2$  und Tag.

Was passiert nun, wenn an einem Tag der PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  überschritten wird? Vorerst noch nichts, denn es gibt eine

## Fallbeispiel Graz - Feinstaub

Aufgrund der in Kapitel 3.1. erwähnten Faktoren (Entstehung eines Ballungsraumes in Kombination mit für die Luftgüte ungünstigen naturräumlichen Bedingungen) ist in der Landeshauptstadt Graz natürlich eine erhöhte Luftbelastung zu erwarten. Insbesondere die Lage südlich des Alpenhauptkammes (Abschirmung der niederschlagsbringenden Fronten aus Nord und Nordwest) und die lokale Geländesituation (Buchtlage mit Inversionsgefährdung und schlechter Durchlüftung) sind hier v. a. in der kalten Jahreszeit immer schon für eine - im Vergleich zu anderen Landeshauptstädten - verhältnismäßig hohe Luftbelastung mitverantwortlich. Der Vergleich von vier österreichischen Messstationen in Abb. 47 zeigt

diesen Umstand gut. Die Graphik zeigt die Jahresmittel der Feinstaub-Messwerte von vergleichbaren Messstationen in Graz, Wien, Linz und Salzburg seit 2001. Ganz deutlich ist hier die Station Graz (Don Bosco) die am stärksten belastete über alle Jahre. Hier passieren täglich rund 37000 Fahrzeuge die Messstation und bedingen hohe Messwerte und zahlreiche Grenzwertüberschreitungen.

Alle anderen Stationen liegen praktisch gleichauf. Auffallend ist aber auch der relativ parallele Verlauf über alle Jahre. Das bedeutet, dass der Verlauf der Gesambelastungen (Spitzen und geringer belastete Jahre) großräumig gut korreliert. Grund dafür ist in der Regel die Witterung in den einzelnen Jahren. So waren die Jahre 2014 und 2015 etwa besonders günstig, da häufigere Frontdurchgänge auch südlich des Alpenhauptkammes (zB Italtiefes) für häufigeren Luftaustausch sorgten.

Der gut sichtbare langfristige Rückgang über den gesamten Zeitraum ist jedoch zahlreichen Maßnahmen zur Verringerung der Feinstaub-Emissionen zu verdanken.

Noch augenfälliger sieht man diesen Rückgang bei der Betrachtung der Anzahl der Überschreitungstage. Das sind jene Tage im Jahr, an denen die Feinstaub-Belastung über dem gesetzlichen Grenzwert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Tagesmittel lag.

Abb. 48 zeigt dies für dieselben Messstationen wie in Abb. 47. In Graz (Don Bosco) waren im ersten Jahr der Feinstaub-Messungen (2001) fast 160 Überschreitungstage zu verzeichnen. Die damalige Zahl an Toleranztagen betrug 35 (die Zahl der Toleranztage ist in der Graphik als rote Fläche dargestellt). Aktuell liegt sie nur mehr bei 25 nach IG-L (Immissionsschutzgesetz-Luft).

Bis 2009 kam es dann zu einem massiven Rückgang der Überschreitungstage. Der starke Rückgang ist u. a. der Optimierung des Winterdienstes zu verdanken, der

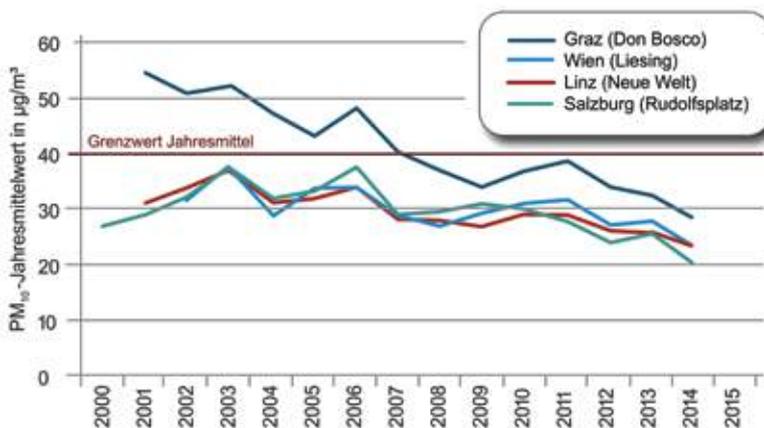


Abb. 47: Entwicklung des Jahresmittelwertes von Feinstaub ( $\text{PM}_{10}$ ) an vier Messstationen in österreichischen Städten (Quelle: Umweltbundesamt)

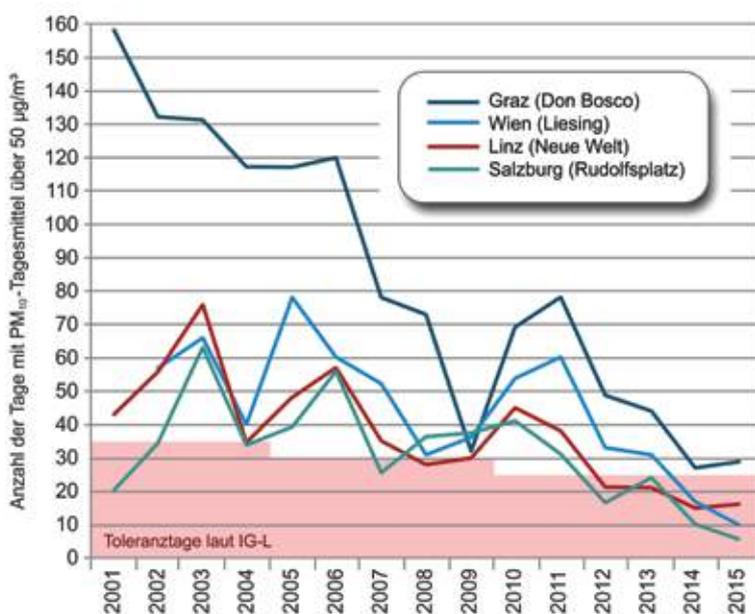


Abb. 48: Entwicklung der Anzahl der Überschreitungstage des Grenzwertes des  $\text{PM}_{10}$ -Tagesmittels in österreichischen Städten (Quelle: Umweltbundesamt)

geringe Wert 2009 den günstigen Witterungsbedingungen. Ungünstigere Winter sorgten danach wiederum für einen Anstieg. Obwohl günstigere Winter 2014 und 2015 wieder für ein Absinken der Werte sorgten und auch weitere Maßnahmen zur Luftreinhaltung durchgeführt wurden, liegt die Anzahl der Überschreitungstage in Graz (Don Bosco), aber auch an einigen anderen Messstellen der Steiermark noch über der Toleranzgrenze.

Sehr ähnlich zeigt sich die Entwicklung seit 2001 in den anderen drei erwähnten Städten, wo die Zahl der Überschreitungstage lange deutlich über den Toleranztagen lag, aber ein deutlicher Trend nach unten in den letzten Jahren zu verzeichnen war.

Diese erfreuliche Entwicklung darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Feinstaub-Belastung v. a. im Winterhalbjahr in weiten Landesteilen noch deutlich zu hoch ist. Abb. 49 zeigt den deutlichen Jahresgang der Belastung mit einem Maximum im Winter als Beispiel an der Messstation Graz-Süd. Neben den schon behandelten schlechteren Ausbreitungsbedingungen in der kalten Jahreszeit sind dafür aber auch die sog. „Winterquellen“ mitverantwortlich. Dazu zählen Emissionen aus dem Hausbrand und dem Winterdienst.

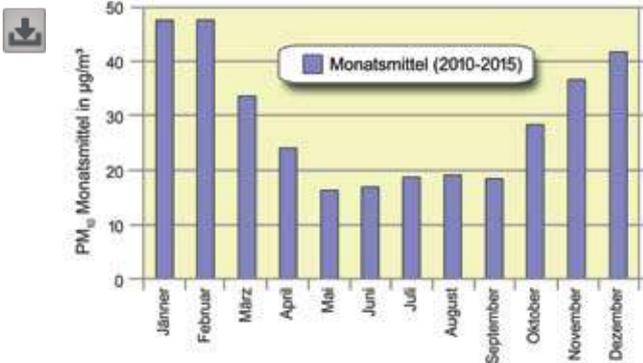


Abb. 49: Jahresgang der Feinstaub-Belastung an der Messstation Graz-Süd. Die Balken zeigen die durchschnittlichen Monatsmittelwerte über den Zeitraum 2010-2015

Gesundheitlich bedenklich ist Feinstaub nicht nur aufgrund seiner Lungengängigkeit, sondern auch aufgrund von Schadstoffen, die im Feinstaub enthalten sein können und damit unserem Körper „mitgeliefert“ werden. Deshalb wurden an einigen Stationen in der Steiermark Schwermetalle im Feinstaub (zB Arsen, Blei, Cadmium, Nickel) gemessen.

Hier zeigt sich aber, dass die ermittelten Konzentrationen deutlich unter den Grenzwerten

liegen. Als durchaus bedenklich kann hingegen die Konzentration von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, abgekürzt PAK, im Feinstaub gesehen werden.

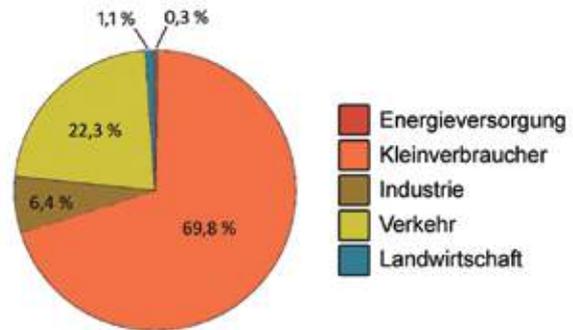


Abb. 50: Anteil der Verursacher-Sektoren an den PAK-Emissionen Österreichs im Jahr 2013 (Quelle: Umweltbundesamt)

Da dieser Schadstoff v. a. aus dem Hausbrand stammt, können hier auch ländliche Regionen stärker betroffen sein. Abb. 50 zeigt das sehr eindrucksvoll für Gesamtösterreich, wo rund 70 % dieser Schadstoffgruppe von Kleinverbrauchern stammen.

Aus diesem Grund stammt das folgende Fallbeispiel aus einer Gegend, in der man eigentlich nicht mit hoher Luftbelastung rechnet.

### Fallbeispiel Thörl - Benzo[a]pyren im Feinstaub

Benzo[a]pyren ist ein Vertreter der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (abgekürzt „PAKs“). Dazu einige Erklärungen:

#### 1.) Was sind polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe?

Kohlenwasserstoffe sind eine vielfältige Stoffgruppe chemischer Verbindungen, die nur aus Kohlenstoff (C) und Wasserstoff (H) bestehen. Es gibt mehrere Untergruppen von Kohlenwasserstoffen, ein sehr bekannter Kohlenwasserstoff ist etwa Methan (CH<sub>4</sub> - Abb. 51).



Abb. 51: Molekülmodell von Methan: Grau das Kohlenstoffatom (C), weiß die vier Wasserstoffatome (H) (Quelle: Wikimedia Commons)

Eine dieser Untergruppen von Kohlenwasserstoffen sind die „aromatischen Kohlenwasserstoffe“. Die Bezeichnung „aromatisch“ stammt vom Geruch der zuerst entdeckten Verbindungen dieser Stoffklasse. Der Kohlenstoff darin ist meist in Ringen angeordnet. Der bekannteste Vertreter davon ist das Benzol (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> - Abb. 52).

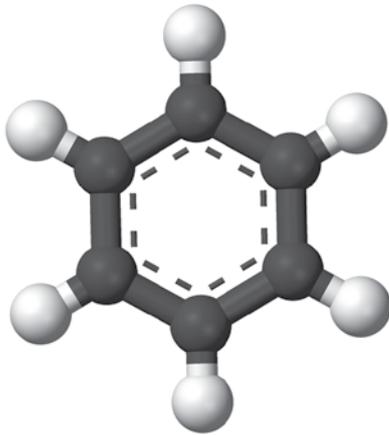


Abb. 52: Molekülmodell von Benzol: Grau die Kohlenstoffatome (C), weiß die Wasserstoffatome (H) (Quelle: Wikimedia Commons)

Eine Untergruppe dieser Untergruppe sind dann die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe. Diese bestehen aus mehreren aneinanderhängenden Benzolringen. Das Benzo[a]pyren besteht aus fünf solchen Benzolringen. Es wird mit B[a]P abgekürzt und hat die Formel C<sub>20</sub>H<sub>12</sub> (Abb. 53).

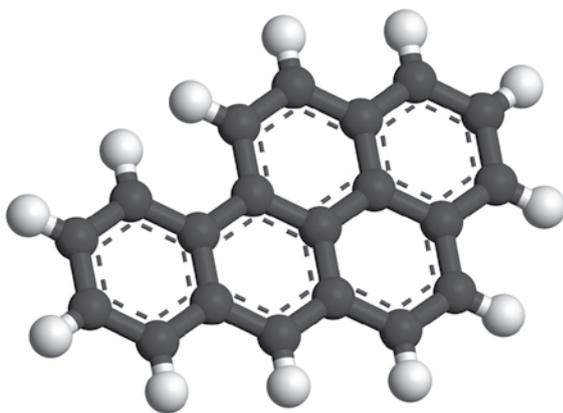


Abb. 53: Molekülmodell von Benzo[a]pyren: Grau die Kohlenstoffatome (C), weiß die Wasserstoffatome (H) (Quelle: Wikimedia Commons)

## 2.) Wie entstehen polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe?

PAKs entstehen bei Verbrennungsprozessen, wenn nicht optimale Verbrennungsbedingungen herrschen. Das geschieht zB wenn zu wenig Sauerstoffzufuhr bei der Verbrennung von organischem Material oder fossilen

Brennstoffen herrscht und die Verbrennung dann unvollständig ist. Deshalb ist Benzo[a]pyren auch ein typischer Schadstoff aus dem Hausbrand und man kann diesen im Feinstaub gemessenen Stoff meist gut mit der Schadstoffquelle in Verbindung bringen. Auch die Tatsache, dass Benzo[a]pyren ein ausgeprägtes Wintermaximum hat und die Belastung im Sommer praktisch auf Null geht, zeigt diesen Umstand.

## 3.) Wie wird Benzo[a]pyren gemessen?

Dieser Schadstoff (sowie eine Reihe weiterer Verbindungen) wird aus gewonnenen Staubproben ermittelt. Im Immissionsschutzgesetz-Luft ist für Benzo[a]pyren seit 2013 ein Grenzwert von 1 ng/m<sup>3</sup> (Nanogramm pro Kubikmeter Luft) als Jahresmittelwert festgelegt.

In der Steiermark wird der Schadstoff dort gemessen, wo aufgrund hoher Dichte an Holzheizungen in Kombination mit schlechten Ausbreitungsbedingungen eine hohe Konzentration zu erwarten ist. Im Fallbeispiel wurde eine Messung von Anfang 2012 bis Mitte 2013 im Ortsteil Fölz in Thörl durchgeführt. Der Standort wurde auf Grund der Lage in einem schlecht durchlüfteten inneralpinen Tal und des verbreiteten Einsatzes von festen Brennstoffen zur Raumwärmeerzeugung gewählt.

Beim Feinstaub war hier keine erhöhte PM<sub>10</sub>-Belastung zu erwarten. Bei den PAKs hingegen wurden recht hohe Konzentrationen gemessen, die lediglich von der Messstation Graz-Süd (viele Einfamilienhäuser und Einzelheizungen) übertroffen wurden. Abb. 54 zeigt die Jahresmittel für das Jahr 2012 für alle gemessenen PAKs für Thörl und Graz-Süd im Vergleich.

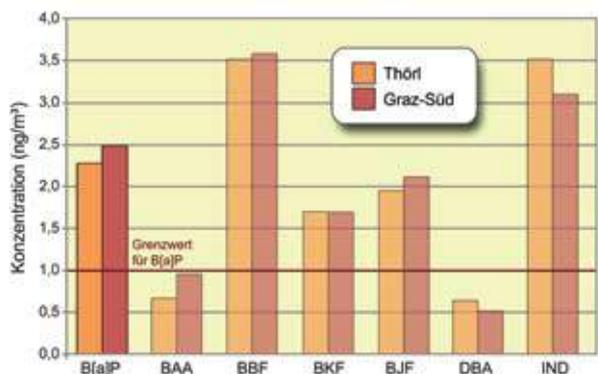


Abb. 54: Jahresmittelwerte für diverse PAKs an den Stationen Thörl und Graz-Süd für das Jahr 2012

Die ersten zwei Säulen stellen das behandelte Benzo[a]pyren dar, die anderen Säulen weitere PAKs, die hier nicht näher erläutert werden und für die es auch keine Grenzwerte gibt, die aber der Vollständigkeit halber hier aufgezählt sind:

- Benzo(a)anthracen - BAA
- Benzo(b)fluoranthren - BBF
- Benzo(k)fluoranthren - BKF
- Benzo(j)fluoranthren - BJF
- Dibenz(a,h)anthracen - DBA
- Indeno(123-cd)pyren - IND

Deutlich lagen beim Benzo[a]pyren die Jahresmittelwerte beider Stationen über dem gesetzlichen Grenzwert. Ein markanter Belastungsanstieg in den Wintermonaten wies weiters klar auf erhöhte PAK-Emissionen durch den Einsatz fester Brennstoffe in älteren oder schlecht gewarteten Heizungsanlagen hin.

### Gesundheitliche Auswirkungen von Partikeln und deren Inhaltsstoffen

Übung 6  
Praxisteil  
Seite 145

Mit jedem Atemzug gelangen Tausende von Partikeln in unsere Lunge, wo sie je nach Größe in den luftleitenden Atemwegen oder im Gasaustauschbereich - den Alveolen - abgelagert werden (vgl. Kap. 2.1.). Abb. 55 zeigt eine schematische Darstellung der Atemwege und die Eindringtiefen der Partikel unterschiedlicher Größe. Teilchen über ca. 10 µm werden nicht eingeatmet bzw. vorwiegend in der Nase zurückgehalten. Je kleiner die Partikel sind, desto tiefer dringen sie in die Atemwege ein und werden im Nasen-Rachenraum, der Luftröhre, in den Bronchien, in den Bronchiolen oder in den Lungenbläschen (Alveolen) abgeschieden.

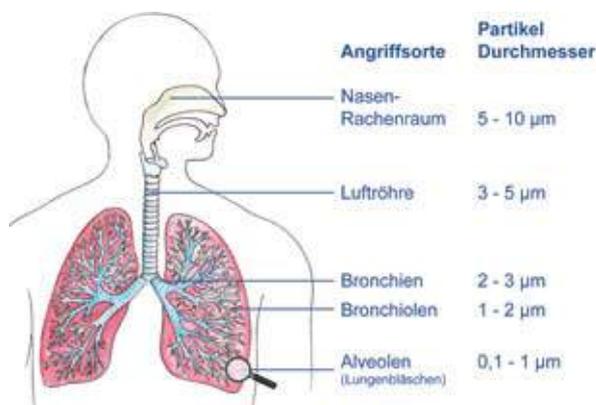


Abb. 55: Lungengängigkeit diverser Partikelgrößen

Vom hinteren Rachenraum bis in die Bronchien sind die Oberflächen der Atemwege mit Flimmerhaaren ausgekleidet (Flimmerepithel oder respiratorisches Epithel, Abb. 56). Die Spitzen der Flimmerhaare (Zilien) ragen in den darüber liegenden Schleimteppich, der in der Luftröhre 8-12 µm, in den Bronchien nur noch 0,1 µm dick ist.

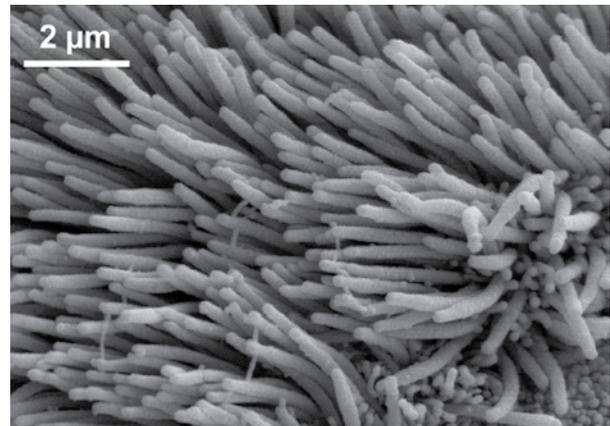


Abb. 56: Elektronenmikroskopische Aufnahme der Flimmerhaare (Quelle: Wikipedia, Louisa Howard)

Dieses System ermöglicht die Entfernung eingedrungener Partikel. Die feinen Härchen transportieren den Flüssigkeitsfilm samt den darin haftenden Partikeln durch Wellenbewegungen in Richtung Rachen, wo er laufend verschluckt oder ausgehustet wird.

In den dünnen Bronchiolen und den Alveolen gibt es keine Flimmerhaare und keinen Schleim mehr. Die Partikel, die bis in die Lungenbläschen gelangt sind, werden aber durch Fresszellen entfernt. Wenn diese unverdauliches Material aufgenommen haben, wandern sie über die zuleitenden Atemwege in Richtung Rachen und werden ausgeschieden. Je nach Eindringtiefe und Partikelgröße dauert der Abtransport der Partikel aber unterschiedlich lang.

Der menschliche (und auch tierische) Organismus ist aber nur für den Schutz vor vergleichsweise größeren Teilchen ausgerüstet, weil es Fein(st)partikel erst seit relativ kurzer Zeit (industrielle Revolution) in verstärktem Maße in der Außenluft gibt und evolutionär eine Anpassung bis dahin nicht wirklich notwendig war.

Die weiteren Wirkungsmechanismen der Partikel sind mannigfaltig, sodass folgende Auswirkungen - je nach Dauer der Belastung - zu erwarten sind:

- erhöhte Anfälligkeit für Infektionen wegen geschwächter Immunabwehr
- Atemwegssymptome (Husten, Auswurf, Atemnot)
- Schübe von Bronchitis, Asthma, Herz-Arhythmien
- Lungenentzündungen, Asthmaanfälle und andere Atemwegs- und Herz-Kreislaufkrankungen
- Entzündungen der Atemwege, welche zu einem verminderten Gasaustausch und zur Hypoxie (weniger Sauerstoff in bestimmten Körperregionen) führen
- Entzündungen der Alveolen, hervorgerufen durch ultrafeine Partikel, welche zur Ausschüttung von Botenstoffen und als Folge zu einer erhöhten Blutgerinnung und damit zu einem erhöhten Risiko für einen Herzinfarkt führen
- allgemeine Verschlechterung der Lungenfunktion
- erhöhte Durchlässigkeit der Lunge, welche zum Lungenödem führen kann
- Lungenkrebs
- vorzeitiges Herzversagen bei Personen mit chronischen Herzkrankheiten durch akute Bronchiolitis (Entzündung der Bronchiolen) oder Pneumonie, hervorgerufen durch die Partikel

Da mit Feinstäuben oft auch problematische Inhaltsstoffe (zB Schwermetalle, Kohlenwasserstoffe) in den Körper gelangen, müssen auch gesundheitliche Auswirkungen dieser Stoffe berücksichtigt werden. Beim bereits erwähnten Benzo[a]pyren ist dessen krebserregende Wirkung in Zusammenhang mit Zigarettenrauch schon lange bekannt. Außerdem gilt Benzo[a]pyren auch als die Ursache des sogenannten „Schornsteinfegerkrebses“, ein Tumor, der sich vor allem durch den Reiz des Rußes entwickelt, in dem Benzo[a]pyren enthalten ist.

Das eingeatmete Benzo[a]pyren selbst ist dabei aber nicht giftig, es wird aber im Körper umgewandelt und erst die Nachfolgesubstanzen wirken dann kanzerogen, da diese mit der DNA chemisch reagieren können. Deshalb wird Benzo[a]pyren nach seinem Gefährdungspotential als „giftig“ und „umweltgefährlich“ bezeichnet.

## Maßnahmen gegen Partikel

Aufgrund der zahlreichen Verursacher von Feinstaub gibt es *die* große Einzelmaßnahme nicht. Deswegen gilt die Realisierung so vieler kleiner Maßnahmen wie nur möglich als Mittel der Wahl, um Erfolge bei der Reduzierung von Feinstaub zu erzielen.

Für die Steiermark gibt es ein Luftreinhalteprogramm, das Handlungsmöglichkeiten zur Reduktion diverser Luftschadstoffe aufzeigt. Bereiche, die darin behandelt werden, sind Verkehr, Motorentechnik, Hausbrand und Energie, Winterdienst, Landwirtschaft und Raumplanung. Beispiele für Maßnahmen sind:

### Maßnahmen im Bereich Verkehr:

- Beschränkungen des motorisierten Individualverkehrs und weiterer Ausbau des öffentlichen Verkehrs (ÖV)
- Geschwindigkeitsbegrenzungen
- Emissionsminderung beim ÖV und bei Nutzfahrzeugflotten (Partikelfilter, alternative Antriebssysteme, →Ecodriving)
- Optimierung des Winterdienstes und der Straßenreinigung
- Partikelfilter für Nutzfahrzeuge (Nachrüstung bzw. Pflichtausstattung von Neufahrzeugen)
- Partikelfilter für Diesel-PKW (Neuwagen)

Als einzige wirklich nachhaltige und effektive Maßnahme im Verkehrssektor gilt aber eine deutliche Verkehrsreduktion bis hin zur -vermeidung. Trendforscher sagen voraus, dass v. a. in Städten die Mobilitätswelt in Zukunft bunter sein wird. Zu Fuß gehen und Rad fahren wird aus Gesundheits- und Klimaschutzgründen wieder in den Vordergrund gerückt, der öffentliche Verkehr wird individueller, flexibler und dienstleistungsorientierter gestaltet und der notwendige Autoverkehr u. a. in Form von Verleihsystemen in den öffentlichen Verkehr integriert. Der Nutzen und nicht der Besitz von Fahrzeugen wird einen immer höheren Stellenwert haben. Eine sich jetzt schon abzeichnende Veränderung von Wertemustern (v. a. bei Jugendlichen in Städten) macht es möglich, dass sich völlig neue Chancen für eine neue Lebensqualität entwickeln können.



**Übung 7**  
Praxisteil  
Seite 149



**Darstellung 1**  
Praxisteil  
Seite 151



**Darstellung 2**  
Praxisteil  
Seite 156

### Maßnahmen für Industrie und Gewerbe:

- Reduktion von konkreten Emissionen nach dem Stand der Technik
- emissionsmindernde Maßnahmen auf Baustellen
- Emissionsreduktionen bei Motoren von Baumaschinen und Stationärmotoren
- Emissionsreduktion bei Maschinen und Geräten in Industrie, Gewerbe, Haushalten
- emissionsmindernde Maßnahmen bei der Schottergewinnung und -verarbeitung

### Maßnahmen für Hausbrand und Feuerungsanlagen:

- weiterer Ausbau leitungsgebundener Energieträger mit regionaler Anschlussverpflichtung
- Ersatz alter Festbrennstoffkessel
- Staubminderung bei emissionsintensiven Feuerungen (Holzfeuerungen)
- Verringerung des Energiebedarfs in Alt- und Neubauten (Wärmedämmung)

### Maßnahmen in der Landwirtschaft:

- Abgasnormen für landwirtschaftliche Maschinen
- Reduktion der Ammoniak-Emissionen
- Staubvermeidung bei der Intensiv-Tierhaltung
- Verzicht auf offene Verbrennung von biogenem Material im Freien

## 4.3. Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>)

In der Atmosphäre kommt eine Reihe von gasförmigen Stickstoffverbindungen vor, welche als Stickstoffoxide bezeichnet werden. Aus lufthygienischer Sicht sind in erster Linie die beiden Verbindungen Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) von Bedeutung. Das Gemisch beider Substanzen wird als NO<sub>x</sub> bezeichnet.

Wie bei den Partikeln gibt es auch hier natürliche Entstehungsprozesse, wie etwa mikrobiologische Umsetzungen im Boden sowie Gewitterentladungen. Diese sind im Vergleich zu den künstlichen Quellen aber wiederum vernachlässigbar. Die stärksten anthropogenen Quellen für Stickstoffoxide sind der Verkehr,

die Emissionen aus verschiedenen Industriezweigen (zB Zement- und Glaserzeugung, chemische Industrie) und der Hausbrand (Kleinverbraucher). Auch hier bietet das Umweltbundesamt eine Aufgliederung der Anteile für Gesamtösterreich (Abb. 57).

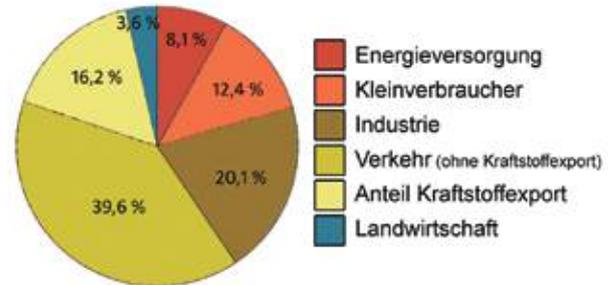


Abb. 57: Anteil der Verursacher-Sektoren an den NO<sub>x</sub>-Emissionen Österreichs im Jahr 2013. Mit dem Begriff „Kraftstoffexport“ ist der Tanktourismus gemeint. Treibstoff wird dabei in Österreich getankt, aber außerhalb von Österreich verbraucht. (Quelle: Umweltbundesamt)

Die Stickstoffoxide entstehen dabei hauptsächlich als Nebenprodukt bei der Verbrennung fossiler Brenn- und Treibstoffe durch die Oxidation von Luftstickstoff und werden zum überwiegenden Teil als farbloses, wenig wasserlösliches Gas, dem Stickstoffmonoxid (NO), emittiert. Dieses wird in der Folge in der Atmosphäre relativ rasch in das giftigere Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) umgewandelt (im roten Kästchen auf Seite 49 wird dieser Prozess für „Luft-Profis“ genauer erklärt). Im Verkehr wird durch den Einsatz von Diesel-Abgasnachbehandlungssystemen und die dortige chemische Umwandlung das NO<sub>2</sub> aber zu einem bedeutenden Anteil auch bereits direkt aus dem Auspuff ausgestoßen.

Stickstoffdioxid ist bei hoher Konzentration ein braunes, stechend riechendes Gas, das mit Wasser zu →Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>) reagiert. Stickstoffoxide wirken sich nicht nur direkt negativ auf Mensch und Umwelt aus, sondern sind auch Vorläufersubstanzen für die Bildung von bodennahem Ozon (siehe Kap. 4.4.) und von sauren Niederschlägen.

Weiters wird das NO<sub>2</sub> in der Atmosphäre langsam zu →Nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) aufoxidiert, lagert sich dann an →Aerosole an und wird in der partikelgebundenen Form durch nasse und trockene Deposition aus der Atmosphäre abgetragen. Dies führt bei sensiblen, nährstoffarmen Biotopen zur →Eutrophierung der Böden und zu einer Anreicherung von Nitrat im Grundwasser.

## Gesetzliche Grenzwerte

Für Stickstoffmonoxid (NO) gibt es nach dem Immissionschutzgesetz-Luft keine Grenzwerte, jene für Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) sind der Tab. 5 zu entnehmen.

Luftschadstoff	HMW	TMW	JMW
Stickstoffdioxid	200		30

Tab. 5: Grenzwerte für Stickstoffdioxid in µg/m<sup>3</sup>. HMW ist der Halbstundenmittelwert, TMW der Tagesmittelwert, JMW der Jahresmittelwert.

Zu hohe Stickstoffdioxid-Konzentrationen in der Luft führten in den Wintern 1988/89 und 1989/90 zu einem Smog-Alarm in Graz (Abb. 58). Die Gefährdung für die Gesundheit wurde als so groß eingestuft, dass kurzfristig sogar der Unterricht in den Schulen abgesagt wurde. Deshalb wird hier wiederum die steirische Landeshauptstadt und die Entwicklung ihrer NO<sub>2</sub>-Situation seit damals als Fallbeispiel behandelt.

## Fallbeispiel Graz - Was blieb vom Smog?

Die Folge der Smogwinter 1988/89 und 1989/90 im Raum Graz war die Installation eines Smogmessnetzes, aus dem das heutige Grazer Messnetz (8 Stationen) hervorging. Deshalb lässt sich die Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Belastung in Graz seit Beginn der 1990er-Jahre gut verfolgen. Wie hat sich nun seit damals die Situation entwickelt?

Abb. 59: Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte seit 1990 an der Station Graz-West

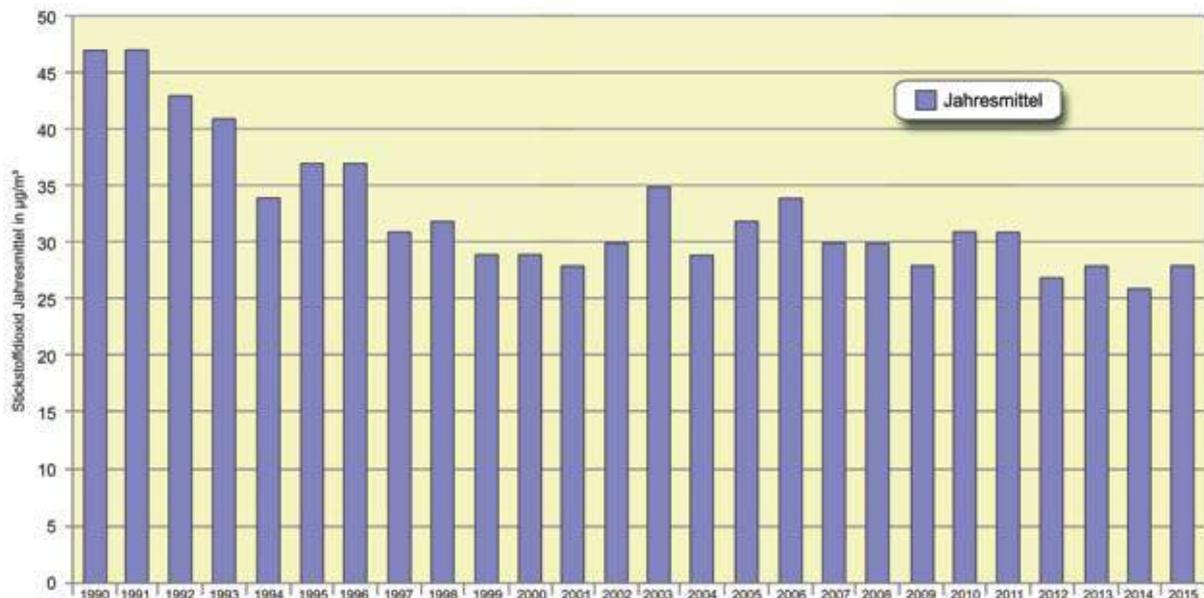


Abb. 58: Blick vom Schlossberg auf den Grazer Smog im Winter 1988/89

Abb. 59 zeigt als Beispiel die Jahresmittelwerte von NO<sub>2</sub> an der Station Graz-West von 1990 bis 2015. Bis Anfang der 2000er-Jahre zeigt sich eine Besserung der Situation, v. a. da motorentechnisch hier viel optimiert werden konnte. Allerdings konnte diese kontinuierliche Verbesserung die stete Zunahme des Verkehrs dann nicht mehr aufwiegen, sodass im Diagramm in den letzten Jahren eine Stagnation zu sehen ist.

Außerdem zeigt sich, dass die Fahrzeuge aktuell nicht in der Lage sind, das prognostizierte Einsparungspotential auch im Realbetrieb auf der Straße einzuhalten. So hohe Belastungsspitzen wie in den Grazer Smogwintern sind heute allerdings nicht mehr zu erwarten.

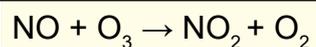
## STICKSTOFFOXIDE FÜR LUFT-PROFIS

Dass Stickstoffoxide sehr eng mit dem Verkehr als Hauptverursacher in Verbindung gebracht werden können, zeigt der Blick auf das Beispiel eines Tagesganges dieser Schadstoffgruppe über eine Woche in Abb. 60. Für die Messstation Graz-West sind hier die Verläufe von NO, NO<sub>2</sub> und der Lufttemperatur von Montag (25.1.2016) bis Sonntag (31.1.2016) zu sehen.

Der regelhafte Verlauf der Temperatur zeigt, dass in dieser Woche die Witterung stabil war. Die Woche war niederschlagsfrei und erst am Sonntag kam es zu Einflüssen durch eine Kaltfront.

Ganz deutlich erkennt man an allen Werktagen zwei NO-Spitzen, die die Folge der Morgen- und Abendverkehrsspitzen sind. Am Samstag sind diese Spitzen schon geringer und am Sonntag fehlen sie komplett - einerseits aufgrund geringen Verkehrs und v. a. in der zweiten Tageshälfte auch aufgrund eines Witterungswechsels.

Weniger akzentuiert ist der Verlauf von NO<sub>2</sub>. Allerdings sind auch hier großteils die zwei Verkehrsspitzen gut zu sehen. Das Stickstoffdioxid wird hier teils direkt emittiert, teils bildet es sich aber erst luftchemisch bei Vorhandensein von Ozon (O<sub>3</sub>) in der Luft:

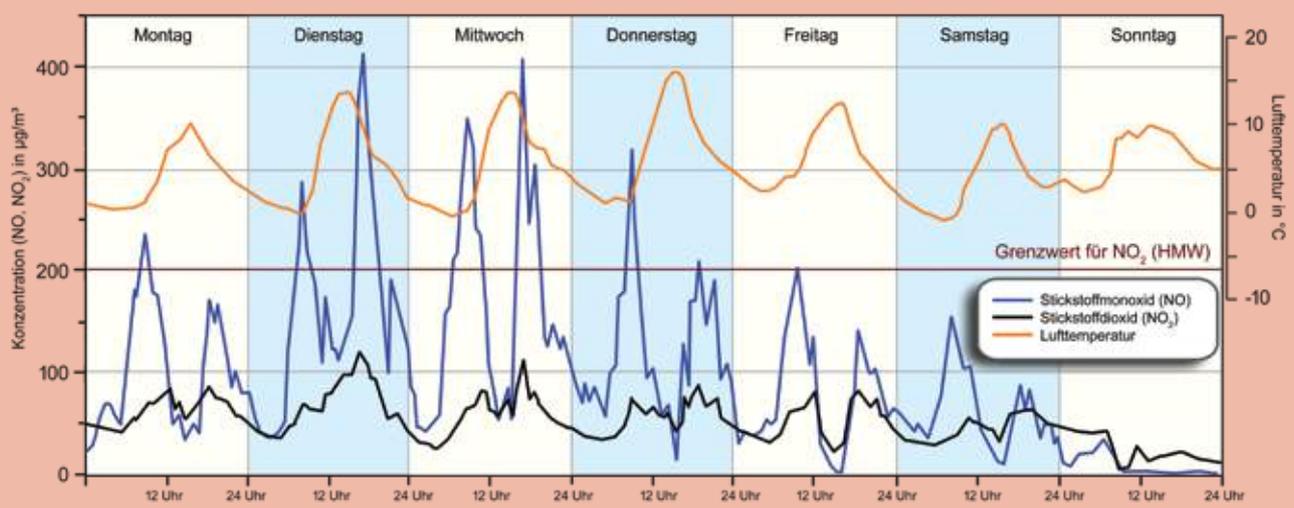


Das Thema Ozon ist dann Inhalt des Kapitels 4.4.

Der Verlauf der Stickstoffoxid-Konzentrationen lässt sich in Abb. 60 recht anschaulich darstellen:

- Die erste Immissionsspitze von NO<sub>2</sub> ist im Vergleich zum NO immer zeitlich etwas nach hinten versetzt. Dies ist mit den erwähnten luftchemischen Umwandlungsprozessen zu erklären, die etwas Zeit brauchen. Die für Jänner sehr milden Temperaturen begünstigen überdies diese luftchemischen Prozesse.
- Die Bedeutung der Lufttemperatur zeigt sich auch im weiteren Tagesverlauf. Der Rückgang der NO-Konzentrationen ist nämlich einerseits durch eine tagesperiodische Abnahme des Verkehrs bedingt, aber andererseits auch durch die Labilisierung der bodennahen Luftschichten (sich erwärmende Luft steigt auf), die zu einem Abtransport der Schadstoffe führt. Außerdem wird NO auch wieder in NO<sub>2</sub> umgebildet. Um die Mittagszeit liegt deshalb der NO<sub>2</sub>-Wert in der abgebildeten Woche dann mehrmals sogar über dem NO-Wert.
- Mit der zweiten Verkehrsspitze, die etwa um 16 Uhr einsetzt, steigen gleichzeitig das NO und das NO<sub>2</sub> an. Zu diesem Zeitpunkt ist noch ausreichend Ozon vorhanden bzw. herrschen noch ausreichende Temperaturen, um eine rasche chemische Umwandlung zu ermöglichen.
- Abends sinken dann bis in die Nachtstunden beide Kurven ab, um am nächsten Werktag das Muster zu wiederholen.

Abb. 60: Beispiel eines Tagesganges von NO, NO<sub>2</sub> und Lufttemperatur (je Halbstundenmittelwerte) über eine Woche (25.-31. Jänner 2016) an der Messstation Graz-West. Trotz deutlicher Belastungsspitzen wird der Grenzwert für NO<sub>2</sub> allerdings nicht überschritten.



## Gesundheitliche Auswirkungen von Stickstoffoxiden

Stickstoffmonoxid (NO) kommt auch natürlich im menschlichen Körper vor. Viele Körperzellen produzieren NO, etwa das Gehirn oder die Nieren. Seine bekannteste Wirkung liegt aber in der Regulierung des Blutdrucks.

Das als Emission ausgestoßene NO wandelt sich in der Luft mit Sauerstoff rasch in NO<sub>2</sub> um, welches dann als Reizgas wirkt, denn das giftige Stickstoffdioxid ist ein hochreaktives Molekül, das seine Hauptwirkung in der Lungenperipherie entfaltet. Es greift die Schleimhäute der Atmungsorgane (aber auch der Augen) an und begünstigt Atemwegserkrankungen. Bei längerer Einwirkung können höhere Konzentrationen zu chronischer Bronchitis oder sogar zu einem Lungenödem führen. AsthmatikerInnen und Kinder reagieren auf NO<sub>2</sub> besonders empfindlich. Sie sollten sich keinen hohen Belastungen aussetzen.

In Wohnungen spielen im Hinblick auf die Stickstoffdioxid-Konzentration unter anderem Gasherde ohne Abzug eine bedeutende Rolle. Auch Tabakrauch oder Kerzen stellen Stickstoffdioxid-Innenraumquellen dar.

## Maßnahmen gegen Stickstoffoxide

Nachdem der Hauptverursacher der NO<sub>x</sub>-Emissionen im Bereich des Kraftfahrzeugverkehrs zu suchen ist, sind als wirksamste Vermeidungsstrategien jene Maßnahmen zu nennen, die hierzu auch im Kapitel 4.2. beim Feinstaub genannt wurden und auf eine Reduktion des Verkehrs abzielen. Verbesserungen durch bereits gesetzte Maßnahmen werden nämlich durch die Zunahme des Verkehrs großteils aufgewogen.

Eine umweltgerechte Fortbewegung zu Fuß, mit dem Fahrrad oder mit öffentlichen Verkehrsmitteln oder die Bildung von Fahrgemeinschaften zählen sicher zu den nachhaltigsten Maßnahmen im privaten Bereich.

## 4.4. Ozon (O<sub>3</sub>)

Dem Ozon, das aus drei Sauerstoffatomen (O<sub>3</sub>) aufgebaut ist, wird schon lange viel Aufmerksamkeit geschenkt, allerdings dürfen hier zwei Bereiche nicht verwechselt werden.

Diese Aufmerksamkeit galt in der öffentlichen Wahrnehmung nämlich lange v. a. dem Ozon in der Stratosphäre (siehe Kap. 1.2.), das als Schutzschild vor der UV-Strahlung dient (= Ozonschicht). Hier ist ein Rückgang der Ozonkonzentration besorgniserregend, der durch diverse andere Luftschadstoffe verursacht wird und das berüchtigte Ozonloch bedingt.

Im hier behandelten Fall geht es jedoch um zu hohe Konzentrationen von bodennahe Ozon, also in unserer Atemluft.

Dieses bodennahe Ozon geht großteils auf anthropogene Ursachen zurück und nur ein sehr geringer Teil steht in Zusammenhang mit natürlichen Bildungsprozessen. Dabei sind Vorläufersubstanzen wie Stickstoffoxide (Kap. 4.3.) und Kohlenwasserstoffe (Kap. 4.7.) von großer Bedeutung für die Konzentration von Ozon.

Diese Vorläufersubstanzen - sie stammen hauptsächlich aus den Emissionen von Kraftfahrzeugen bzw. Industrie und Gewerbe - bilden entweder unter Einfluss des Sonnenlichtes Ozon oder verhindern dann die Wiederrückbildung dieses Luftschadstoffes.

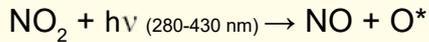
Die Stickstoffoxide nehmen bei der Bildung von sog. →photochemischem Smog eine zentrale Bedeutung ein, da aus NO<sub>2</sub> unter Lichteinwirkung (UV-Strahlung der Sonne) tagsüber Ozon gebildet werden kann. Fällt diese Lichteinwirkung in der Nacht weg, kommt es wieder - durch die Anwesenheit von Stickstoffoxiden - zu einer Rückbildung des Ozons. Wenn Kohlenwasserstoffe ebenfalls in der Luft sind, wird diese Rückbildung aber behindert.

Wer diesen Tagesgang genauer behandeln möchte, findet im roten Kästchen auf Seite 51 eine Erklärung für „Luft-Profis“.

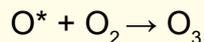
Aufgrund der wichtigen Rolle der UV-Strahlung bei der Bildung von Ozon entstehen die höchsten Belastungen im Jahreslauf im Sommer. Damit unterscheidet sich dieser Luftschadstoff auch von den anderen behandelten Schadstoffen, die v. a. aufgrund der in Kap. 3.1.2. erwähnten Ursachen ein Belastungsmaximum in der kalten Jahreszeit aufweisen. Abb. 62 zeigt den Ozon-Jahresgang mit Sommermaximum an einer Messstation in Graz, der genau gegengleich zu den Jahresgängen aller anderen Luftschadstoffe wie Feinstaub oder Stickstoffdioxid verläuft.

## OZONBILDUNG FÜR LUFT-PROFIS

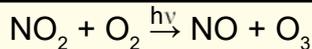
Die Schlüsselreaktion stellt bei der Bildung von bodenahem Ozon die →Photolyse von NO<sub>2</sub> dar, die bei Einwirkung von Licht erfolgen kann.



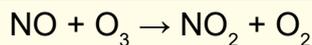
hν ist die UV-Strahlung der Sonne, die bei einer Wellenlänge zwischen 280 und 430 nm (Nanometer) NO<sub>2</sub> aufspaltet. Das dabei gebildete Sauerstoffatom reagiert rasch mit einem Molekül Sauerstoff zu Ozon:



Das bedeutet zusammenfassend:



In NO-reicher Luft kann Ozon mit NO wieder zu NO<sub>2</sub> reagieren:



Die gezeigten chemischen Reaktionsgleichungen lassen sich mit Hilfe der Abb. 61 veranschaulichen. Dargestellt wird darin der Tagesgang von Stickstoffmonoxid, Stickstoffdioxid und Ozon über drei Tage an einer Grazer Messstation bei gleichbleibenden Witterungsverhältnissen. Folgende Phasen lassen sich dabei erkennen:

### Donnerstag, 17. März 2016

- Deutliche NO-Spitze und kleinere NO<sub>2</sub>-Spitze um ca. 9 Uhr (Morgenverkehr).
- Danach Rückgang von NO und NO<sub>2</sub> bei gleichzeitigem Ansteigen von O<sub>3</sub>, zwei Gründe dafür:
  - 1.) Luft erwärmt sich vormittags, steigt auf und transportiert NO<sub>x</sub> ab. Dafür wird ozonreichere Luft aus höheren Luftschichten „heruntergemischt“.
  - 2.) Photolyse von NO<sub>2</sub> (siehe Formeln oben).
- Deutliche O<sub>3</sub>-Spitze während der sonnenreichen Stunden.
- Bei Wegfallen der UV-Strahlung in Kombination mit Abendverkehr ab ca. 18 Uhr rasche Rückbildung von O<sub>3</sub> durch Reaktion mit NO und wieder Anstieg von NO<sub>x</sub>.

### Nacht auf 18. März 2016

- O<sub>3</sub> gering, kaum NO, da kein Verkehr.

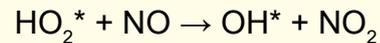
### Freitag, 18. März 2016

- Wieder deutliche NO-Spitze und kleinere NO<sub>2</sub>-Spitze um ca. 9 Uhr (Morgenverkehr).
- Weiterer Ablauf gleich wie am Vortag.

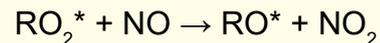
### Samstag, 19. März 2016

- Nur mehr geringe NO-Zunahme um ca. 9 Uhr (kein Berufsverkehr).
- Ozonzunahme und -rückbildung wie an Vortagen (NO<sub>2</sub>-Spitze am Abend kleiner, da kein zusätzlicher Abendverkehr).

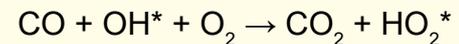
Komplexer wird es, weil sich in den Abgasen auch noch Kohlenwasserstoffe befinden. In solchen „vermischten Abgasfahnen“ bilden sich →Peroxiradikale (HO<sub>2</sub> und RO<sub>2</sub>), die diese Reaktion nämlich erfolgreich konkurrieren:



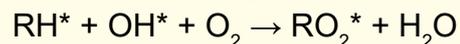
bzw.



An dieser Stelle machen sich nun die Kohlenwasserstoffe und auch das Kohlenstoffmonoxid (CO) bemerkbar. Mit ihrer Hilfe werden aus den OH- und RO-Radikalen wieder Peroxiradikale gebildet, die ihrerseits wieder NO oxidieren:

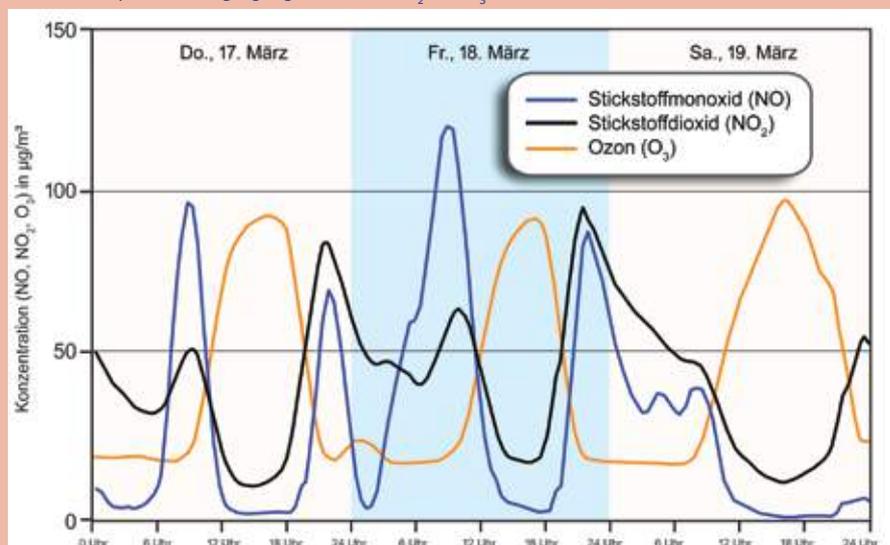


oder



(RH = Kohlenwasserstoffe)

Abb. 61: Beispiel eines Tagesganges von NO, NO<sub>2</sub> und O<sub>3</sub> von 17.-19.3.2016 an der Station Graz-Süd



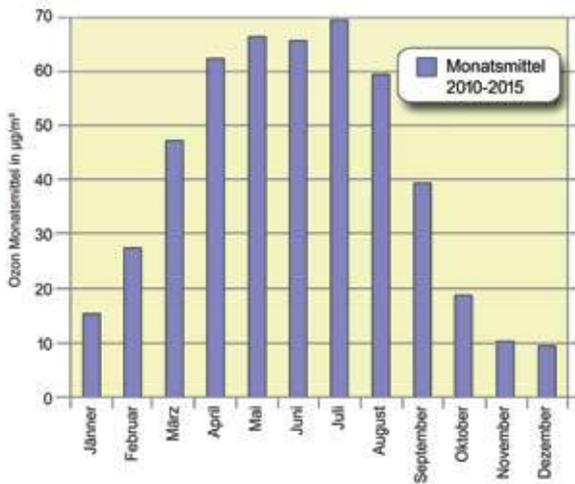


Abb. 62: Jahresgang der Ozon-Belastung an der Messstation Graz-Nord. Die Balken zeigen die durchschnittlichen Monatsmittelwerte über den Zeitraum 2010-2015.

Ozon hat aber noch einen anderen deutlichen Unterschied im Vergleich zu den anderen Luftschadstoffen: Es zeigen sich auch in höheren Lagen, sogar im Gebirge, also fernab der Abgasquellen, oft hohe Belastungen.

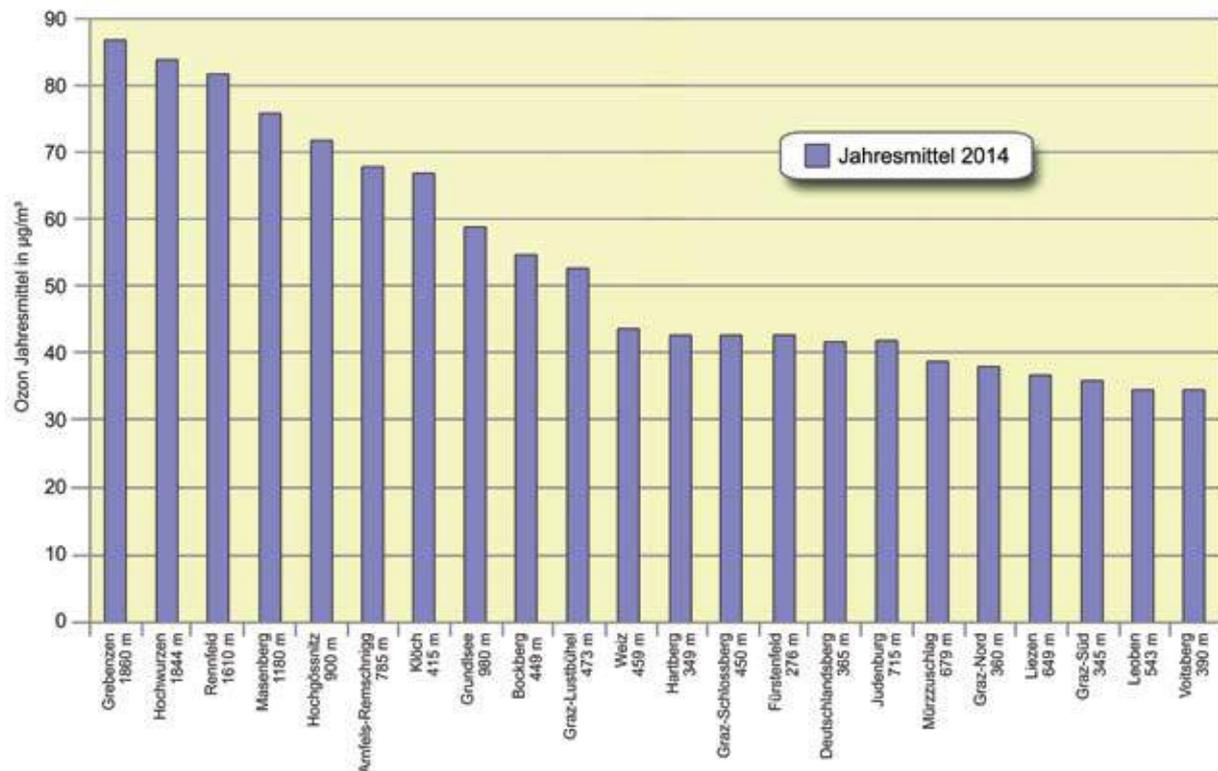
Der Grund dafür ist folgender: In verkehrsreichen Lagen, zB in Städten befindet sind auch in den Abend- und Nachtstunden noch Stickstoffmonoxid (NO) in der Luft. Dieses NO kann in Kombination mit der nun weggefallenen UV-Strahlung zu einem Abbau oder sogar zu einer gänzlichen Rückbildung von Ozon führen. In

Reinluftgebieten und im Gebirge fehlt hingegen das NO weitgehend. Allerdings wurde tagsüber Ozon durch aufsteigende Luft oder Ferntransporte in diese Höhenlagen befördert. Dieses Ozon kann hier nun nachts kaum abgebaut werden (siehe Fallbeispiel Oberes Ennstal). Auch wenn in Städten tagsüber Ozon-Spitzenwerte erreicht werden, können auf diese Weise lang anhaltende hohe Ozonwerte insbesondere in verkehrsarmen Gegenden auftreten. Gerade im Gebirge kann es mit der nach oben zunehmenden UV-Strahlung zu hoher Ozon-Grundbelastung kommen. Das zeigt sich deutlich bei den diesbezüglichen Jahresmittelwerten in Abb. 63, in der die höchstgelegenen Messstationen der Steiermark auch die höchsten Jahresmittelwerte aufweisen.

### Gesetzliche Grenzwerte

Da erhöhte Ozonbelastungen sehr großräumig auftreten, wurde das gesamte österreichische Bundesgebiet in sog. Ozon-Überwachungsgebiete eingeteilt, drei davon gibt es in der Steiermark. Die dort gemessenen Werte unterliegen dem Ozongesetz, das Grenzwerte als auch angestrebte Zielwerte definiert (Tab. 6).

Abb. 63: Ozon-Jahresmittelwerte im Jahr 2014 an steirischen Messstationen. Die höchsten Werte waren durchwegs bei den höchstgelegenen Stationen zu verzeichnen.



<b>Informationsschwelle</b>	180 µg/m <sup>3</sup> als MW01
<b>Alarmschwelle</b>	240 µg/m <sup>3</sup> als MW01
<b>Zielwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit</b>	120 µg/m <sup>3</sup> als MW8, Überschreitung an 25 Tagen toleriert
<b>Zielwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit (ab 2020)</b>	120 µg/m <sup>3</sup> als MW8

Tab. 6: Grenzwerte als Stundenmittelwerte (MW01) und angestrebte Zielwerte laut Ozongesetz als Achtstunden-Mittelwert (MW8)

Die „Informationsschwelle“ ist ein Wert, ab dem für besonders empfindliche Menschen ein gesundheitliches Risiko bei kurzfristiger Exposition besteht. Wird diese überschritten, müssen über die Medien Verhaltensempfehlungen an die Bevölkerung ausgegeben werden (zB Vermeiden hoher körperlicher Belastung). Ab der „Alarmschwelle“ besteht für die Gesamtbevölkerung bei kurzfristiger Exposition bereits ein gesundheitliches Risiko. Auch Schulbehörden müssen dann informiert werden.

Beim „Zielwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit“ zeigt sich in Abb. 64, dass die 25 Toleranztage für Überschreitungen an einigen Stationen nicht eingehalten werden können. Auch hier findet man unter den höchstbelasteten Messstationen etliche, die hoch gelegen oder fernab direkter Emittenten positioniert sind. Die Begründung liegt wiederum in den zuvor erwähnten Umwandlungsprozessen, also im ausbleibenden oder nur schwachen Abbau von Ozon durch das weitgehende Fehlen von Stickstoffoxiden.

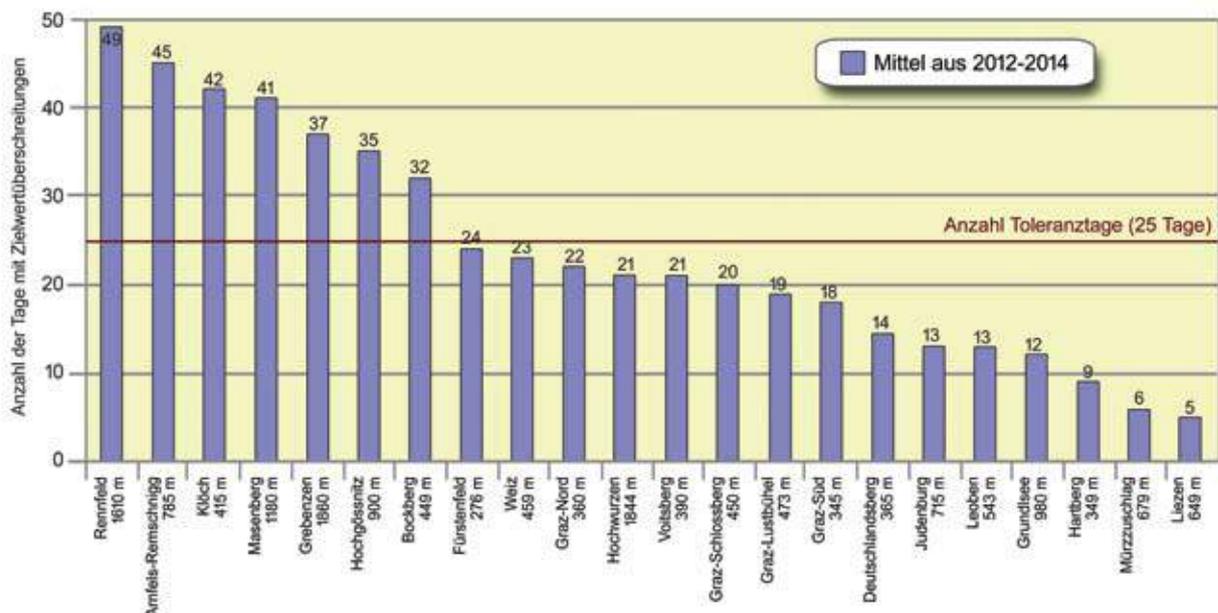
Neben dem Schutz der menschlichen Gesundheit existieren auch Zielwerte für den Schutz der Vegetation, die sehr sensibel auf Ozon reagiert.

### Fallbeispiel Oberes Ennstal - Ozon im Gebirge

Um den direkten Vergleich zwischen einer Berg- und einer Talstation zu ermöglichen und die bisher behandelten Prozesse auch in Realität darstellen zu können, wird hier ein Blick ins Ennstal geworfen. Da besonders heiße, strahlungsreiche Sommer erwartungsgemäß zu höherer Ozonbelastung führen, wird der „Jahrhundertsommer“ 2003 als Beispiel herangezogen. Da dieser Sommer bis heute als besonders deutliches Beispiel für hohe Ozonbelastung gilt, wird hier kein aktuelleres Jahr verwendet, was aber nicht bedeutet, dass es seither zu keinen nennenswerten Ozonkonzentrationen gekommen wäre.

Tatsächlich erreichten neben den Temperaturen auch die Ozonbelastungen 2003 in weiten Teilen Europas Spitzenwerte. Österreich wurden damals die höchsten Belastungen seit Beginn flächendeckender Ozonmessungen im Jahr 1990 aufgezeichnet. Auch die Messstation auf der Hochwurzen (1844 m, Abb. 65) über Schladming meldete hohe Belastungen. Diese Station wird im Fallbeispiel mit der Station in Liezen (649 m Seehöhe) und der rund 25 Kilometer nördlich des Ennstales gelegenen

Abb. 64: Anzahl der Tage mit Ozon-Zielwertüberschreitungen (120 µg/m<sup>3</sup> als Achtstunden-Mittelwert) als Mittel über die Jahre 2012-2014.



Station oberhalb des Grundlsees in mittlerer Höhenlage (980 m) verglichen.

Die in Abb. 66 dargestellten Verläufe zeigen den mittleren Tagesgang der Ozonkonzentration für diese drei Stationen über den Zeitraum 1. April bis 1. September 2003. Die →Globalstrahlung im Diagramm ist die gesamte Einstrahlung, die mit ihrem UV-Anteil für die Bildung von Ozon mitverantwortlich ist.



Abb. 65: Lage der Messstation auf der Hochwurzen über Schladming

Deutlich erkennt man das Ansteigen von  $O_3$  am Vormittag in Liezen, ein verzögertes Ansteigen an der Station in mittlerer Höhenlage und einen wenig akzentuierten Verlauf auf der Hochwurzen. Die Stationen Grundlsee und Hochwurzen - beide fernab von verkehrsreichen Straßen - zeigten durchwegs höhere Werte als in Liezen. Der Rückgang der Ozonbelastung in Liezen in den Nachtstunden ist wiederum mit

dem oben erwähnten Abbau von  $O_3$  in belasteter Luft ohne Sonneneinstrahlung zu erklären, während bei den höher gelegenen Stationen ein solcher Abbau nicht erfolgen konnte. Folglich blieb die Ozonbelastung im Gebirge konstant hoch.

Besonders hohe Ozon-Werte zeigen sich immer dann, wenn durch Ferntransport bereits stark vorbelastete Luft herangeführt wird und sich mit unseren „hauseigenen“ Verschmutzungen vermischt. Dazu kann es im Gebirge noch vorkommen, dass stratosphärisches Ozon beim Durchgang massiver Fronten in die Troposphäre „heruntergemischt“ wird und damit eine zusätzliche Belastung bedingt.

Das Ozon stellt also offenbar „normale“ Schadstoffmuster auf den Kopf: Weder hat es sein Maximum im Winter, noch nehmen dessen Konzentrationen mit der Entfernung von Schadstoffquellen ab. Außerdem zeigt das Beispiel, dass auch für ansonsten bezüglich Luftschadstoffbelastung begünstigte Regionen in der Steiermark (auch abseits großer Emittenten) das Thema Luftreinhaltung von Bedeutung ist.

#### Gesundheitliche Auswirkungen von Ozon

Obwohl man Ozon ab einer Belastung von  $40\text{--}50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  bereits riechen kann („ozein“ = griech.

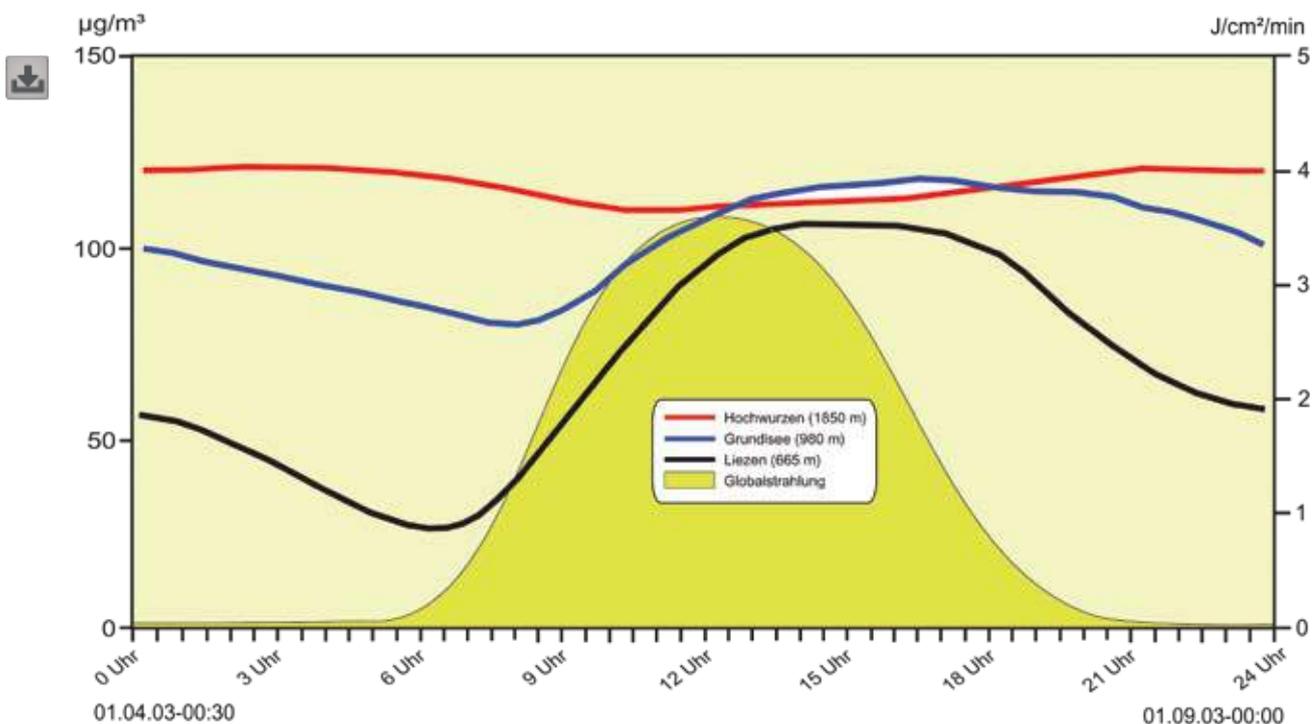


Abb. 66: Mittlerer Tagesgang von Ozon in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  für verschiedene Seehöhen der Obersteiermark vom 1. April bis 1. September 2003 bzw. mittlere Einstrahlung (Globalstrahlung) in Joule pro  $\text{cm}^2$  in der Minute an der Station Grundlsee

„das Riechende“), lässt dessen Wahrnehmung aufgrund der raschen Gewöhnung im Alltag rasch nach. Ozon kann also „unbemerkt“ auf den Menschen einwirken und dringt auch deshalb bis tief in die feinsten Verästelungen der Lunge ein, da es durch seine geringe Wasserlöslichkeit nur in sehr kleinem Maß im Schleim der Atemwege zurückgehalten wird. In diesen tiefen Bereichen der Lunge ist das Gewebe durch keine Schleimschicht mehr geschützt und es kann zur Schädigung von Zellen und entzündlichen Prozessen kommen.

Da bei körperlicher Anstrengung das Atemminutenvolumen steigt, sollte man an besonders heißen Sommertagen auf allzu ausgiebige sportliche Aktivitäten im Freien verzichten. Auch Säuglinge und Kleinkinder sind gefährdeter, da sie bezogen auf ihre Körpergröße ein relativ erhöhtes Atemminutenvolumen haben.

Wie das Fallbeispiel Ennstal zeigte, ist man auch im Gebirge nicht vor der schädigenden Wirkung des Ozons gefeit. Da bei sportlicher Belastung (Wandern, Bergsteigen) die Atmung verstärkt wird, inhaliert man bei gleicher Ozonbelastung eine rund zehnmal größere Ozondosis ein als ein ruhender Mensch.

Eine Verschlechterung der Lungenfunktion und entzündliche Reaktionen des Lungengewebes wurden schon bei mehrstündigen Konzentrationen von  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$  beobachtet. Besonders schwere Schädigungen der Bronchialschleimhaut werden durch die Kombination von Ozon und Tabakrauch verursacht.

Neben der Beeinträchtigung der Atemwege werden ab Konzentrationen von rund  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  eine Vielzahl verschiedener Beschwerden wie Augenreizungen, Kopfschmerz, Husten, Brustschmerzen, Müdigkeit und Atemnot genannt. Ozon kann auch zu Schäden an der Erbsubstanz führen und es besteht der Verdacht auf eine krebsauslösende oder -fördernde Wirkung.

### Maßnahmen gegen Ozon

Hier kann man keine direkten Maßnahmen gegen Ozon setzen, sondern nur solche gegen dessen Vorläufersubstanzen. Einzelne Maßnahmen zur Absenkung dieser Vorläufer sind deshalb bei den Stickstoffoxiden (Kap. 4.3.) und den Kohlenwasserstoffen (Kap. 4.7.) zu finden.

## 4.5. Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)

Schwefeldioxid entsteht vor allem bei der Verbrennung von schwefelhaltigen fossilen Brennstoffen wie Kohle oder Erdölprodukten und bei bestimmten industriellen Prozessen (Rösten schwefelhaltiger Erze oder Zellstoffherzeugung). Werden fossile Brennstoffe verbrannt, wird der Schwefel darin freigesetzt (oxidiert) und verlässt die Schornsteine als Gas - als Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>). Früher oder später wird dieses Gas von Wasser, Boden und Pflanzen aufgenommen (Trockendeposition). Ein Teil der Schwefeldioxide wird vom Sauerstoff der Luft zu schwefeliger Säure bzw. →Schwefelsäure umgewandelt. Diese Säure kommt nicht gasförmig, sondern nur in Wolken- oder Regentropfchen gelöst vor, die dann als Niederschlag zu Boden fallen (Nassdeposition) - der klassische „Saure Regen“.

Bei der Betrachtung der Verursacher in Österreich (Abb. 67) erkennt man, dass beim SO<sub>2</sub> der Verkehr praktisch keine Rolle spielt und die meisten Emissionen aus der Industrie stammen.

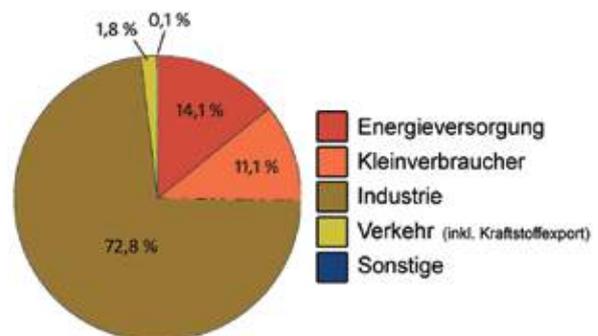


Abb. 67: Anteil der Verursacher-Sektoren an den SO<sub>2</sub>-Emissionen Österreichs im Jahr 2013 (Quelle: Umweltbundesamt)

Neben den Quellen aus der Grafik gibt es auch wieder natürliche Quellen für Schwefeldioxid wie etwa Vulkanausbrüche oder auch die natürliche Verwitterung schwefelhaltiger Materialien. Ein besonders markantes Beispiel einer natürlichen Schwefeldioxid-Quelle wird im „Fallbeispiel Vulkanausbruch“ auf Seite 57 behandelt.

Positiv zu berichten ist hier, dass im Vergleich zu den drei bisher behandelten Schadstoffen (Stäube, Stickstoffoxide und Ozon), die sehr aktuelle Probleme der Luftreinhaltung darstellen, SO<sub>2</sub> heute nur mehr lokal in nennenswerten Konzentrationen in Erscheinung tritt.

Dieser Schadstoff hat in der Steiermark nämlich eine sehr erwähnenswerte Entwicklung erfahren. Bis Ende der 1980er-Jahre galt Schwefeldioxid als ein großes Problem. Abb. 68 zeigt danach aber einen massiven Rückgang von SO<sub>2</sub> bis in die Gegenwart. Diesen Abwärtstrend der Belastung zeigen auch andere Messstationen in der Steiermark. Grund für diese positive Entwicklung war zB die Absenkung von Schwefel im Heizöl, die Forcierung von Erdgas und Fernwärme und der Einbau von Rauchgasentschwefelungsanlagen in den Industriebetrieben. Das Problem gilt heute weitgehend als saniert und das vermeintliche leichte Ansteigen der Messwerte in den letzten Jahren in der Abb. 68 liegt weitestgehend im „messtechnischen Rauschen“ begründet.

### Gesetzliche Grenzwerte

Beim Schwefeldioxid gibt es als Grenzwerte einen Halbstundenmittelwert und einen Tagesmittelwert (Tab. 7).

Luftschadstoff	HMW	TMW	JMW
Schwefeldioxid	200	120	

Tab.7: Grenzwerte für Schwefeldioxid in µg/m<sup>3</sup>

Beim HMW gibt es wiederum eine Toleranz: Drei Halbstundenmittelwerte SO<sub>2</sub> pro Tag, jedoch maximal 48 Halbstundenmittelwerte pro Kalenderjahr bis zu einer Konzentration von 350 µg/m<sup>3</sup> gelten nicht als Überschreitung.

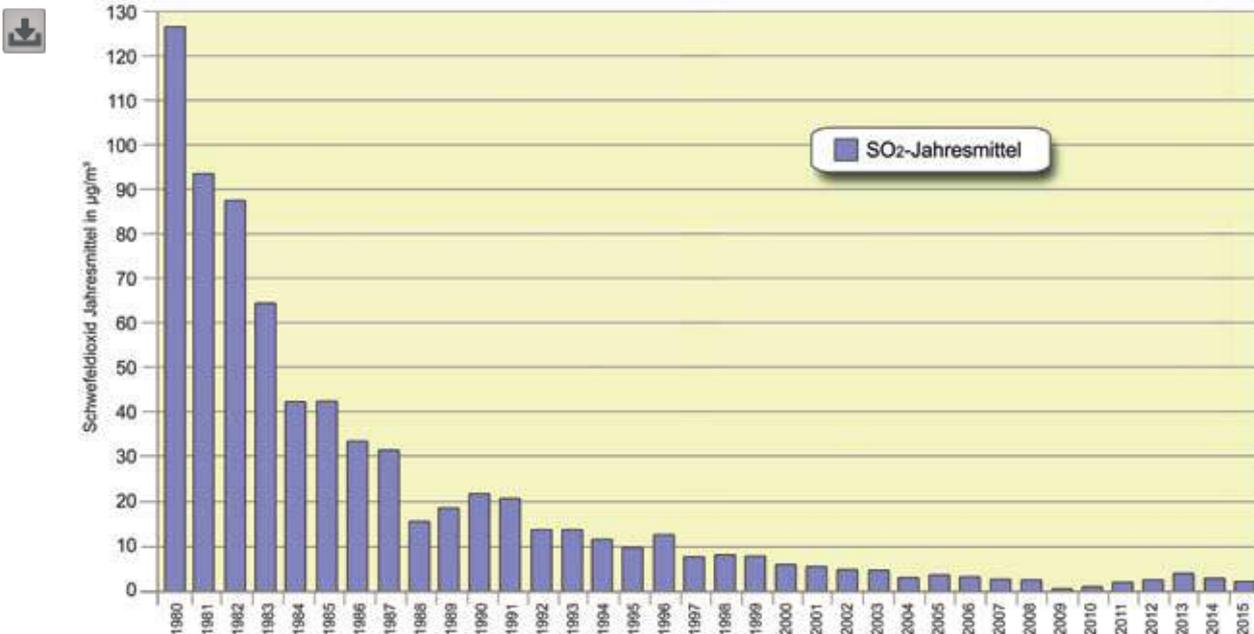
Wie erwähnt spielt Schwefeldioxid heute allerdings aus lufthygienischer Sicht aufgrund der Emissionsreduktion für den Menschen nur mehr eine untergeordnete Rolle und gilt großteils als saniert. Allerdings gibt es bis heute einige häufig von lokalen Industrie-Emissionen beeinflusste Messstellen. Im Raum Leoben-Donawitz stammen diese Emissionen aus der Stahlindustrie, im Gratwein-Gratkorner Becken aus der Zellstoff- und Papierindustrie. Dort gemessenen Daten ist deshalb das folgende Fallbeispiel gewidmet.

### Fallbeispiel Gratwein-Gratkorner Becken - Immer wieder Spitzenwerte

Die Papier- und Zellstoffindustrie hat in Gratkorn eine lange Tradition. Schon seit der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts wird hier Papier von den wechselnden Besitzern des Werks hergestellt. Heute ist Gratkorn mit 1300 Beschäftigten in diesem Werk der größte Papierstandort Österreichs mit einer Produktionskapazität von knapp 1 Million Tonnen Papier pro Jahr.

Bei einer Produktion solchen Ausmaßes fallen natürlich Schadstoffe an und selbstverständlich verfügt das Werk über eine moderne Rauchgasreinigung. Allerdings treten bei bestimmten Produktionsschritten und -bedingungen immer wieder erhöhte Schwefeldioxid-Emissionen auf, die je nach Windrichtung (siehe Kap. 3.1.2. - Talein- oder Talauswind)

Abb. 68: Jahresmittelwerte von Schwefeldioxid an der Station Graz-Nord von 1980 bis 2015.



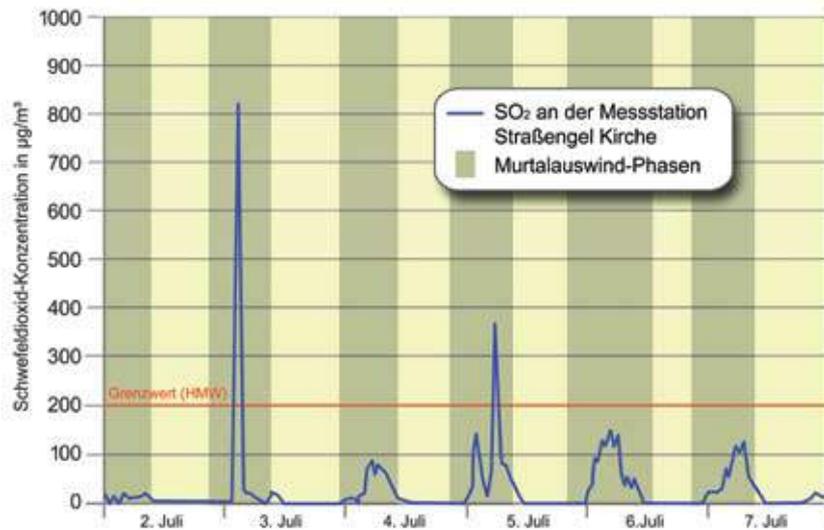


Abb. 69: Schwefeldioxidwerte an der Station Straßengel Kirche Anfang Juli 2015 zeigen den deutlichen Zusammenhang mit dem Talwindsystem

an Messstationen erfasst werden können. Ein solches Ereignis aus dem Juli 2015 wird hier dargestellt:

Zu Monatsbeginn wurden im Umfeld der Papierfabrik zeitweise hohe bis sehr hohe Schwefeldioxid-Konzentrationen gemessen, die auf Emissionen aus dem Laugenkessel der Firma zurückzuführen waren. In diesem Zeitraum war das Murtalwindsystem gut ausgebildet, wodurch die Emissionen je nach Windrichtung unterschiedlich verfrachtet wurden. Nachmittäglicher Taleinwind führte zu höheren Werten bei der Messstation Gratwein. Nächtlicher und morgendlicher Talauswind führt zu sehr hohen Messwerten bei der Station Straßengel Kirche. Letztere ist in Abb. 69 dargestellt, wo am 3. Juli über  $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{SO}_2$  gemessen wurden. Auch am 5. Juli wurde der Grenzwert für das Halbstundenmittel nochmals massiv überschritten. Deutlich zeigt sich, dass bei jeder Talauswind-Phase in diesen Tagen die Messwerte deutlich angestiegen sind, da der Wind die Messstation dann anströmte.

### Fallbeispiel Vulkanausbruch - Luft ist grenzenlos



Übung 8  
Praxisteil  
Seite 159

Obwohl es in dieser Unterrichtsmappe in erster Linie um anthropogene, also vom Menschen verursachte Luftschadstoffe geht, soll dieses Beispiel zeigen, wie auch natürliche Quellen von Schwefeldioxid messtechnisch erfasst werden können.

Um die Mittagszeit des 22. September 2014

verzeichneten alle Messstationen des steirischen Messnetzes einen raschen und markanten Anstieg der Schwefeldioxid-Konzentrationen, der am frühen Nachmittag mit Spitzenwerten in einer an den meisten Messstellen noch nicht gekannten Größenordnung gipfelte (Abb. 71). Am Masenberg (1180 m) und an der Messstation Hartberg wurden jeweils Halbstundenmittelwerte weit über dem Grenzwert von  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen.

Danach nahmen die Konzentrationen rasch wieder ab und erreichten gegen Mitternacht wieder das Ausgangsniveau des Vortages.

Was war passiert? Die großflächige Belastungssituation sowie die Tatsache, dass die höchsten Werte an der Station am Masenberg registriert wurden, wiesen darauf hin, dass es sich um einen überregionalen Ferntransport des Schadstoffs handeln musste.

Allerdings war die Quelle vorerst noch unklar, da offenkundig war, dass bei einer so großflächigen Belastung außergewöhnlich hohe Emissionen freigesetzt worden sein mussten.

Von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) kam letztendlich der Hinweis auf den Ausbruch des isländischen Vulkans Bárðarbunga (Abb. 70) als vermutlichen Auslöser.



Abb. 70: Ausbruch des isländischen Vulkans Bárðarbunga im September 2014 (Foto: [www.flickr.com](http://www.flickr.com) - Peter Hartree)

Modellierungen der Luftströmungen konnten dies rasch bestätigen. Demnach wurden die vom Vulkan freigesetzten Schadstoffe mit einer großräumigen Nordwest-Strömung in relativ großer Höhe über Europa nach Südosten

transportiert und kamen erst im Bereich der Ostalpen in Bodennähe. Dadurch blieben weite Teile Europas von den Emissionen unbeeinträchtigt, während am Südostrand der Alpen so hohe Werte auftraten.

Da es sich um eine so kurzfristige Belastung handelte und nur Grenzwerte für den Halbstundenmittwert überschritten wurden, bestand durch diese natürliche Konzentrationspitze allerdings keine gesundheitliche Gefährdung. So wurde etwa der Grenzwert für das Tagesmittel an keiner Station auch nur annähernd erreicht. Dieser Grenzwert beträgt wie erwähnt  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , am Masenberg betrug das Tagesmittel an diesem Tag aber nur  $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

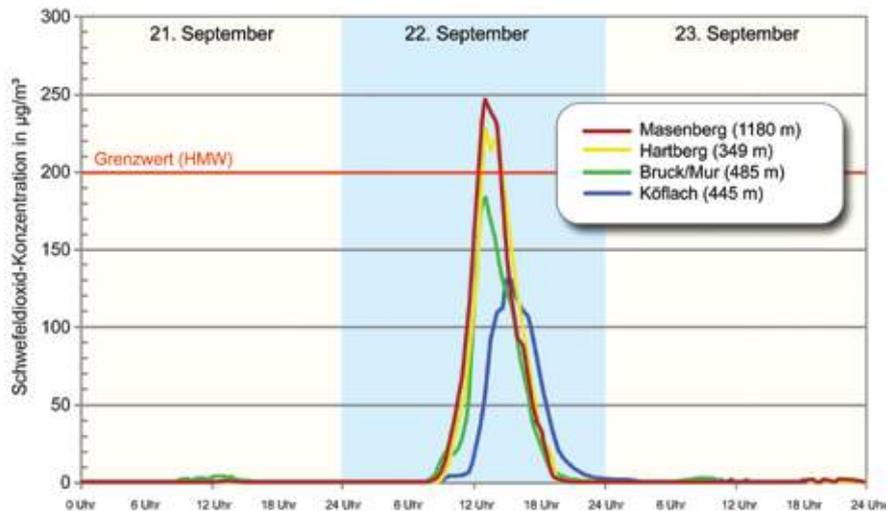
#### Gesundheitliche Auswirkungen von Schwefeldioxid

Schwefeldioxid ist ein stechend riechendes Reizgas. Es setzt sich infolge seiner guten Wasserlöslichkeit besonders in den Bronchien ab.  $\text{SO}_2$  wirkt auf die Schleimhäute der Augen (Brennen) bzw. Atemwege und führt in Zusammenhang mit erhöhten Staubkonzentrationen zu Kurzatmigkeit, Entzündungen der Bronchien und chronischem Asthma. Nach Phasen erhöhter  $\text{SO}_2$ -Belastungen erhöhen sich die Erkrankungsfälle an obstruktiver Bronchitis vor allem bei Kindern. Aufgrund der massiv zurückgegangenen  $\text{SO}_2$ -Emissionen sind gesundheitliche Probleme durch diesen Luftschadstoff aber heute kaum noch von Relevanz.

#### Maßnahmen gegen Schwefeldioxid

Das praktische Verschwinden von Schwefeldioxid als problematischer Luftschadstoff war die Folge mehrerer erfolgreicher Maßnahmen. In der Industrie und bei den Brennstoffen wurden hier Schritte gesetzt, die zur dargestellten Verbesserung der  $\text{SO}_2$ -Situation geführt haben. Die wirksamsten Maßnahmen zur Verringerung der  $\text{SO}_2$ -Emissionen waren wie schon erwähnt die Absenkung von Schwefel im Heizöl, die For-

Abb. 71:  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen einiger steirischer Stationen von 21.-23. September 2014



cierung von Erdgas und Fernwärme und der Einbau von Rauchgasentschwefelungsanlagen in den Industriebetrieben. Um diese Qualitätssteigerung auch weiterhin zu gewährleisten, wurde besonders darauf geachtet, die Immissionsstruktur im Umkreis der großen  $\text{SO}_2$ -Emittenten (kalorische Kraftwerke, Zellstoffindustrie) zu erfassen.

#### 4.6. Kohlenstoffmonoxid (CO)

Kohlenstoffmonoxid (gebräuchlich Kohlenmonoxid) ist eine chemische Verbindung aus Kohlenstoff und Sauerstoff mit der Summenformel  $\text{CO}$ . Es ist ein farb-, geruch- und geschmackloses sowie giftiges Gas. Es entsteht unter anderem bei der unvollständigen Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Stoffen.

Als wesentlichste anthropogene Quellen sind in Österreich (Abb. 72) Kleinverbraucher (Hausbrand), industrielle Prozesse (Hochöfen) und der Verkehr zu nennen.

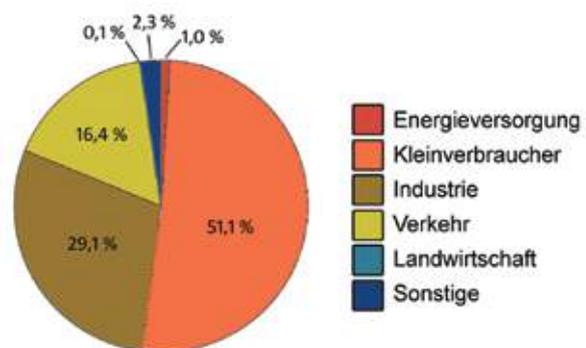


Abb. 72: Anteil der Verursacher-Sektoren an den  $\text{CO}$ -Emissionen Österreichs im Jahr 2013 (Quelle: Umweltbundesamt)

Wenn bei dortigen Verbrennungsprozessen nicht genügend Sauerstoff für eine „vollstän-

dige“ Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Substanzen vorhanden ist, entsteht CO. Bei genügender Sauerstoffzufuhr entsteht Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) - ein eigener hier nicht behandelter Themenkomplex mit großer Bedeutung für das Weltklima.

Als natürliche CO-Quellen kann man noch Emissionen aus dem Meer (Algenstoffwechsel), die Produktion durch die Pflanzen sowie natürliche Waldbrände nennen.

Die Immissionskonzentrationen von Kohlenstoffmonoxid erreichen wie alle übrigen primären Schadstoffe aufgrund der ungünstigen Ausbreitungsbedingungen im Winter durchwegs höhere Werte als im Sommer. Allerdings oxidiert Kohlenstoffmonoxid an der frischen Luft rasch zu Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und stellt daher in der Außenluft in der Regel keine gesundheitliche Gefährdung dar.

Problematischer wird die Lage in schlecht belüfteten, stark befahrenen Straßen und Tunnels und v. a. in geschlossenen Räumen wie Garagen, Autowerkstätten, in Räumen mit schlecht ziehenden Öfen und Gasthermen sowie in mit Tabakrauch belasteten Räumen. Das Thema Innenraumluft stellt aber einen eigenen großen Komplex dar, der hier nur gestreift werden kann. Wie groß dessen Bedeutung allerdings ist, erkennt man, wenn man bedenkt, dass wir rund 90 % unserer Zeit in Innenräumen verbringen. Diese Innenraumluft wird in erster Linie durch dort entstehende Gase und Luftschadstoffe negativ beeinflusst (Ausdampfen von Einrichtungsgegenständen oder Putzmitteln, Kohlendioxidbelastung, Kerzen, Räucherstäbchen ...). Einen Zusammenhang zwischen Außenluft und Innenraumluft gibt es beim Kohlenstoffmonoxid aber insofern, als dass Gebäude an stark befahrenen Straßen oft auch in Innenräumen von vornherein stärker belastet sind, da hohe Konzentrationen in der Außenluft sich auch innen niederschlagen.

Was sagt das Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L) hier zu den Luftgüte-Messungen der Außenluft?

### Gesetzliche Grenzwerte

Im Gegensatz zu den meisten anderen Schadstoffen werden Mess- und Grenzwerte von Kohlenstoffmonoxid nicht in µg (Mikrogramm)

sondern in mg (Milligramm) pro Kubikmeter Luft angegeben (Tab. 8). Dies liegt in der Tatsache begründet, dass CO erst in höheren Konzentrationen für den Menschen gefährlich wird.

Luftschadstoff	HMW	MW8	TMW	JMW
Kohlenstoffmonoxid		10		

Tab. 8: Als Grenzwert für CO gilt ein Achtstunden-Mittelwert (MW8) angegeben in mg/m<sup>3</sup>

Da mit zunehmender Entfernung vom Emittenten die CO-Belastung wesentlich schneller abnimmt als etwa die Belastung durch Stickstoffoxide, ist eine verkehrs- bzw. industrienahe Messung der Kohlenstoffmonoxid-Konzentration notwendig. Dies geschieht in der Steiermark nur an einigen neuralgischen Punkten wie etwa im Großraum Leoben. Der dortigen Stahlindustrie ist deshalb das folgende, kurze Fallbeispiel gewidmet.

### Fallbeispiel Leoben - Kohlenstoffmonoxid aus Donawitz

In der historisch und aktuell wichtigen Industrieregion um Leoben gilt das Stahlwerk in Donawitz (Abb. 73) als bedeutendster Emittent von Kohlenstoffmonoxid, was sich auch immissionsseitig niederschlägt.



Abb. 73: Luftaufnahme des Werks in Donawitz (Foto: www.voestalpine.com)

Bei Messungen in jüngster Vergangenheit wurden im Vergleich mit anderen steirischen Messstationen hier die höchsten Werte registriert, teils auch Grenzwertüberschreitungen. Es handelte sich dabei um einzelne Überschreitungen des 8-Stundenmittelwerts in den Wintermonaten. Neben diesen kurzfristigen Maximalwerten zeigt sich der Trend zu einer allgemeinen Abnahme der Belastung aber bei

der Betrachtung der Jahresmittelwerte seit 1993 (Abb. 74). Das einstige Problem mit Kohlenstoffmonoxid gilt hier heute weitgehend als saniert, da betriebliche Investitionen in diese Richtung Erfolge gezeigt haben.

### Gesundheitliche Auswirkungen von Kohlenstoffmonoxid

Kohlenstoffmonoxid ist farb-, geruch- und geschmacklos und reizt die Atemwege nicht, weshalb es auch nicht wahrgenommen wird. Allerdings wirkt es bei Mensch und Tier als starkes Atemgift. Seine Giftigkeit ist aber vergleichsweise geringer als die von  $\text{SO}_2$  oder  $\text{NO}_2$ . Daher stellt CO derzeit in der Außenluft kein ernstes Gesundheitsproblem mehr dar. In (Fahrzeug-)Innenräumen, Garagen oder Tunnels können allerdings bei ungenügender Belüftung zu hohe Konzentrationen auftreten. Vor allem extreme Belastungen (zB beim Laufenlassen von Motoren in geschlossenen Räumen) sind hoch gefährlich. Da sich Kohlenstoffmonoxid 200 bis 300-mal stärker an den roten Blutfarbstoff Hämoglobin bindet als Sauerstoff, verdrängt es den Sauerstoff von den roten Blutkörperchen, was zu einer inneren Erstickung und zum Tod führen kann. Doch auch bei geringeren Belastungen können infolge des Sauerstoffmangels Aufmerksamkeitsschwächen, Schwindel und Kopfweg so-

wie eine Abnahme der Sehschärfe auftreten. Gefährdet sind hier zB AutofahrerInnen im Stoßverkehr.

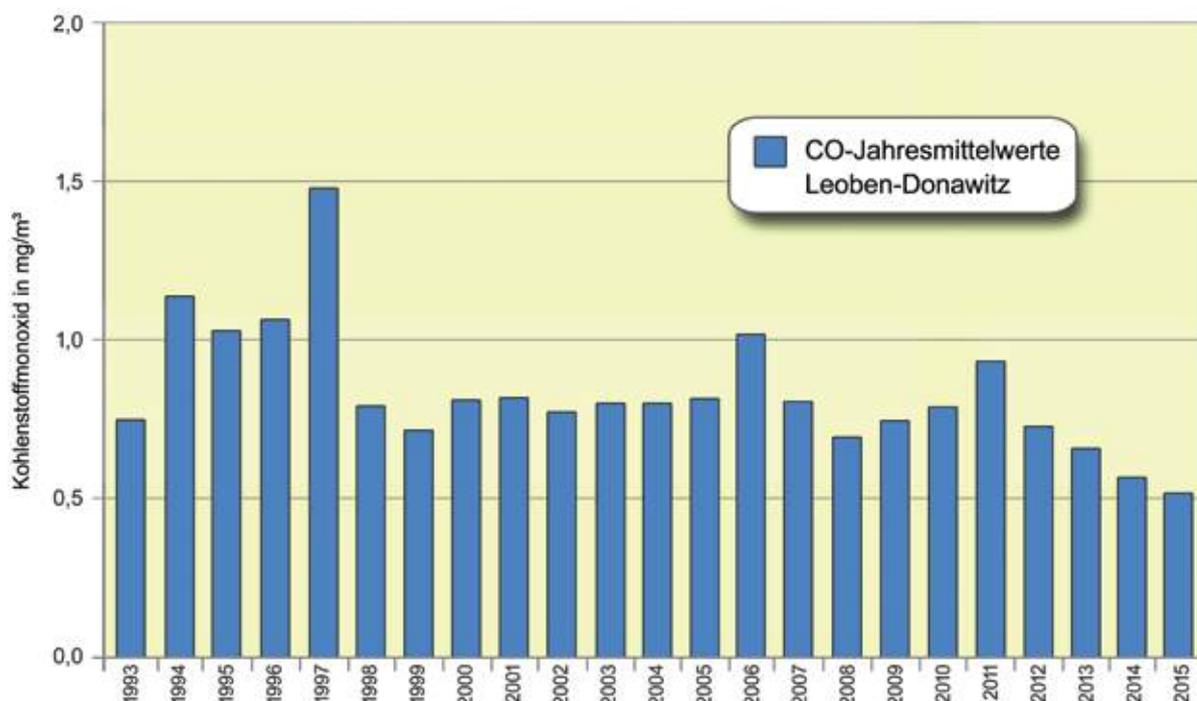
### Maßnahmen gegen Kohlenstoffmonoxid

Im Bereich der Kleinverbraucher sorgen unvollständige Verbrennungsvorgänge in veralteten Heizungsanlagen (insbesondere Holzöfen) immer noch für hohe CO-Emissionen. Hier sind sparsames Heizen oder besser der Austausch alter Heizungsanlagen als Maßnahmen zu nennen. Die CO-Emissionen der Industrie (vorwiegend Eisen- und Stahlindustrie) konnten wie bereits gezeigt reduziert werden. Auch im Verkehr haben optimierte Verbrennung und die Einführung des Katalysators zur Reduktion der CO-Emissionen geführt. Der sparsame Einsatz des Kraftfahrzeuges bleibt aber weiterhin eine geeignete Maßnahme zur Reduktion im Privatbereich.

### 4.7. Kohlenwasserstoffe ( $\text{C}_n\text{H}_m$ )

Kohlenwasserstoffe sind die einfachsten organischen Verbindungen, bestehen ausschließlich aus Kohlenstoff und Wasserstoff und können als Stammsubstanzen aller anderen organischen Verbindungen aufgefasst werden. Als natürliche Emissionen gelten jene aus der Vegetation (insbesondere Wälder), wobei die

Abb. 74: CO-Jahresmittelwerte an der Station Leoben-Donawitz von 1993 bis 2015



relevanten Substanzen hier → Isopren und die → Terpene sind. Bei den anthropogenen Quellen ist österreichweit in Abb. 75 der Bereich „Sonstige“ der mit Abstand größte, darunter fällt v. a. der Bereich „Lösungsmittelanwendung“.

Neben der Verdunstung von Lösungsmitteln sind auch unvollständige Verbrennungen, die Verdunstung von Treibstoffen und der Kfz-Verkehr wichtige Quellen. Bei letzterem stammen Kohlenwasserstoffe v. a. aus benzinbetriebenen Fahrzeugen.

Diese emittierten Kohlenwasserstoffe stellen zusammen mit den Stickstoffoxiden (Kap. 4.3.) wichtige Vorläufersubstanzen für die Bildung von Photooxidantien wie zB Ozon (Kap. 4.4.) dar.

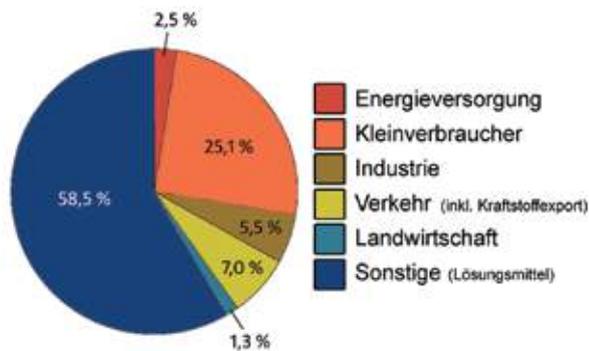


Abb. 75: Anteil der Verursacher-Sektoren an den Kohlenwasserstoff-Emissionen (ohne Methan) Österreichs im Jahr 2013 (Quelle: Umweltbundesamt)

Bei der Betrachtung der Luftgüte sind eine Vielzahl von chemischen Stoffen und Stoffgruppen zu nennen, wie etwa Nichtmethankohlenwasserstoffe, VOC (→ flüchtige organische Verbindungen) und einzelne Verbindungen und Gruppen wie → Aromate. Als für die Luftgüte wichtige Vertreter im gesamten Kohlenwasserstoffspektrum sind weiters Toluol, Benzol, Xylol, Pentane, Hexane sowie Ethen zu erwähnen - viele Namen, die man vielleicht noch nie gehört hat. Gemessen werden in der Steiermark nur drei davon, es sind dies Benzol (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), Toluol (C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>) und Xylol (C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>) - zusammengefasst BTX genannt. Einen gesetzlichen Grenzwert gibt es aber nur für Benzol und zwar für das Jahresmittel.

Benzol - auch Benzen genannt - ist eine farblose, leicht flüchtige Flüssigkeit und der Grundbaustein der Aromate. Dabei sind sechs Kohlenstoff-Atome zu einem Ring verbunden und an jedem dieser Kohlenstoffe hängt ein

Wasserstoffatom (Abb. 52 in Kap. 4.2.). Diese zyklische Form ist ein Charakteristikum der aromatischen Kohlenwasserstoffe (siehe auch Benzo[a]pyren in Kap. 4.2.).

Benzol wird als Zusatz in Motorbenzin verwendet und dient dort als Bleiersatz. Der Hauptbeweggrund für dessen Einführung war nämlich die Reduktion von Blei-Emissionen. Auch wenn der Benzolgehalt im Benzin schon deutlich reduziert wurde (nur noch in einer Konzentration bis zu einem Prozent als Kraftstoffzusatz zulässig), sind heute Straßenverkehr und Treibstofflagerung die Hauptursachen für hohe Benzol-Konzentrationen in der Umwelt aller Industriestaaten.

### Gesetzliche Grenzwerte

Da nach derzeitigem Wissensstand keine Wirkungsschwelle existiert, unter der Benzol keine Schädigungen hervorrufen kann, sind die gesetzlichen Grenzwerte (Tab. 9) auch auf eine möglichst niedrige Immissionskonzentration bedacht. Als einziger Grenzwert wurde ein Jahresmittelwert festgelegt.

Luftschadstoff	HMW	TMW	JMW
Benzol			5

Tab.9: Grenzwert (Jahresmittel) für Benzol in µg/m<sup>3</sup>

Da Benzol im verkehrsreichen Graz eine besondere Rolle spielt, widmet sich auch das Fallbeispiel wieder der Landeshauptstadt.

### Fallbeispiel Graz - Benzol aus dem Verkehr

Basierend auf der Tatsache, dass Benzol v. a. aus dem Verkehr stammt, müsste man also in der Nähe besonders stark frequentierter Straßenabschnitte in Graz auch die höchsten Benzolkonzentrationen finden. Hier bietet sich die Messstation Graz-Don Bosco an, die täglich von rund 37000 Fahrzeugen frequentiert wird. Abb. 76 zeigt den Verlauf von Benzol, Stickstoffmonoxid und Kohlenstoffmonoxid über drei Tage an dieser verkehrsnahen Messstation. Da an dieser Station Benzol zur Drucklegung der Mappe nicht erfasst wurde, zeigt die Grafik ein Beispiel aus dem Jahr 2010.

Deutlich erkennt man den parallelen Verlauf der drei Schadstoffe mit Maximalwerten v. a. während der Verkehrsspitzen morgens und

abends. Auch wenn die Jahresmittelwerte deutlich vom Grenzwert entfernt sind, belegt die Graphik doch die Rolle des Verkehrs als klaren Emittenten für Benzol, wobei besonders hohe Werte in abgeschlossenen Räumen (Garagen oder im Fahrzeuginnenraum) auftreten können.

### Gesundheitliche Auswirkungen von Kohlenwasserstoffen

Kohlenwasserstoffe haben aufgrund ihres breiten Spektrums auch unterschiedliche und vielfach noch unbekannte Wirkungen auf den Menschen. Viele führen zu Nervenschädigungen, sind krebserregend und erbgutschädigend.

Besonders besorgniserregend sind jene Kohlenwasserstoffe, die gleichermaßen persistent (d. h. sie sind lange verbleibend und werden schwer abgebaut), bioakkumulierend (d. h. sie reichern sich in Organismen, u. a. auch dem menschlichem Körper an) und toxisch (giftig) sind.

Als Beispiel betrachten wir wieder das hoch giftige Benzol: Es löst schon in geringer Konzentration Kopfschmerzen und Schwindel aus und beeinträchtigt das Immunsystem. Außerdem ist Benzol blutschädigend, chromosomenschädigend, krebserregend und kann speziell Leukämie hervorrufen. Da es fettlöslich ist, passiert es leicht die Zellwände und auch

die Plazenta. Die schädigende Wirkung erfolgt dabei nicht durch das eingeatmete Benzol selbst, sondern durch im Stoffwechsel entstehende Substanzen. Da Benzol schwerer ist als Luft und sich daher in Bodennähe konzentriert, sind wiederum Kleinkinder (vor allem in der Nähe stark befahrener Straßen) betroffen. Allerdings liegen die in der Umwelt vorhandenen Benzolkonzentrationen weit unter den Konzentrationen, bei denen akute Wirkungen auftreten.

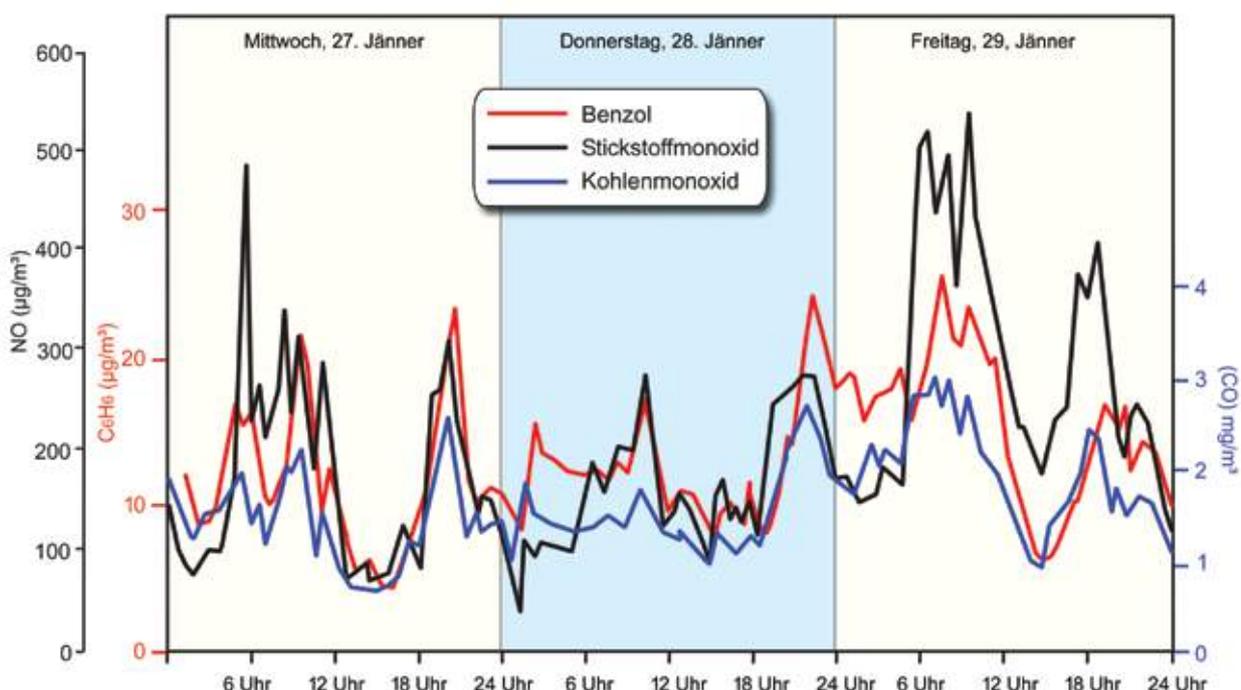
### Maßnahmen gegen Kohlenwasserstoffe

Benzinprodukte sind die Hauptquelle für Benzol in der Außenluft, einerseits durch Verdunstung des Treibstoffs, andererseits durch Auspuffemissionen. Deshalb sind Maßnahmen in diesem Bereich die sinnvollsten.

Eine Reduktion von Benzol konnte durch die Verringerung des Benzolgehaltes auf max. 1 % im Treibstoff sowie durch die Einführung des 3-Wege-Kats bei Otto-Motoren, lokal auch durch die Verwendung von →Gaspendelsystemen beim Tanken erreicht werden.

Als wichtige emissionsmindernde Maßnahmen sind auch wiederum der Verzicht bzw. der sparsame Einsatz von benzinbetriebenen

Abb. 76: Verlauf von Benzol ( $C_6H_6$ ), Stickstoffmonoxid (NO) und Kohlenstoffmonoxid (CO) an der Station Graz-Don Bosco vom 27.1. bis 29.1.2010



Kraftfahrzeugen zu nennen. Da sowohl beim Kaltstart als auch bei hoher Geschwindigkeit die Benzol-Emissionen besonders hoch sind, sollten kurze Fahrten vermieden und Geschwindigkeiten gedrosselt werden.

Auch benzinbetriebene 2-Takt-Motoren im Offroad-Bereich (Gartenpflege und Hobby, Forst- und Landwirtschaft) tragen zur Benzolbelastung bei und müssten strengeren Emissionsrichtlinien unterliegen. Immerhin stößt ein Rasenmäher mit 2-Takt-Motor pro Stunde so viele Kohlenwasserstoffe aus wie 200 Autos mit Katalysatoren.

Als KonsumentIn kann man auch durch umweltfreundlichen Einkauf Maßnahmen setzen, indem man lösungsmittelarme und lösungsmittelfreie Lacke und Reinigungsmittel bevorzugt.

Um hohen Innenraumbelastungen vorzubeugen, sind Abluftsysteme zu empfehlen. Verzicht auf Zigarettenrauch in Innenräumen mindert ebenfalls die Belastung der Luft mit Benzol und anderen Kohlenwasserstoffen.

#### 4.8. Gerüche

Wie passen Gerüche zu den bisher behandelten Luftschadstoffen? Sind Gerüche überhaupt für den Menschen gefährlich?

Obwohl viele geruchsaktive Substanzen auch toxisch sind, liegen die Konzentrationen, bei denen bereits Geruchswahrnehmungen auftreten, meist im nicht toxischen Bereich. Gerüche werden hier weniger aufgrund der durch sie verursachten akuten gesundheitlichen Schäden betrachtet, sondern vielmehr aufgrund der durch sie verursachten Belästigungen und der dadurch bedingten Gesundheitsbeeinträchtigungen.

Unter „Belästigung“ versteht man hierbei ein Gefühl des Unbehagens, welches durch Stoffe hervorgerufen wird, denen nach Ansicht des „Riechenden“ meist negative Auswirkungen auf sich selbst zugeschrieben werden. Solche geruchlichen Belästigungen werden im Vergleich zu anderen möglichen Auswirkungen, wie zB Krankheiten, meist unterschätzt, da übersehen wird, dass sie ihrerseits Gesundheit und Leistungsfähigkeit beeinflussen können und dass Belästigungen ganz wesentlich zur Beeinträchtigung der Lebensqualität beitragen.

Immerhin ist fast ein Viertel der ÖsterreicherInnen in ihren Wohnungen und Häusern Geruchsbelästigungen ausgesetzt. Die Geruchsquellen reichen vom Verkehr bis hin zu landwirtschaftlich bedingten Gerüchen, wobei man zwischen großräumig und kleinräumig wirksamen Emittenten unterscheiden kann. Zu den großräumig wirksamen Emittenten werden der Verkehr sowie die Großindustrie gezählt, zu den kleinräumig wirksamen u. a. kleinere Industriebetriebe, landwirtschaftliche Betriebe, Deponien, Kläranlagen und Nachbarschaftsaktivitäten. Vor allem in ländlichen Gebieten sind BewohnerInnen oft mit Gerüchen aus der Landwirtschaft konfrontiert. Geflügel- und Schweinemastbetriebe verursachen hier besonders intensive Belästigungen.

#### Gesetzliche Grenzwerte

Im Gegensatz zu den Luftschadstoffen gibt es für Geruchsstoffe keine wissenschaftlich abgesicherten Grenzwerte. In der Regel werden zur Beurteilung von Gerüchen nur die Häufigkeiten ihres Auftretens herangezogen, wobei es aber nur Empfehlungen und keine Grenzwerte gibt. Problematisch ist bei gesetzlichen Vorschriften die Definition der Begriffe „Zumutbarkeit“ der Gerüche bzw. bei landwirtschaftlichen Aktivitäten „ortsübliches Ausmaß“ auftretender Belästigungen, zB bei Gerüchen aus Stallanlagen.

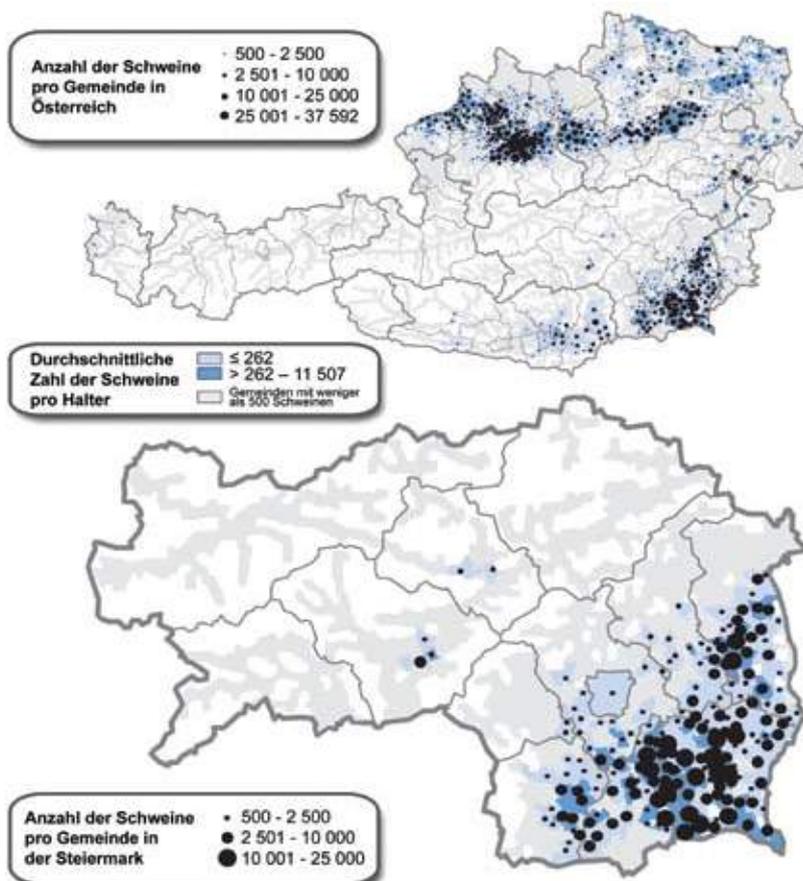
Eine Möglichkeit Geruchsbelästigungen fachlich zu bewerten sind Geruchserhebungen, bei denen ProbandInnen über einen gewissen Zeitraum Gerüche um den Emittenten dokumentieren. Aufgrund des großen Aufwandes solcher Erhebungen werden aber heute überwiegend Modellierungen für die Ausbreitung von Gerüchen verwendet. Dabei werden über Computermodelle lokale Ausbreitungsbedingungen von Gerüchen simuliert.

Wichtig ist aber v. a. das Bedenken möglicher Gerüche bereits im Vorfeld von Projekten. So sind bei einer umwelthygienischen Beurteilung von Stallgebäuden etwa folgende Faktoren zu beachten:

- **Die Tierart und die Bestandsgröße:** Am geruchsintensivsten gelten hier Hühner und Schweine, danach in abnehmender Reihenfolge Kälber, Rinder, Pferde und/oder Schafe.
- **Das Stallgebäude selbst:** Die Fütterung, das Entmistungssystem und die Mistlagerung sind hier entscheidend.
- **Die Lüftungsart:** Unter anderem beeinflusst durch die Lage der Abluftaustrittsöffnungen, Luftgeschwindigkeiten etc.

Immer wieder auftretende Beschwerden aus der Bevölkerung über nicht zumutbare Geruchsbelästigungen zeigen aber, dass hier oft nicht ideale Lösungen vorliegen. Solche Belästigungen können zB auf das Heranrücken von Wohngebieten an landwirtschaftlich genutzte Regionen bzw. geruchsintensive Betriebe und damit zu geringe Schutzabstände zurückgeführt werden. Aber auch lokalklimatische Besonderheiten wie Lokalwindsysteme (Kap. 3.1.2.), die oft Geruchsfahnen besonders weit und konzentriert in die Wohngebiete transportieren, sind hier wichtige Faktoren.

Abb. 77: Anzahl der Schweine pro Gemeinde im Jahr 2014 in Österreich und der Steiermark. (Quelle: Statistik Austria, Statistisches Jahrbuch 2016)



Einen „hot-spot“ für Geruchsbelästigungen aus der Landwirtschaft stellt die Oststeiermark dar, die in Folge näher beleuchtet wird.

### Fallbeispiel Oststeiermark - landwirtschaftliche Gerüche

Geruchsbelästigungen aus der Landwirtschaft treten insbesondere im Bereich von Geflügel- und Schweinemastbetrieben auf. Die Oststeiermark liegt bei der Anzahl der Schweine pro Gemeinde österreichweit im Spitzenfeld. Eine höhere Konzentration und Dichte findet man nur im nördlichen Alpenvorland (v. a. in Oberösterreich - siehe Abb. 77).

Die insgesamt rund 770000 Schweine der Steiermark (Stand 2014) sind natürlich Quellen für oft starke Geruchsbelastungen, die insbesondere bei Massenhaltungen auftreten.

Die Produktion von Nutztieren geht immer mit der Emission von geruchsrelevanten Gasen (u. a. auch klimarelevante Gase) einher. Diese stammen von den Exkrementen der Tiere und den Tieren selbst, wobei bisher mehr als 160 chemische Verbindungen identifiziert werden konnten, die zur Geruchsbeladung der Stallabluft beitragen. Zu den bedeutendsten zählen dabei Ammoniak, →Amine oder Schwefel-

Verbindungen. Gerade der Schwefelwasserstoff bildet hier einen wesentlichen Aspekt, weil die Geruchsschwelle dieser Komponente in einem sehr niedrigen Bereich liegt.

Ob ein Nutztierbestand zu einem erheblichen Belästigungsfaktor für seine Umgebung wird oder nicht, ist in erster Linie von der Behandlung und dem Umgang mit der Stallabluft und den Exkrementen abhängig sowie von der Lage des Stalles in Bezug zur Nachbarschaft. Von Bedeutung ist jedenfalls, dass im Gegensatz zur Industrie im Bereich der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung Maßnahmen zur Abluftreinigung so gut wie nicht existent sind und damit die Abnahme der Geruchsim-

missionen in der Umgebung allein auf dem Verdünnungseffekt mit Frischluft beruht.

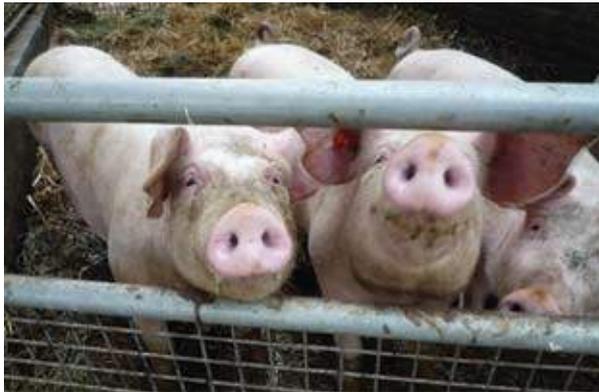


Abb. 78: Schweinemastbetrieb (Foto: siepmannH / pixelio.de)

Außerdem können neben Gerüchen auch Staub (sogar Feinstaub, Kap. 4.2.) und Mikroorganismen aus Ställen emittiert werden.

### Gesundheitliche Auswirkungen von Gerüchen

Im Vergleich zu den bisher behandelten Luftschadstoffen sind hier mögliche Auswirkungen auf die Gesundheit sehr schwer abzuwägen, denn auf Gerüche reagiert jeder Mensch unterschiedlich. Dazu sollte man sich zuerst vergegenwärtigen, wie „Riechen“ eigentlich funktioniert:

Die eingeatmete Luft strömt zunächst durch die Nasenvorhöfe und von dort in die linke und die rechte Nasenhöhle (Abb. 79). Jede Nasenhöhle wird durch die mit Schleimhaut überzogenen Nasenmuscheln in drei Nasengänge unterteilt. In der obersten der drei Nasenmuscheln sitzt die Riechschleimhaut, die auch „Riechepithel“ genannt wird. Sie ist beim Menschen etwa so groß wie eine Ein-Euro-Münze und enthält ungefähr 10 bis 30 Millionen Riechzellen. Die Riechzellen bilden auf der Oberseite Ausstülpungen mit je sechs bis zehn Riechhaaren, die als verfilztes Geflecht unter einer Schleimschicht liegen. Hier binden sich Geruchsmoleküle an Rezeptoren, zu denen sie passen wie ein Schlüssel ins Schloss. Riechzellen, an die sich ein Duftmolekül anlagert, erzeugen einen elektrischen

Impuls, den sie über ihr sogenanntes „Axon“ am anderen Zellende weiterleiten. Diese Axone bilden die feinen Nervenfasern des Riechnervs, der in den Riechkolben - ein schlanker Fortsatz des Stirnhirns - mündet.

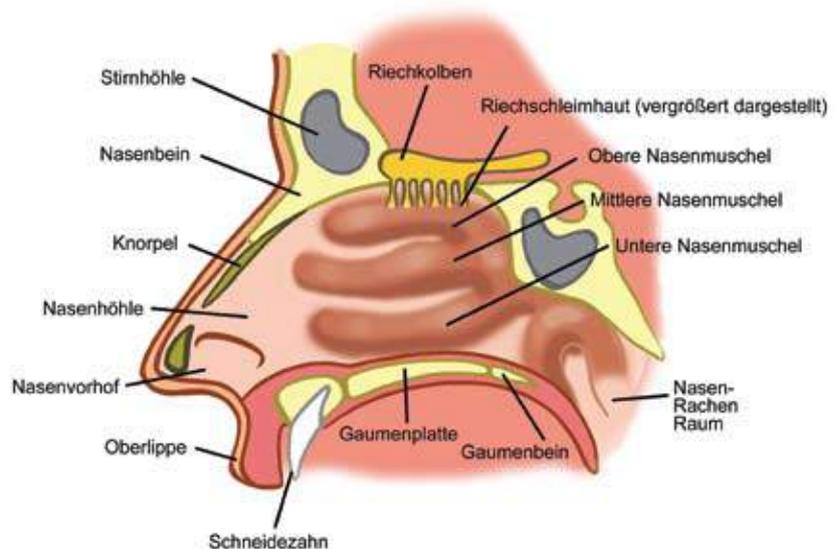
Aus dem Riechkolben wird die Geruchsinformation an das Riechhirn weitergeleitet, wo Gerüche bewusst wahrgenommen und verarbeitet werden. In bestimmten Bereichen der Großhirnrinde werden Gerüche dann mit Vorliebe oder Abneigung verknüpft.

Dabei bewertet das → limbische System eine Situation, in der ein bestimmter Geruch auftritt, gefühlsmäßig und speichert diesen Gefühlseindruck zusammen mit dem Geruch.

Der Geruchssinn ist also wie der Geschmackssinn ein „chemischer“ Sinn, denn die Riechzellen reagieren auf chemische Reize in Form von Molekülen – im Gegensatz zu „physikalischen“ Reizen beim Sehen, Hören und Tasten. Die Rezeptoren in der Riechschleimhaut, die den Kontakt zwischen Außenwelt und der elektrischen Weiterleitung ins Gehirn vermitteln, heißen deshalb „Chemorezeptoren“.

Wir riechen aber bei weitem nicht alle Stoffe, so können wir weder das hochgefährliche Gas Kohlenstoffmonoxid noch den lebensnotwendigen Sauerstoff riechen. Als Geruch nehmen wir nur solche Stoffe wahr, für die es in unserer Riechschleimhaut auch Rezeptoren gibt. Der Mensch besitzt rund 350 unterschiedliche Rezeptoren und kann bis zu 10 000 Gerüche unterscheiden. Das gilt allerdings nur für geübte „Riecher“ wie beispielsweise ParfümeurInnen

Abb. 79: Querschnitt durch den Aufbau der Nase (Quelle: Wikimedia commons)



oder KaffeetesterInnen. Die Angaben darüber, wie viele Duftstoffe ein ungeschulter Mensch erkennen und korrekt benennen kann, reichen von mehreren 100 bis zu mehreren 1000.

Die Höhe der Konzentration eines Duftstoffes, bei der wir einen Geruch wahrnehmen können, nennt man „Wahrnehmungsschwelle“. Aber erst bei einer 10- bis 50-fachen Konzentration dieses Stoffes können wir ihn wirklich erkennen und benennen - deshalb spricht man dann von einer „Erkennungsschwelle“, die von Stoff zu Stoff unterschiedlich ist.

Wie nun der Körper auf wahrgenommene Gerüche reagiert, ist von Mensch zu Mensch unterschiedlich und sehr stark von Erfahrungswerten und Assoziationen mit dem Geruch abhängig. Außerdem kann man sich an einen Geruch, dem man länger ausgesetzt ist, auch anpassen oder ihm gegenüber abstumpfen. So können etwa Personen in ländlichen Regionen Gerüche aus der Landwirtschaft u. U. kaum noch wahrnehmen, während sie von Ortsfremden als äußerst störend empfunden werden können. Folglich sind auch die (gesundheitlichen) Auswirkungen auf diese Personen unterschiedlich.

Diese Auswirkungen reichen von der Unmöglichkeit Fenster offen zu lassen, über Beeinflussung des Wohlbefindens bis hin zur Beeinträchtigung von Erholung und Schlaf.

Immer wenn Gerüche über das Riechhirn „Alarmsignale“ setzen, können Stressreaktionen wie Unbehagen, Gefühle der Ablehnung, Gereiztheit, Aggressivität sowie schließlich Niedergeschlagenheit und Apathie (Abgestumpftheit) hervorgerufen werden. Auch Symptome wie Appetitlosigkeit, Übelkeit und Brechreiz, verbunden mit einer Atmungsverflachung und starken Kopfschmerzen, Augenirritationen und schließlich erhebliche Schlafstörungen werden beschrieben.

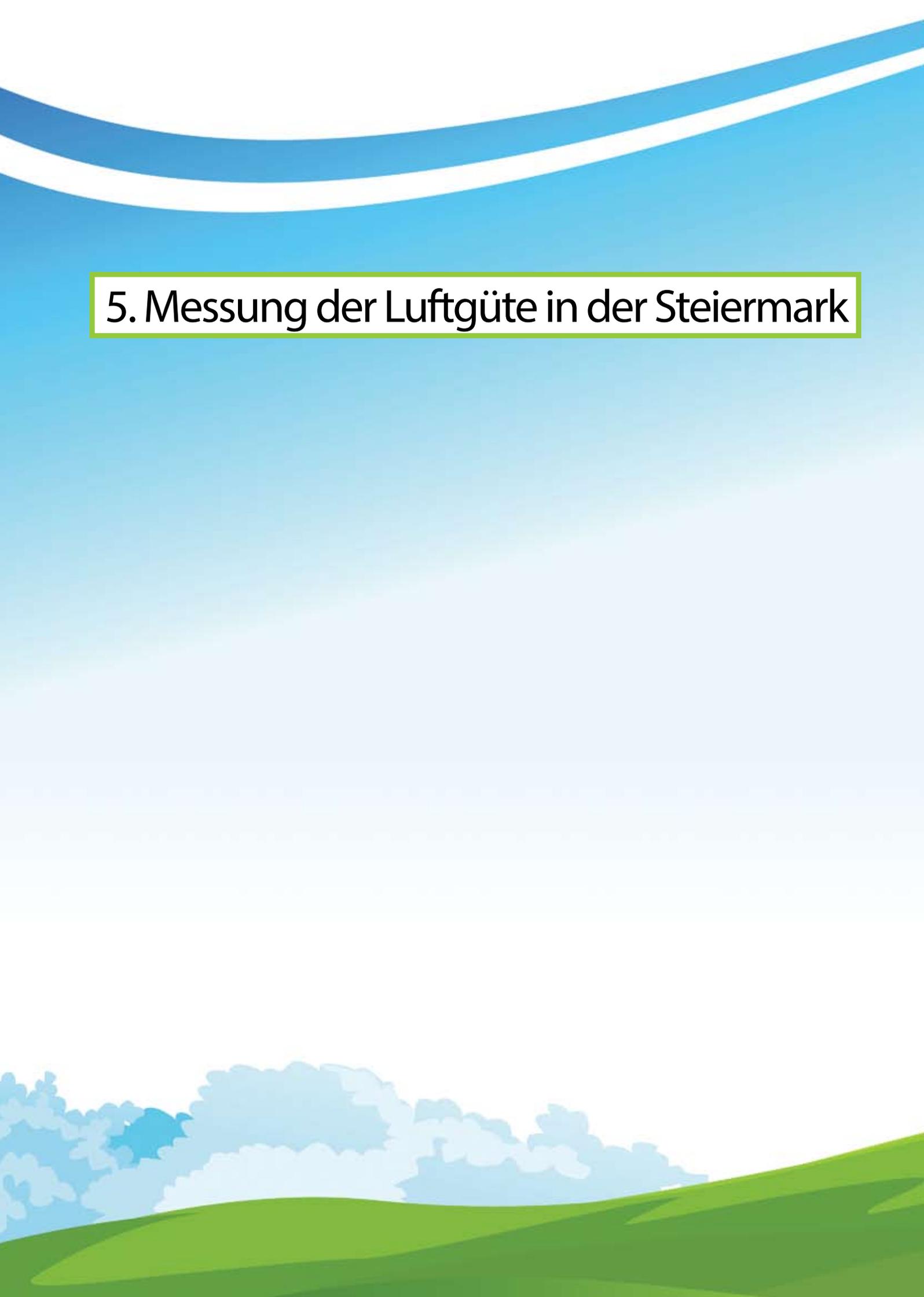
### **Maßnahmen gegen Gerüche**

Bei Geruchsemissionen aus industriellen Betrieben kann man meist mit Filteranlagen Abhilfe schaffen. Schwieriger ist die Situation im agrarischen Bereich, wo Maßnahmen schon beim Bau von Stall- aber auch Wohnanlagen gesetzt werden müssten.

Zu bedenken sind hierbei dann zB Mindest-

abstände zu Wohngebieten, Anpassen der Schornsteinhöhen, eine Verdünnung oder Reinigung der Abluft u. a. Außerdem sollten auch voraussichtliche Ausbreitungsbedingungen von Gerüchen durch gelände- und kleinklimatische Rahmenbedingungen miteingeplant werden.

Ein besonders wichtiger Punkt wäre aber eine artgerechte Tierhaltung mit deutlich reduzierten Tierbeständen gerade im Schweine- und Geflügelsektor, im Rahmen derer Geruchsemissionen nachhaltig vermindert werden könnten. Ein allgemein reduzierter Fleischkonsum, der darüber hinaus auch als wichtiger Bestandteil einer gesunden Ernährung und als eine wichtige Klimaschutzmaßnahme gilt, wäre eine Voraussetzung für diesen Weg.



## 5. Messung der Luftgüte in der Steiermark

## 5.1. Geschichtlicher Überblick

Um den unterschiedlichen Standortfaktoren, die für die Luftbelastung in den Regionen der Steiermark mitverantwortlich sind, gerecht zu werden, gibt es über das gesamte Bundesland ein Netz an Messstationen (siehe Abb. 80) und unterschiedlichste Messmethoden. Bis 1975 wäre die in der Abbildung dargestellte Karte noch leer gewesen, denn erst das in den 1970er/80er-Jahren durch Schwefeldioxid bedingte Waldsterben in den steirischen Becken führte zur Initialzündung der Luftgütemessungen.

Die gesetzliche Basis für den Aufbau des Messnetzes wurde mit dem Inkrafttreten des steiermärkischen Luftreinhaltegesetzes 1974 gelegt. In den folgenden 80er-Jahren erfolgte dann der größer angelegte Ausbau der Luftgüteüberwachung mit Überwachungsschwerpunkten in den Ballungsräumen und um Kraftwerks- bzw. Industriestandorte. Außerdem wurden forstrelevante Messstationen errichtet.

Der „Smog-Winter“ 1988/89 brachte dann weiteren Schwung in den Ausbau des Messnetzes, das damals hinsichtlich der Anzahl der Stationen im Wesentlichen bereits seine heutige Größe erreichte.

Ab 1990 gewann die Messung von Ozon zunehmend an Bedeutung, was sich auch in der Erlassung des Ozongesetzes 1992 zeigte.

Da in dieser Zeit Emissionen von Großemittenten (Industrie, Kraftwerke) erfolgreich vermindert werden konnten, konzentrierten sich die Messungen nun schrittweise auf die Erfassung der Luftbelastung aus dem Verkehr bzw. der Luftgüte in Bezirkshauptstädten.

1998 trat das Immissionsschutzgesetz-Luft in Kraft, das erstmals österreichweit einheitliche Grenzwerte festlegte.

Im ersten Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts wurden die Schwerpunkte zunehmend in die Messung von Partikeln unterschiedlicher Größe sowie der Staubinhaltsstoffe (Schwermetalle, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) gelegt.

## 5.2. Messstationen und Messmethoden

Den in den offiziellen Berichten über die Luftgüte in der Steiermark publizierten Werten liegen unterschiedliche Messverfahren zu Grunde, die in Folge näher beschrieben werden.

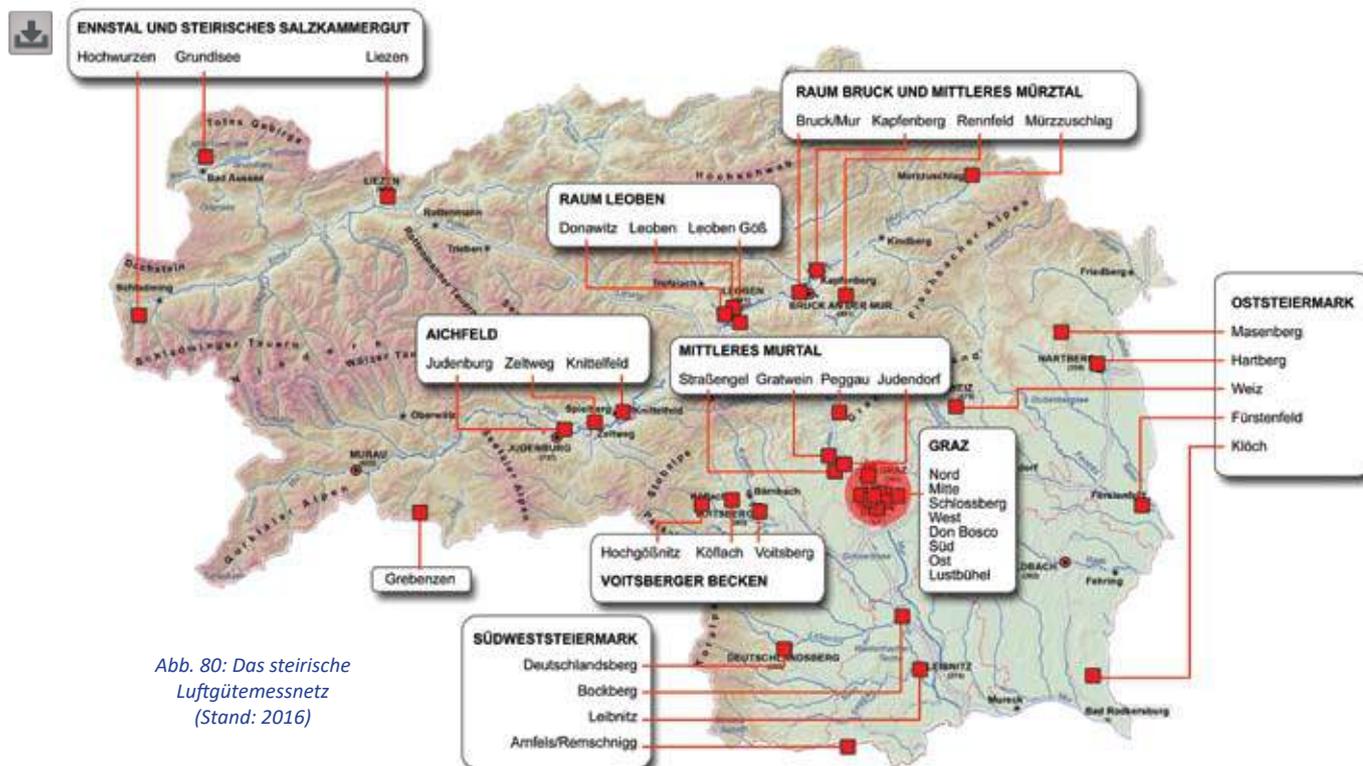


Abb. 80: Das steirische Luftgütemessnetz (Stand: 2016)

### 5.2.1. Automatisches Luftgüte-Messnetz

Bis heute sind die Luftgütemessungen dieses Messnetzes das Rückgrat der Beobachtung der Schadstoffbelastung in der Steiermark. Derzeit (2016) werden im steirischen Immissionsmessnetz 38 ortsfeste Messstellen sowie in Ergänzung dazu drei mobile Stationen betrieben.

  
Outdoor 2  
Praxisteil  
Seite 163

Alle diese Messstationen sind in Messcontainern untergebracht. Abb. 81 zeigt, wie ein solcher Container von außen aussieht.



Abb. 81: Luftgüte-Messcontainer in Judenburg

Über eine Ansaugvorrichtung über dem Dach wird die Luft in das Innere des Containers gesaugt und gelangt dort in diverse Messgeräte (Abb. 82), wo sie automatisch analysiert wird.



Abb. 82: Ausstattung eines Luftgüte-Messcontainers

Von den Stationen werden dann permanent die registrierten Schadstoffwerte in Form von Halbstundenmittelwerten (HMW) in die Luftgüteüberwachungszentrale nach Graz übertragen. Auch wenn nicht jede Station alle Schadstoffe erfasst bzw. mit denselben Mess-

instrumenten ausgestattet ist, so werden insgesamt doch die folgenden Stoffe gemessen:

- Feinstaub (PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub>)
- Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)
- Stickstoffmonoxid (NO)
- Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)
- Ozon (O<sub>3</sub>)
- Kohlenstoffmonoxid (CO)

Die gemessenen Schadstoffwerte werden mit gesetzlichen Grenzwerten verglichen, um so die Luftqualität zu beurteilen.

Wichtig ist bei den Messstationen natürlich auch der Ort ihrer Aufstellung. Hier wurden je nach Aufgabenstellung unterschiedliche Standortkriterien berücksichtigt bzw. es gibt Stationen mit unterschiedlichen thematischen Ausrichtungen, die im Folgenden behandelt werden.

#### Forstrelevantes Messnetz

Das forstrelevante Messnetz versucht den Schadstoffeintrag in die Wälder zu erfassen. Die höchstgelegenen Stationen stehen auf der Hochwurzen über Schladming in rund 1850 m Seehöhe und am Rennfeld über Bruck an der Mur in 1610 m Höhe.

#### Messnetz in Ballungsräumen

Das Messnetz in den Ballungsräumen hat die Aufgabe, in den dicht besiedelten Gebieten der Steiermark die Immissionsstruktur zu erfassen. Die Standorte der Probenahme müssen dabei einerseits gut aus allen Richtungen angeströmt werden können und andererseits ein repräsentatives Schadstoffbild für den jeweiligen Siedlungsraum ergeben. Dabei sollte der Einfluss aller Emittentengruppen (Verkehr, Hausbrand, Gewerbe und Industrie) bestimmt werden.

#### Emittentenbezogenes Messnetz

Das emittentenbezogene Messnetz wurde im Umkreis einiger Großemittenten der Steiermark errichtet. Um die Überwachung dieser Betriebe optimal zu gewährleisten, werden auch kontinuierliche Emissionsmessungen vorgenommen, die ebenfalls in die Luftgüteüberwachungszentrale übertragen werden.

## Mobile Stationen

Für die lokale Erfassung der Schadstoffstruktur stehen in der Steiermark drei mobile Messcontainer zur Verfügung, die auf Wunsch der steirischen Gemeinden zum Einsatz gelangen. Diese Messeinrichtungen sind in ihrer Ausstattung einer fest installierten Luftgütemessstation sehr ähnlich.

Neben dem Einsatz von Luftgütemesscontainern werden aber auch noch andere Methoden zur Schadstofffassung herangezogen.

## 5.2.2. Integrale Messungen

Klingt kompliziert, ist aber im Vergleich zu den automatischen Messstationen wesentlich einfacher, energieunabhängig und kostengünstiger. Dabei werden nämlich einfach Schadstoffsammler in der Umgebung deponiert und dort eine gewisse Zeit belassen. Die Methode funktioniert ohne Pumpe, Strom oder sonstigen Aufwand und bietet die Möglichkeit, an vielen Messpunkten - zB in einer Stadt - die Luftqualität zu erheben. Durch die räumliche Anordnung der einzelnen Messpunkte wird eine flächendeckende Aussage über die Schadstoffbelastung möglich und Konzentrationsmittelwerte können über den jeweiligen Messzeitraum errechnet werden. Da damit allerdings keine kurzfristigen Belastungsspitzen erfasst werden können, ist eine Kombination von automatischen und integralen Messmethoden unerlässlich. In der Steiermark werden folgende Schadstoffe mittels integraler Methode erhoben:

## Staubdeposition

Ziel der Staubbiederschlagsmessungen ist es, die in einer bestimmten Zeit aus der Atmosphäre ausfallende Menge fester Substanzen zu erfassen. Die Staubbmessung erfolgt nach dem „Bergerhoff-Verfahren“. Dabei wird ein Glas- oder Kunststoffgefäß 28 Tage lang auf einem etwa 2 m hohen Ständer aufgestellt (Abb. 83). Der sich absetzende Staub und das Regenwasser werden darin gesammelt. Danach werden Staubbiederschlag und Wasser in einer vorher genau gewogenen Schale zur Trocknung eingedampft und der Gesamtstaubbiederschlag gewogen.



Abb. 83: Schadstoffsammler auf einer Stange (Bergerhoff-Verfahren)

## Stickstoffdioxid

Bei diesem Verfahren wandern die Schadstoffmoleküle durch  $\rightarrow$ Diffusion in ein kleines Plexiglasröhrchen (Abb. 84) und werden dort an imprägnierten Edelstahlnetzen chemisch absorbiert. Im Labor wird der absorbierte Schadstoff von den Netzen gelöst und ausgewertet.



Abb. 84: Vor Niederschlägen geschützte Messröhrchen

## BTX (Benzol, Toluol, Xylol)

Auch hier kommen im Gelände positionierte Messröhrchen zur Anwendung, allerdings erfolgt hier die Anreicherung der Substanzen durch Diffusion auf Aktivkohle.

## 5.2.3. High-Volume-Messungen

Zur kontinuierlichen Erfassung von Staubbmissionen stehen neben den Geräten, die Messwerte direkt online übertragen, noch zusätzlich spezielle Staubsammelgeräte (High-Volume-Sampler, Abb. 85) zur Verfügung. Die Luft strömt darin durch einen Filter, in dem



Stäube hängen bleiben. Die damit gesammelten Staubproben können auch auf Inhaltsstoffe hin (zB Schwermetalle) untersucht werden.



Abb. 85: Das Innere eines High-Volume-Samplers

Abb. 86 zeigt einen solchen Filter, wie er vor Messbeginn (links) und am Ende eines Tages (rechts) an einer verkehrsreichen Messstation (Graz-Don Bosco) aussieht.



Abb. 86: Staubfilter vor Messbeginn (links) und nach einem Tag (rechts)

#### 5.2.4. Bio-Indikatoren

Man braucht nicht immer technische Messinstrumente, um Immissionen zu erfassen. Oft werden auch natürliche Reaktionen der Pflanzenwelt herangezogen, um die Luftgüte ermitteln zu können. Dies begründet sich in der Eigenschaft bestimmter Pflanzen, Schadstoffe aus der Luft aufzunehmen und zu speichern.

#### Grünkohlverfahren

Für einzelne Messungen wurde in der Vergangenheit Grünkohl (*Brassica oleracea acephala*, Abb. 87) eingesetzt. Beim Grünkohlverfahren erfolgt die Anreicherung von fettlöslichen, organischen Luftschadstoffen in der ausgeprägten Wachsschicht der Grünkohlblätter, wo sie nach der Exposition mit chemisch-analy-

tischen Methoden quantitativ nachgewiesen werden können. Aufgrund seiner hohen Frosttoleranz kann Grünkohl auch im Herbst und im Winter eingesetzt werden.



Abb. 87: Grünkohlverfahren in Leoben

#### Flechtenkartierung

Flechten sind sehr eng an bestimmte ökologische Faktoren angepasst, was sich in einer besonders hohen Sensibilität gegenüber Luftschadstoffen niederschlägt. Diese Organismen können diverse, auch toxische Substanzen akkumulieren. Da den Flechten ein Absorptionssystem wie das der Wurzeln der höheren Pflanzen fehlt, findet die Aufnahme von Schadstoffen, zB der Schwermetalle, ausschließlich aus der Atmosphäre statt. Diese indirekte Art der Luftqualitätsmessung ist für Untersuchungen, die einen längeren zeitlichen Rahmen und größere Gebiete abdecken sollen, gut geeignet.

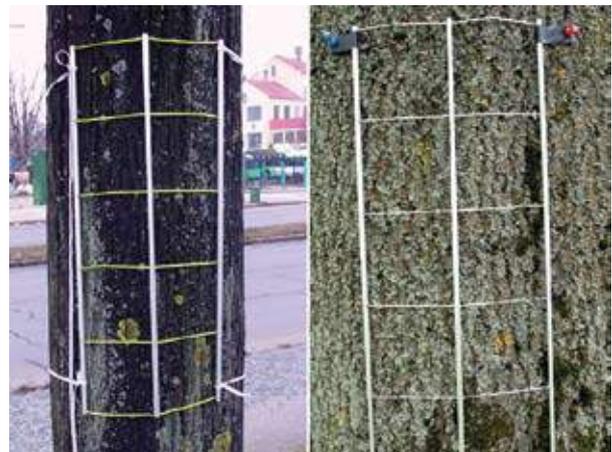


Abb. 88: Aufnahmegitter auf Baumstämmen (Foto: OIKOS - Institut für angewandte Ökologie & Grundlagenforschung)

Bei der Flechtenerhebung werden Baumstämme im Untersuchungsgebiet mit Hilfe eines

Aufnahmegitters (Abb. 88) auf Flechtenarten und Flechtendichte hin untersucht. Je nach Höhe der Luftschadstoffbelastung tritt eine unterschiedliche Dichte diverser Flechtenarten in Erscheinung.

### Untersuchung von Baumadeln

Übung 9  
Praxisteil  
Seite 169

Um Belastungen der Wälder festzustellen, ist es neben lokalen Untersuchungen notwendig, mit flächendeckenden Methoden Belastungsfaktoren nachzuweisen. Dabei werden Baumadeln - die Verunreinigungen aus der Luft aufnehmen - auf Schadstoffe untersucht. Dazu werden einmal im Jahr Bäume an fixen Messpunkten beprobt, indem aus dem oberen Kronenbereich der Bäume Nadeln gesammelt werden (Abb. 89).



Abb. 89: Probennahme für das Bioindikatornetz (Quelle: Bundesamt für Wald)

Nach wie vor kann hier Schwefel als einer der wichtigsten Schadstoffe angesehen werden und gilt auch als Leitschadstoff zur Interpretation möglicher anderer Luftschadstoffe. Abb. 90 zeigt deshalb die Belastung von beprobten Bäumen mit Schwefel für die Jahre 1983, 1995 und 2015 im Vergleich.

### 5.2.5. Meteorologisches Messnetz

Wie schon in Kap. 3.1.2. erwähnt, haben Klimatelemente wie Wind, Temperatur oder Strahlung einen wesentlichen Einfluss auf die Ausbreitung von Luftschadstoffen (Transmission). Um Immissionsmessungen besser interpretieren bzw. Prognosen erstellen zu können, ermitteln deshalb alle Messstationen auch unterschiedliche meteorologische Parameter.

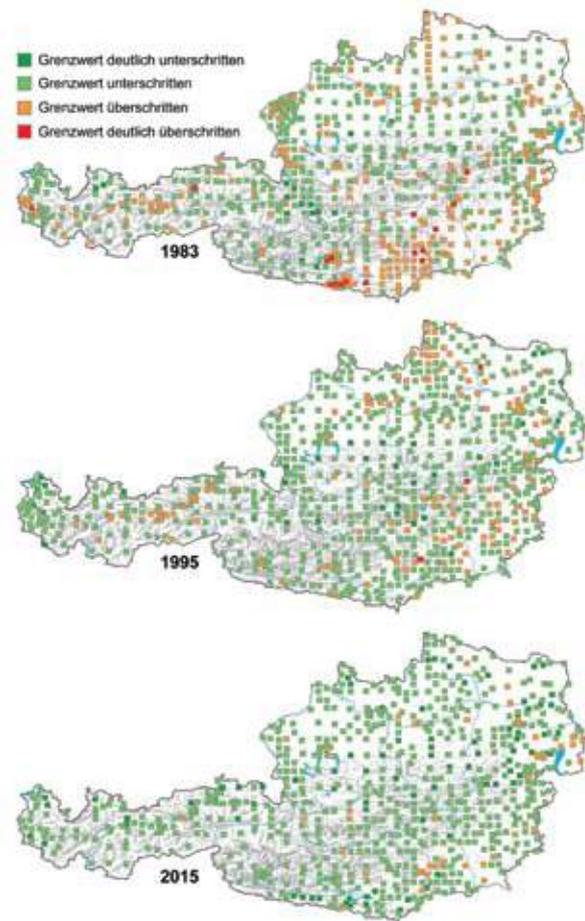


Abb. 90: Schwefelgehalt aller beprobten Bäume in Österreich für die Jahre 1983, 1995, 2015 (Quelle: Österreichisches Bioindikatornetz)

Erfasst werden dabei je nach Station:

- Strahlung
- Temperatur
- Windrichtung
- Windgeschwindigkeit
- Luftfeuchte
- Luftdruck
- Niederschlag



Abb. 91: Meteorologische Messungen über den Dächern von Graz

Darüber hinaus existiert in Graz ein eigenes meteorologisches Messnetz, welches an acht weiteren Stellen (Abb. 91) Temperatur, relative Luftfeuchte, Windrichtung und -geschwin-

digkeit erfasst, wobei vor allem das vertikale Temperaturprofil im Raum Graz interessiert (zB Erkennen von Inversionen).

### 5.2.6. Ausbreitungsmodelle

Um jedoch auch Aussagen über Gebiete treffen zu können, die nicht durch das kontinuierliche Messnetz abgedeckt werden oder um flächendeckende Belastungen darstellen zu können, gewinnt die Anwendung von Ausbreitungsmodellen als zusätzliche Informationsquelle immer mehr an Bedeutung.

Solche Computermodelle bzw. -simulationen stellen zwar immer nur Annäherungen an die Realität dar, können aber bei Vorlage geeigneter Emissionsdaten die durchschnittlichen Konzentrationen von Schadstoffen in der Regel gut darstellen.

So zeigt zB die Abb. 92 einen simulierten Jahresmittelwert für Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) für den Großraum Graz. Dunkelrot darin die im Schnitt am stärksten belasteten Regionen (zB um Autobahnknoten), Grün- und Blautöne zeigen geringe Jahresmittelwerte (an den Stadträndern).

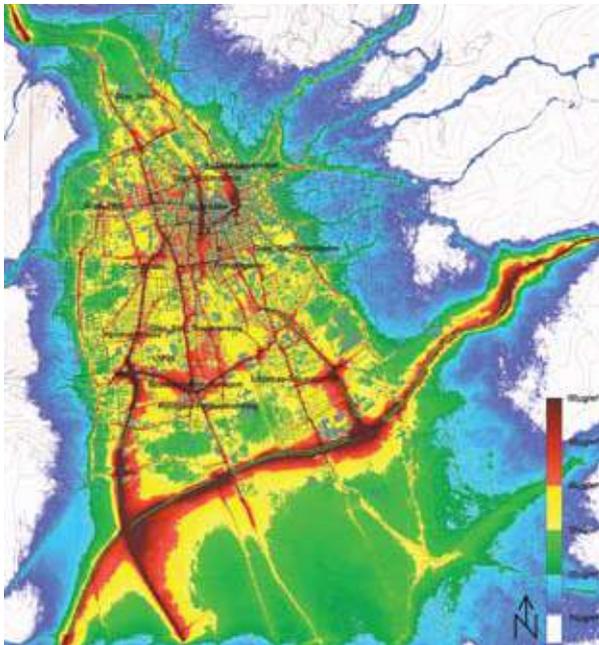
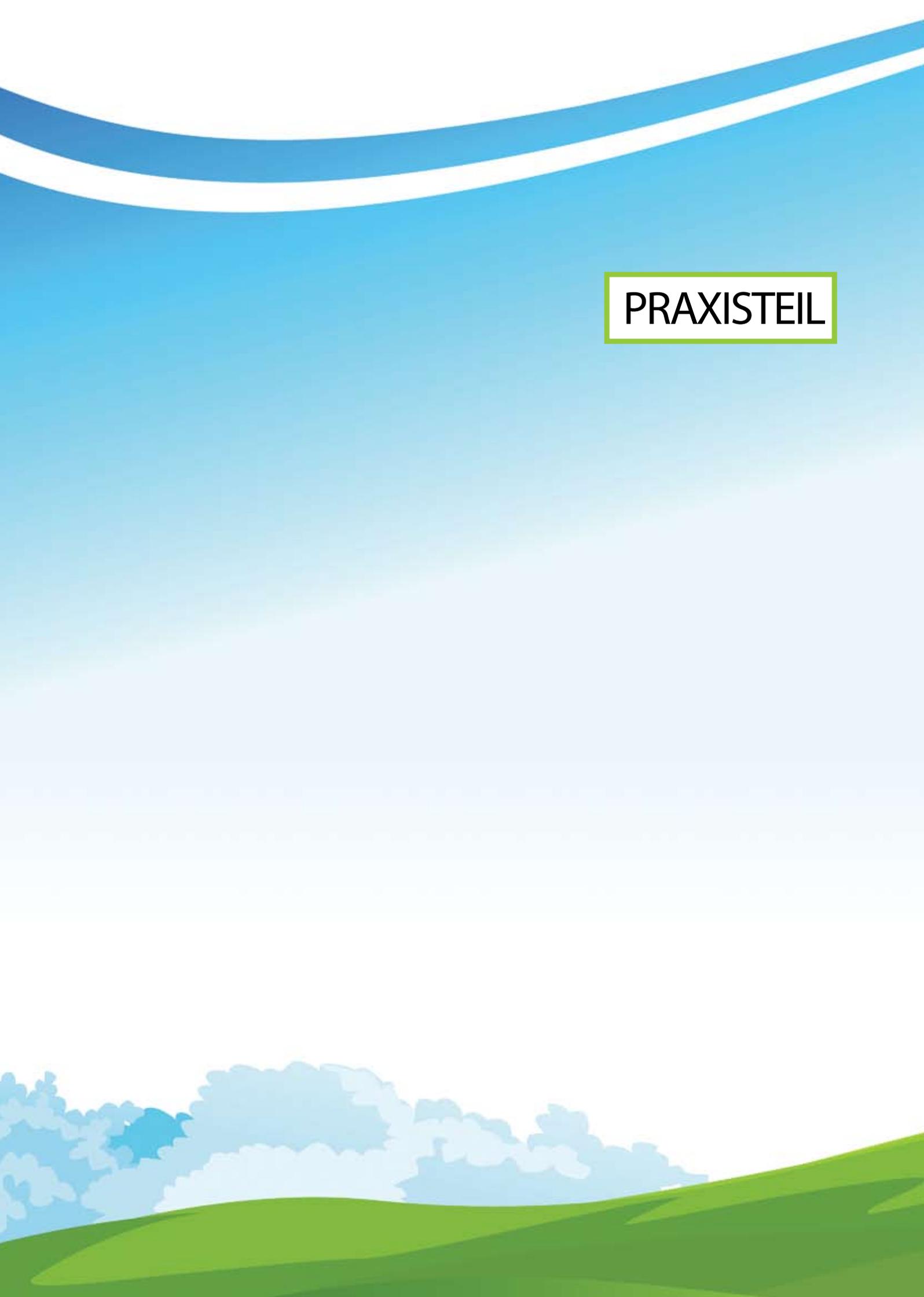


Abb. 92: Modellierung der  $\text{NO}_2$ -Konzentration für Graz. Die Straßen und v. a. die Autobahnen sind durch höhere Belastung (rot) gut erkennbar

Die Kombination aller erwähnten Messmethoden und -netze ermöglicht eine ständige flächendeckende Kontrolle der Immissionen und das Setzen entsprechender Maßnahmen bei Überschreiten von Grenzwerten.





PRAXISTEIL



## Zur Verwendung des Praxisteils

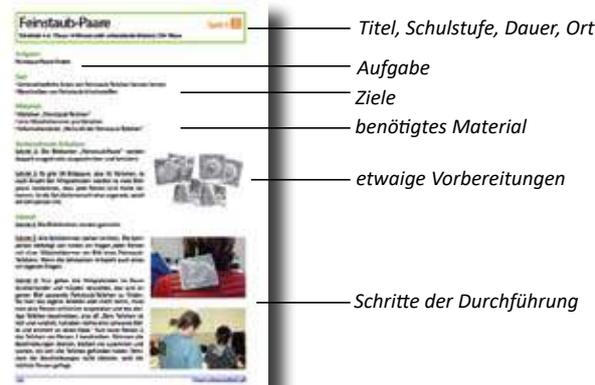
Der Praxisteil versteht sich als Anregung zur Anwendung unterschiedlicher didaktischer, fächerübergreifender Arbeitsmethoden. Dabei können einfache Experimente, Übungen mit Arbeitsblättern, Spiele, darstellerische Umsetzungen der behandelten Themen und Aktivitäten außerhalb der Schule zum Einsatz kommen.

Ein unterschiedliches Angebot und eine differenzierte Auswahl an Methoden fördert das selbstständige, handelnde Lernen der SchülerInnen und lässt diese auf unterschiedliche Art und Weise Probleme, Zusammenhänge und Hintergründe erkennen. Auf die multiplen Intelligenzen basierende Aufgabenstellungen sollen den verschiedenen Lerntypen helfen das Thema mit allen Sinnen zu begreifen, während die Durchführung von Experimenten die Beobachtungsfähigkeit der Kinder und Jugendlichen schult und zu neuen Fragestellungen anregt.

Jede vorgestellte Methode steht immer in direktem Zusammenhang mit einem Abschnitt des Fachinformationsteiles und ist dort jeweils mit einem dementsprechenden Symbol am Textrand markiert.

Die meisten Versuche, Übungen und Spiele sind so konzipiert und aufbereitet, dass sie von den SchülerInnen selbstständig durchgeführt werden können.

Jedes Methodenblatt hat den selben Aufbau: Angegeben sind jeweils die vorgeschlagene Schulstufe für die Durchführung bzw. die Dauer und der Ort der Durchführung. Kurz genannt werden auch Aufgabe, Ziele und benötigtes Material für die Methode. Es folgt detailliert der Ablauf inkl. der benötigten Arbeitsblätter oder anderer Unterlagen.



Die Nennung der vorgeschlagenen Schulstufen ist als Empfehlung zu verstehen, ab welcher Schulstufe die Methode zur Anwendung kommen kann. Die Mappe kann somit in allen allgemein bildenden und berufsbildenden Schulen zum Einsatz kommen. Relevante Lehrplanbezüge für alle Schulstufen sind auf Seite 2 dieser Mappe zu finden.

Für alle auf den folgenden Seiten beschriebenen Methoden sind keine großen Investitionen oder Ausstattungen notwendig, die nicht sowieso in den meisten Schulen vorhanden oder leicht und kostengünstig im Handel beziehbar sind.

Es werden keine Experimente vorgestellt, die nur mit Laborausstattung im Chemieunterricht durchführbar sind, sondern alle Experimente können durchwegs in der Klasse im Rahmen eines fächerübergreifenden Projekts durchgeführt werden. Für speziellere chemische Versuche zu diversen Luftschadstoffen wird auf diesbezügliche Publikationen und Homepages verwiesen.

Da der Umfang dieser Mappe nur einen Auszug aus diversen Methoden erlaubt, wird hier auf den Punkt „Downloads“ auf [www.ubz-stmk.at/luft](http://www.ubz-stmk.at/luft) verwiesen, unter dem weitere Möglichkeiten zur didaktischen Umsetzung des Themas „Luft“ bzw. einzelne Grafiken aus dem Fachinformationsteil zu finden sind.



Alle Unterlagen des Praxisteils dürfen für den Unterricht, für Schulprojekte und Projektpräsentationen verwendet und vervielfältigt werden.



# Gas-Steckbriefe

Übung 1 

Schulstufe: ab 7.-8. / Dauer: 20 Minuten / Ort: Klasse

## Aufgabe:

Vergleichen diverser Gase und Luftschadstoffe

## Ziele:

- Bereitstellen weiterer Daten zu einzelnen Gasen
- Gefahrenpotential einzelner Gase kennen lernen
- Von chemisch-physikalischen Eigenschaften einiger Gase auf deren Auswirkungen im Körper rückschließen lernen

## Material:

- Kärtchen „Gas-Steckbriefe“
- Arbeitsblatt „Gas-Steckbriefe“
- Internet-Zugang

## Vorbereitende Arbeiten:

Die Gas-Steckbriefe werden ausgedruckt, als Kärtchen ausgeschnitten und laminiert.

## Ablauf:

### Schritt 1:

Die SchülerInnen bekommen die Gas-Steckbriefe zur Verfügung gestellt, um zusätzliche Informationen zu behandelten Gasen und Luftschadstoffen beziehen zu können.

### Schritt 2:

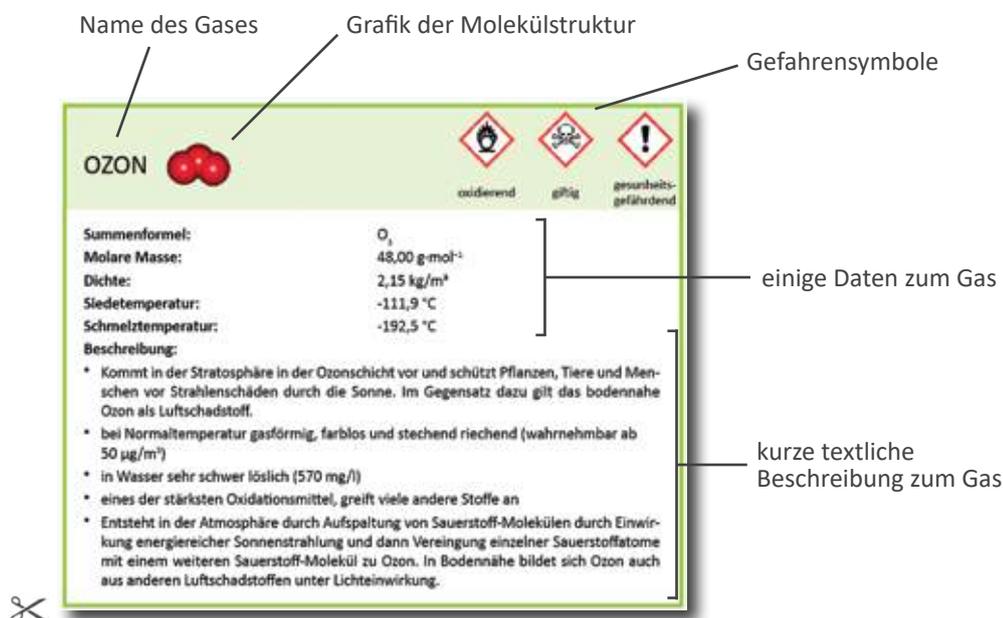
Es können diverse zusätzliche Aufträge für Online-Recherchen erteilt werden, deren Ergebnisse auf A4-Blättern/im Heft niedergeschrieben werden können, zB:

- Wo finden die diversen Gase in Industrie, Wirtschaft oder Alltag Anwendung?
- Welche natürlichen und menschlichen Quellen gibt es für diverse Gase und Luftschadstoffe?
- Welche Bedeutung haben einzelne Gase für den Körper bzw. wie wirken die Luftschadstoffe auf den Körper?

### Schritt 3:

Das Arbeitsblatt „Gas-Steckbriefe“ wird ausgeteilt. Die SchülerInnen versuchen die Fragen darauf mit Hilfe der Gas-Steckbriefe zu beantworten.

Die Eigenschaften der wichtigsten in dieser Mappe behandelten Gase und Luftschadstoffe werden auf den folgenden Gas-Steckbriefen zusammengefasst. Die Kärtchen können ausgeschnitten und laminiert werden und umfassen folgende Informationen:



### Erklärung zu einigen Begriffen auf den Kärtchen:

<b>Ordnungszahl</b>	Sie gibt die Stellung eines chemischen Elements im Periodensystem der Elemente an.
<b>Atommasse</b>	Das ist die Masse eines Atoms. Sie wird in der atomaren Maßeinheit <b>u</b> angegeben. Ihr Wert ist auf $\frac{1}{12}$ der Masse eines Atoms des Kohlenstoff-Isotops <sup>12</sup> C festgelegt. Somit gilt: $1 \text{ u} = 1,660 \text{ 539 040} \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ .
<b>Molare Masse</b>	Sie ist der Proportionalitätsfaktor zwischen Masse und Stoffmenge eines Stoffes. Die Einheit ist kg/mol (in der Chemie ist g/mol üblich).
<b>Dichte</b>	Sie wird in kg/m <sup>3</sup> angegeben, ist allerdings von Temperatur und Druck abhängig. Die angegebenen Werte beziehen sich immer auf 1,01325 bar Druck (=Normaldruck) und 0 °C Temperatur.
<b>Löslichkeit im Wasser</b>	Ist ebenfalls von Temperatur und Druck abhängig. Die angegebenen Werte beziehen sich immer auf Normaldruck und 20 °C Temperatur. Die Angabe der Löslichkeit ist aus gesundheitlicher Sicht deshalb wichtig, da ein stark wasserlösliches Gas von den Schleimhäuten in den Atemwegen gut aufgenommen werden kann. Das gut lösliche Schwefeldioxid setzt sich somit gut in den Bronchien ab und reizt alle Schleimhäute. Das schwer lösliche Ozon wird hingegen kaum vom Schleim zurückgehalten und kann so noch tiefer in die Atemwege eindringen. Ob ein Gas leicht oder schwer löslich ist, hängt aber nicht unbedingt mit der maximalen Konzentration des Gases im Wasser zusammen. Es kann also eine hohe maximale Konzentration geben, die aber schwer erreichbar ist (zB beim Ozon).
<b>Gefahrensymbole</b>	Entsprechen dem global harmonisierten System zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien.

## ARGON

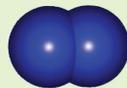


<b>Chemisches Zeichen:</b>	Ar
<b>Ordnungszahl:</b>	18
<b>Atommasse:</b>	39,948 u
<b>Gehalt in der Atmosphäre:</b>	0,93 %
<b>Dichte:</b>	1,78 kg/m <sup>3</sup>
<b>Siedetemperatur:</b>	-185,7 °C
<b>Schmelztemperatur:</b>	-189,3 °C

### Beschreibung:

- das häufigste auf der Erde vorkommende Edelgas
- farbloses, äußerst reaktionsträges, einatomiges Gas
- dritthäufigster Bestandteil der Erdatmosphäre
- in Wasser etwas löslich (62 mg/l)
- technische Gewinnung aus der Luft nach dem Linde-Verfahren

## STICKSTOFF

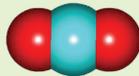


<b>Chemisches Zeichen:</b>	N (lat. Nitrogenium) Elementar tritt Stickstoff nur als Verbindung zweier Stickstoff-Atome mit der Summenformel N <sub>2</sub> auf
<b>Ordnungszahl von N:</b>	7
<b>Atommasse:</b>	14,007 u
<b>Gehalt in der Atmosphäre:</b>	78,08 %
<b>Dichte:</b>	1,25 kg/m <sup>3</sup>
<b>Siedetemperatur:</b>	-195,8 °C
<b>Schmelztemperatur:</b>	-210,1 °C

### Beschreibung:

- kommt in der Luft als N<sub>2</sub>-Molekül vor - häufigstes Gas der Erdatmosphäre
- bei Normaltemperatur gasförmig, farblos, geruchlos
- in Wasser schwach löslich (20 mg/l)
- sehr reaktionsträges Gas, das bei Normaltemperaturen kaum Verbindungen eingeht
- selbst nicht brennbar, erstickt die Flamme
- technische Gewinnung nach dem Linde-Verfahren

## KOHLENSTOFFDIOXID



<b>Summenformel:</b>	CO <sub>2</sub>
<b>Molare Masse:</b>	44,01 g·mol <sup>-1</sup>
<b>Gehalt in der Atmosphäre:</b>	0,04 %
<b>Dichte:</b>	1,98 kg/m <sup>3</sup>
<b>Siedetemperatur:</b>	keine bei Normaldruck (sublimiert)
<b>Sublimationstemperatur</b> (unmittelbarer Übergang von fest in gasförmig ohne Verflüssigung):	-78,5 °C

### Beschreibung:

- häufigstes Spurengas in der Atmosphäre, wirkt als Treibhausgas
- bei Normaltemperatur gasförmig, farblos, fast geruchlos
- in Wasser leicht löslich (1688 mg/l), reagiert zu Kohlensäure H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>
- erstickt die Flamme, ist selbst nicht brennbar
- entsteht bei der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Brennstoffe

## KOHLENSTOFFMONOXID



giftig



hochentzündlich



gesundheitsschädlich

<b>Summenformel:</b>	CO
<b>Molare Masse:</b>	28,01 g·mol <sup>-1</sup>
<b>Dichte:</b>	1,25 kg/m <sup>3</sup>
<b>Siedetemperatur:</b>	-191,6 °C
<b>Schmelztemperatur:</b>	-205,1 °C

### Beschreibung:

- bei Normaltemperatur gasförmig, farblos, geruchlos
- in Wasser schwer löslich (30 mg/l)
- v. a. in Innenräumen hochgefährlich, da starkes Atemgift
- entsteht u. a. wenn Verbrennungsvorgänge unvollständig ablaufen

## OZON



oxidierend



giftig



gesundheits-  
gefährdend

<b>Summenformel:</b>	$O_3$
<b>Molare Masse:</b>	$48,00 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
<b>Dichte:</b>	$2,15 \text{ kg}/\text{m}^3$
<b>Siedetemperatur:</b>	$-111,9 \text{ }^\circ\text{C}$
<b>Schmelztemperatur:</b>	$-192,5 \text{ }^\circ\text{C}$

### Beschreibung:

- Kommt in der Stratosphäre in der Ozonschicht vor und schützt Pflanzen, Tiere und Menschen vor Strahlenschäden durch die Sonne. Im Gegensatz dazu gilt das bodennahe Ozon als Luftschadstoff.
- bei Normaltemperatur gasförmig, farblos und stechend riechend (wahrnehmbar ab  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )
- in Wasser sehr schwer löslich ( $570 \text{ mg}/\text{l}$ )
- eines der stärksten Oxidationsmittel, greift viele andere Stoffe an
- Ozon entsteht in der Atmosphäre durch Aufspaltung von Sauerstoff-Molekülen durch Einwirkung energiereicher Sonnenstrahlung und dann Vereinigung einzelner Sauerstoffatome mit einem weiteren Sauerstoff-Molekül. In Bodennähe bildet sich Ozon auch aus anderen Luftschadstoffen unter Lichteinwirkung.

## STICKSTOFFDIOXID



oxidierend



giftig



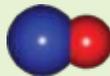
ätzend

<b>Summenformel:</b>	$\text{NO}_2$
<b>Molare Masse:</b>	$46,01 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
<b>Dichte:</b>	$3,65 \text{ kg}/\text{m}^3$
<b>Siedetemperatur:</b>	$21,2 \text{ }^\circ\text{C}$
<b>Schmelztemperatur:</b>	$-11,2 \text{ }^\circ\text{C}$

### Beschreibung:

- bei Normaltemperatur gasförmig, bräunlich, stechend riechend
- in Wasser relativ gut löslich, reagiert mit Wasser zu Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ )
- unterstützt die Verbrennung kräftig (kann Entzündung brennbarer Stoffe bewirken)
- überwiegend als Nebenprodukt bei der Verbrennung fossiler Energieträger

## STICKSTOFFMONOXID



oxidierend



giftig



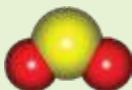
ätzend

<b>Summenformel:</b>	NO
<b>Molare Masse:</b>	30,01 g·mol <sup>-1</sup>
<b>Dichte:</b>	1,34 kg/m <sup>3</sup>
<b>Siedetemperatur:</b>	-151,8 °C
<b>Schmelztemperatur:</b>	-163,6 °C

### Beschreibung:

- bei Normaltemperatur gasförmig, farblos, geruchlos
- in Wasser wenig löslich (60 mg/l)
- unterstützt die Verbrennung kräftig (kann Entzündung brennbarer Stoffe bewirken)
- überwiegend als Nebenprodukt bei der Verbrennung fossiler Energieträger

## SCHWEFELDIOXID



giftig



ätzend

<b>Summenformel:</b>	SO <sub>2</sub>
<b>Molare Masse:</b>	64,06 g·mol <sup>-1</sup>
<b>Dichte:</b>	2,93 kg/m <sup>3</sup>
<b>Siedetemperatur:</b>	-10,1 °C
<b>Schmelztemperatur:</b>	-75,5 °C

### Beschreibung:

- bei Normaltemperatur gasförmig, farblos, stechend riechend
- in Wasser leicht löslich (112,7 g/l), reagiert zu schwefeliger Säure (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) bzw. Schwefelsäure (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
- erstickt die Flamme, ist selbst nicht brennbar
- überwiegend unerwünschtes Nebenprodukt bei der Verbrennung fossiler, schwefelhaltiger Energieträger

## SAUERSTOFF



oxidierend

<b>Chemisches Zeichen:</b>	O (lat. Oxygenium) Elementar tritt Sauerstoff v. a. als Verbindung zweier Sauerstoff-Atome mit der Summenformel O <sub>2</sub> auf
<b>Ordnungszahl von O:</b>	8
<b>Atommasse:</b>	15,999 u
<b>Gehalt in der Atmosphäre:</b>	20,95 %
<b>Dichte:</b>	1,43 kg/m <sup>3</sup>
<b>Siedetemperatur:</b>	-183 °C
<b>Schmelztemperatur:</b>	-218,3 °C

### Beschreibung:

- O ist das häufigste Element auf der Erde und das Gas O<sub>2</sub> der zweithäufigste Bestandteil der Erdatmosphäre
- bei Normaltemperatur gasförmig, farblos, geruchlos
- in Wasser schwach löslich (39 mg/l)
- sehr reaktionsfähiges Element, welches mit vielen anderen Stoffen gut reagiert (Oxidationen, Verbrennung ...)
- selbst nicht brennbar, unterstützt aber die Verbrennung
- technisch wird Sauerstoff heute fast ausschließlich durch Rektifikation (thermisches Trennverfahren und eine Erweiterung der Destillation) von Luft gewonnen

**Versuche mit Hilfe der Gas-Steckbriefe folgende Fragen zu beantworten:**

Frage 1:

Ist ein Luftschadstoff gut wasserlöslich, dann wird er oft schon von den feuchten Schleimhäuten der oberen Atemwege aufgenommen. Ist er schwer wasserlöslich, kann er bis in die tiefsten Teile der Atemwege eindringen. Welches der drei genannten Gase kann deshalb besonders tief in die Lunge eindringen: Ozon, Schwefeldioxid oder Stickstoffmonoxid?

> \_\_\_\_\_

Frage 2:

Aus welchen Atomen besteht ein Molekül des gesuchten Luftschadstoffes aus Frage 1?

> \_\_\_\_\_

Frage 3:

Welches ist das häufigste auf der Erde vorkommende Edelgas?

> \_\_\_\_\_

Frage 4:

Welches Gas ist v. a. in Innenräumen ein starkes Atemgift und hochgefährlich?

> \_\_\_\_\_

Lösungen:

Antwort 1: Ozon ist sehr schwer wasserlöslich und wird deshalb von den Schleimhäuten nicht aufgenommen. Es kann folglich bis in die feinsten Atemwege (Bronchien und Alveolen) vordringen.

Antwort 2: Ozon besteht aus 3 Sauerstoffatomen ( $O_3$ ).

Antwort 3: Argon. Es hat einen Anteil von 0,93 % an der Atmosphäre.

Antwort 4: Kohlenstoffmonoxid ( $CO$ ). In Innenräumen kann es sich stark konzentrieren und sich ohne Frischluftzufuhr nur schlecht in  $CO_2$  umwandeln. Das  $CO$  bindet sich besser an die roten Blutkörperchen als Sauerstoff, was zum Erst-  
ckungstod führt.

# CO<sub>2</sub> erlebbar machen

Versuch 1 

Schulstufe: ab 5.-6. / Dauer: 10 Minuten / Ort: Klasse

## Aufgabe:

Das unsichtbare Gas Kohlendioxid durch seine höhere Dichte erkennbar und erlebbar machen

## Ziele:

- Richtiges Durchführen eines Experiments nach Anleitung
- Erkennen, dass Gase unterschiedliche Eigenschaften haben
- Den Begriff „Dichte“ eines Gases kennen lernen

## Material:

- Schüssel
- Natron oder Backpulver
- Tafelessig
- Esslöffel
- Trinkglas
- Seifenblasen

## Ablauf:

### Schritt 1:

3-4 Esslöffel Natron oder Backpulver werden in die Schüssel geschüttet.



### Schritt 2:

Das Trinkglas wird zur Hälfte mit Essig gefüllt.

### Schritt 3:

Eine zweite Person macht sich mit den Seifenblasen schon bereit.

### Schritt 4:

Der Essig wird aus dem Glas in die Schüssel geschüttet und vermischt sich mit dem Natron/dem Backpulver. Es beginnt zu schäumen, da durch die Reaktion CO<sub>2</sub> entsteht.



### Schritt 5:

Nach ca. 5 Sekunden pustet die zweite Person vorsichtig Seifenblasen so in die Schüssel, dass sie von oben in die Schüssel schweben (siehe „Tipps“ auf der nächsten Seite).

### Schritt 6:

Hat alles funktioniert, dann „schweben“ die Seifenblasen auf dem unsichtbaren CO<sub>2</sub> und fallen nicht auf den Schüsselboden. Begründung: Das CO<sub>2</sub> hat eine höhere Dichte als die umgebende Luft bzw. die Luft in den Seifenblasen. Das Kohlendioxid bleibt also in der Schüssel drinnen, die Seifenblasen scheinen deshalb darüber zu schweben. Dadurch konnte das unsichtbare Gas erlebbar gemacht werden.



### Tipps:

Bei dem Versuch gibt es einige häufige Fehlerquellen, weshalb er u. U. erst beim zweiten Mal gelingt. Folgende Fehler sollten vermieden werden:

- Es sollte möglichst kein Luftzug in der Klasse herrschen, da sonst das  $\text{CO}_2$  in der Schüssel schnell wieder „verblasen“ werden könnte. Deshalb sollte man sich auch während des Versuchs möglichst wenig bewegen, die Schüssel ruhig stehen lassen und keinesfalls in die Schüssel blasen.
- Die Seifenblasen dürfen nicht von oben in die Schüssel geblasen werden. Am besten geht man neben dem Tisch in geringer Entfernung in die Knie und lässt die Seifenblasen in einem Bogen in die Schüssel sinken (siehe Grafik). Diese zu treffen kann schwieriger sein, als man glaubt.
- Nur eine Person soll Seifenblasen in die Schüssel blasen. Machen das zwei Personen gleichzeitig, kommt es zu Luftverwirbelungen, die den Versuch negativ beeinflussen.
- Nicht zu sehr mit Natron/Backpulver und Essig sparen, sonst entsteht zu wenig  $\text{CO}_2$ .
- Vor einem zweiten Versuch muss die Schüssel wieder ausgewaschen werden. Eine Entsorgung über das Waschbecken ist unbedenklich.



# Luftwaage

Versuch 2 

Schulstufe: ab 5.-6. / Dauer: 10 Minuten / Ort: Klasse

## Aufgabe:

Bau einer einfachen Apparatur zum „Abwiegen“ von Luft

## Ziele:

- Erkennen, dass Luft eine Masse hat
- Erkennen, dass Luft nicht „Nichts“ ist

## Material:

- gerades, starres Stäbchen (zB Holz) mit 50-60 cm Länge
- zwei identische Luftballons mit unterschiedlichen Farben
- zwei identisch kleine Holz-Wäscheklammern
- (Woll)fäden
- Büroklammer (Standardgröße)
- Kleber, Schere

## Vorbereitende Arbeiten:

Schritt 1: Das Stäbchen wird exakt in der Mitte mit einem Stift markiert. Je einen Zentimeter von den Enden des Stäbchens entfernt wird ebenfalls je eine Markierung angebracht.

Schritt 2: Zwei Fäden mit je 30 cm Länge werden abgeschnitten und an den Markierungen an den Enden des Stäbchens angeknötet. Mit einem Tröpfchen Kleber wird der Faden fixiert, damit er nicht verrutscht. Dabei muss die Menge des Klebers an beiden Seiten möglichst gleich groß sein.

Schritt 3: Ein längerer Faden wird auf dieselbe Weise an der Mittelmarkierung fixiert. Die Waage ist fertig.

## Ablauf:

Schritt 1: Die Waage wird mit dem langen Faden in der Mitte im Raum so aufgehängt, dass kein Gegenstand (zB Wand, Tafel ...) in direkter Nähe ist. Ansonsten würde die elektrostatische Anziehung die Ballons später beeinflussen. Idealerweise hängt die Waage „frei“ im Raum, zB fixiert an einem Haken in der Decke oder von einer Lampe herab.

Schritt 2: Je ein Ballon wird mit einer Klammer am unteren Ende der seitlichen Fäden fixiert. Wurde die Waage exakt gebaut, müsste sie nun bereits im Gleichgewicht sein. Wenn das nicht der Fall ist, muss die Befestigung der Fäden am Stäbchen so lange justiert werden, bis das Gleichgewicht besteht.

Schritt 3: Ein Ballon wird wieder entfernt. Dabei hält eine andere Person die Waage, damit sie nicht kippt. Der Ballon wird möglichst groß aufgeblasen und verknotet.

Schritt 4: Der volle Ballon wird mit der Klammer wieder am Faden befestigt und die Waage vorsichtig ausgelassen. Da die Masse an Luft im aufgeblasenen Ballon nun



höher ist als im leeren, müsste die Seite mit dem vollen Ballon nach unten gehen.

Schritt 5: Nun wird eine Büroklammer leicht aufgebogen und zum noch leeren Ballon dazu gehängt. Die Waage kommt dadurch wieder ungefähr ins Gleichgewicht.

### Ergebnis:

Der Versuch hat gezeigt, dass Luft eine Masse hat, die man mit der Luftwaage nachweisen kann. Diese Masse entspricht ungefähr jener einer Standard-Büroklammer.

### Tipps:

- Je exakter die Waage gebaut wurde, desto unproblematischer der Versuch
- Je größer der Ballon aufgeblasen, desto deutlicher das Ergebnis



# Troposphärenhöhe schätzen

Outdoor 1



Schulstufe: ab 7.-8. / Dauer: 30 Minuten inkl. Vorber. / Ort: zB Erhebung bei Schulausflug

## Aufgabe:

Die Höhe der Troposphäre einschätzen

## Ziele:

- Größendimensionen richtig einschätzen und dreidimensionales Denken fördern
- Die geringe Mächtigkeit der untersten Atmosphärenschicht erkennen
- Ein Gefühl für den „Bereich“ des Wetters bekommen

## Material:

- Karte eines zu besuchenden erhöhten Punktes (inkl. min. 12 Kilometer Umkreis)
- Arbeitsblatt „Die Atmosphäre“
- Zirkel
- Lineal

## Ablauf:

### Schritt 1:

Dieser Schritt kann gemeinsam mit den SchülerInnen erarbeitet werden oder als Vorbereitung für die Übung schon durch die Lehrperson erfolgen: Man benötigt eine Landkarte, auf der zentral ein erhöhter Punkt liegt, den man mit den SchülerInnen besucht (hohes Gebäude, Hügel, Aussichtswarte, Schlossberg in Graz ...). Um diesen Punkt muss ein Umkreis von min. 12 Kilometern auf der Karte noch sichtbar sein.

### Schritt 2:

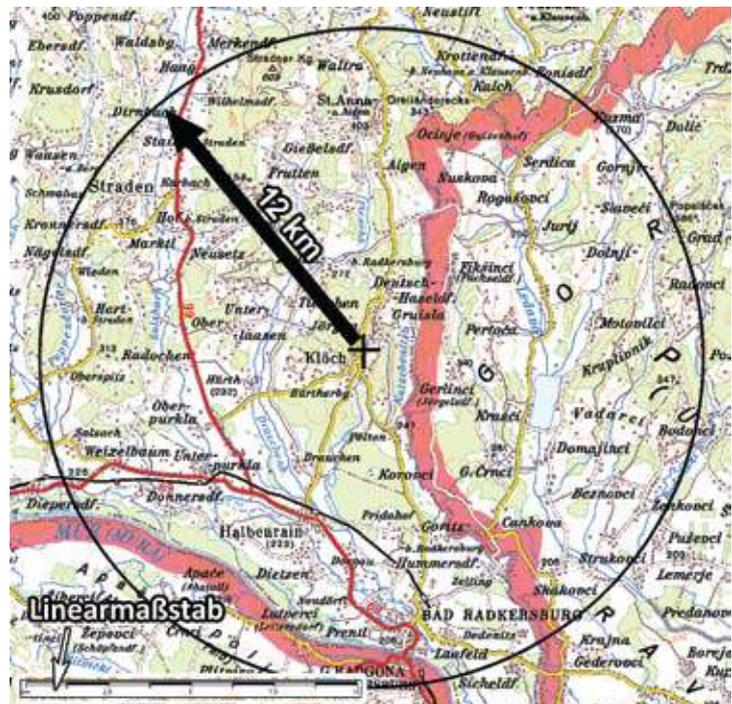
Mit Hilfe des Linearmaßstabes in der Karte wird mit dem Lineal eine Strecke von 12 Kilometern auf der Karte ermittelt. Diese Entfernung wird mit dem Zirkel als Kreis um den zentralen Punkt herum eingetragen. Es entsteht also ein Umkreis von 12 Kilometern um den zentralen Punkt.

### Schritt 3:

Nun werden auffällige Objekte auf der Karte gesucht, die ungefähr in 12 Kilometern Entfernung von dem zentralen Punkt liegen, den man besucht (zB ein Kirchturm, ein Gipfel, ein Sendemast...)

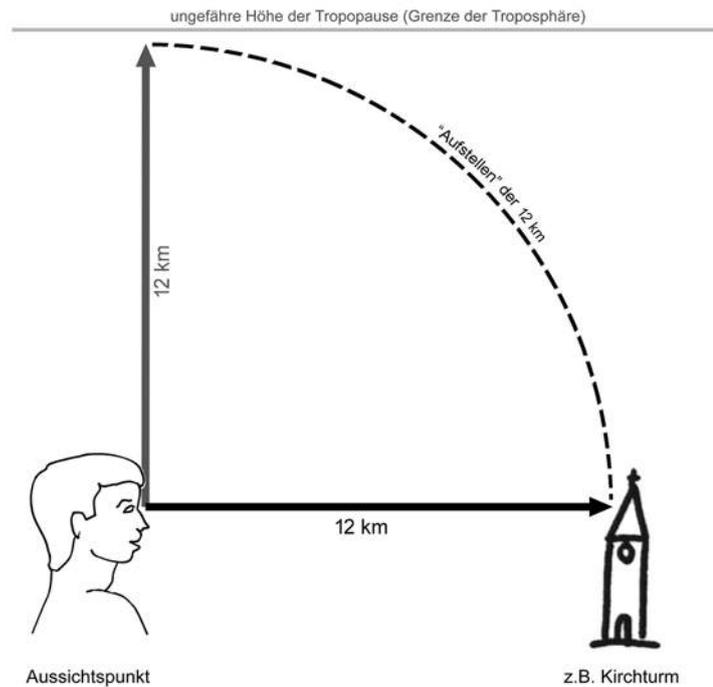
### Schritt 4:

Befindet man sich dann an dem zentralen Punkt (also zB auf der Aussichtswarte, am Schlossberg ...), wird dieses Objekt im echten Panorama gesucht. Dadurch erhält man nun eine Vorstellung, wie weit 12 Kilometer sind.



### Schritt 5:

Nun kommt der schwierigste Teil: Man versucht diese Entfernung, also die 12 Kilometer, in Gedanken „aufzustellen“. Dazu braucht es etwas Vorstellungskraft und räumliches Denken. Wenn man es geschafft hat, sich diese 12 Kilometer nach oben vorzustellen, kann man sich vergegenwärtigen, dass die unterste Lufthülle der Erde - also die lebenswichtige Troposphäre - hier dann bereits zu Ende ist (je nach Jahreszeit ist sie bei uns 12-14 Kilometer mächtig). Unser luftabhängiges Leben und auch das gesamte Wetter spielt sich großteils in dieser dünnen Schicht der Atmosphäre ab. Auch Abgase, die wir der Luft zuführen, verbleiben großteils in dieser geringmächtigen Schicht, die durch die Tropopause von der nächsten Schicht, der Stratosphäre, abgegrenzt wird.



### Schritt 6:

Das Arbeitsblatt „Die Atmosphäre“ kann durch die SchülerInnen optional noch bearbeitet werden, um zu zeigen, welche Schichten der Atmosphäre noch über der Troposphäre kommen. Dieser Schritt kann aber auch als Vorbereitung zur vorliegenden Aufgabe erfolgen.

### Schritt 7:

Teil 2 des Arbeitsblattes „Die Atmosphäre“ kann bei entsprechendem Wetter (hohe Wolkenbildung) bei dieser Übung auch miteinbezogen werden.

### Tipps:

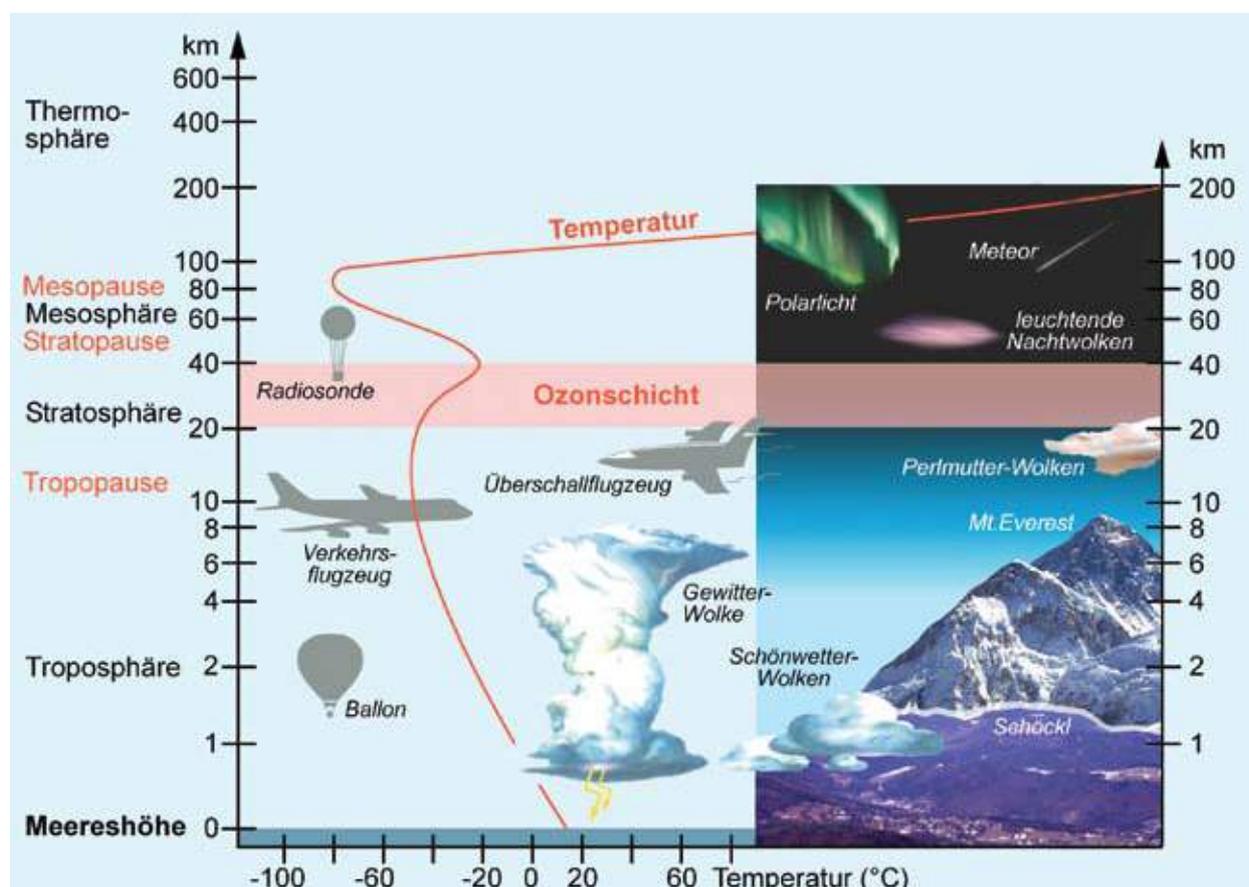
- Als Karte können analoge Vorlagen (amtliche Karte, Wanderkarte ...) verwendet werden oder digitale Werke (zB [www.amap.at](http://www.amap.at)), in denen man auch direkt Strecken abmessen kann. Vorkenntnisse für die Verwendung digitaler Karten sind hier von Vorteil.
- Die Verwendung von Linearmaßstäben in den Karten ist derer von numerischen Maßstäben (also Angaben wie „Maßstab 1:50.000“) vorzuziehen, da beim etwaigen Kopieren von Karten diese u. U. verkleinert oder vergrößert werden und die numerischen Maßstäbe dann nicht mehr korrekt sind.
- Gute Sicht über min. 12 Kilometer ist Voraussetzung für die Durchführung der Übung. Also aufs Wetter achten!

Die gesamte Atmosphäre ist mehrere 100 Kilometer hoch. Allerdings macht die lebenswichtige Troposphäre, also die unterste Atmosphärenschicht, nur einen sehr geringen Teil davon aus. Die Mächtigkeit der Troposphäre schwankt aber deutlich, abhängig von der Lufttemperatur in dieser Schicht. An den Polen ist sie im Schnitt ungefähr 8 Kilometer dick (im Winter bis zu 2 Kilometer niedriger als im Sommer), am Äquator hingegen 18 Kilometer. In unseren Breiten kann man von einer Mächtigkeit zwischen 12 und 14 Kilometern ausgehen.

### Aufgaben:

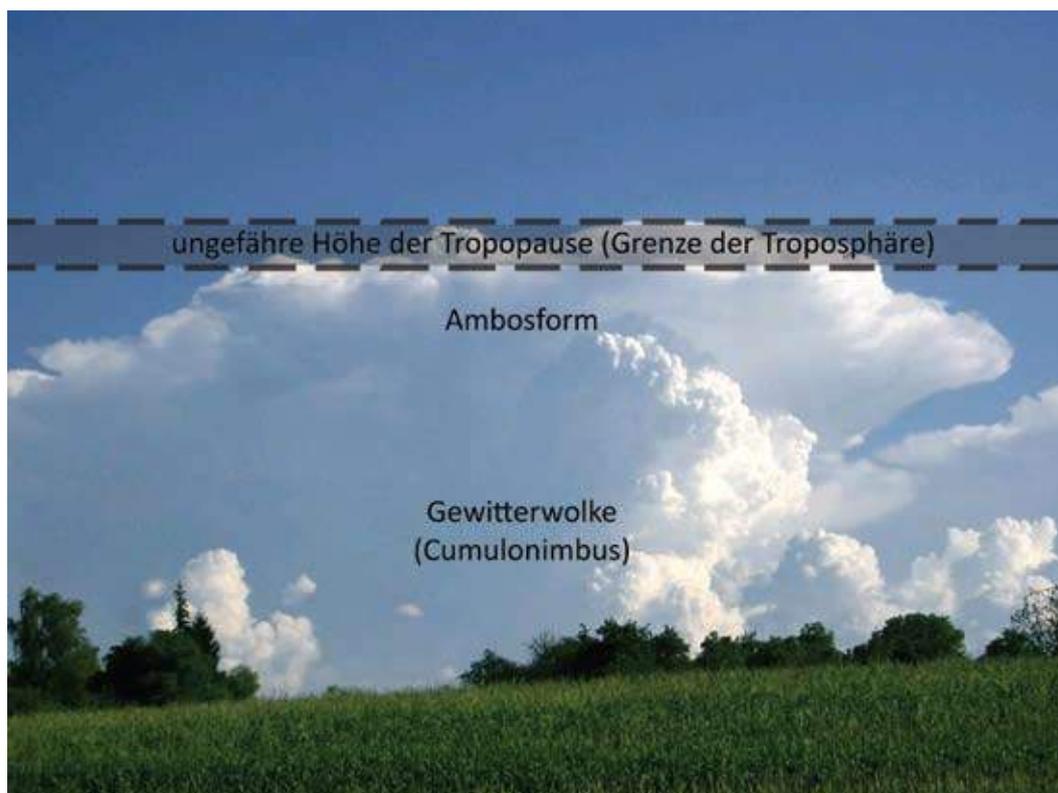
Versuche mit Hilfe der Grafik folgende Fragen zu beantworten (in der Grafik wurde eine logarithmische Höhenskala verwendet, um alle Atmosphärenschichten darstellen zu können):

Frage	Antwort
1.) In welcher Schicht der Atmosphäre spielt sich fast das gesamte Wetter ab?	
2.) Wie nennt man die Grenzschicht zwischen Stratosphäre und Mesosphäre?	
3.) In welcher Schicht der Atmosphäre liegt der Gipfel des Mount Everest?	
4.) An welcher Grenzschicht ist die Temperatur der Atmosphäre am geringsten?	
5.) In welcher Schicht der Atmosphäre leuchten die Polarlichter?	



LÖSUNGEN: 1.) Troposphäre / 2.) Stratopause / 3.) Troposphäre / 4.) Mesopause / 5.) Thermosphäre

Es gibt noch eine schnellere Methode, um die Höhe der Troposphäre zu erkennen. Einzige Voraussetzung: In einigen Kilometern Entfernung muss eine hohe Haufenwolke oder ein Gewitter entstehen. Dann erkennt man nämlich vom eigenen Standpunkt aus, dass sich dort sog. Cumulonimbus-Wolken bilden. Diese Haufenwolken können sich über die gesamte Troposphäre erstrecken. Wenn sie aber an die Tropopause - also die Grenze zur Stratosphäre - stoßen, können sie nicht mehr weiter aufsteigen, sondern breiten sich auf die Seite hin aus. Man sagt dann „die Wolke wird ambosförmig“.



Wenn man also eine Wolke entdeckt, die so aussieht wie am Bild, dann befindet sich an deren oberen Ende auch das obere Ende der Troposphäre.

# Atemluft-Messgerät

Versuch 3 

Schulstufe: ab 5.-6. / Dauer: 20 Minuten / Ort: Klasse

## Aufgabe:

Bau einer einfachen Apparatur zur Abschätzung des Atemvolumens

## Ziele:

- Erfahren, wie viel Luft in der Lunge ist
- Erkennen, dass die eigene Lunge im Laufe eines Tages von einer enormen Menge Luft durchströmt wird

## Material:

- Glasbehälter mit Deckel und möglichst großem Fassungsvermögen (zB 5 Liter)
- ein Trinkglas
- Kunststoffschlauch
- Wasserschüssel
- Wasser

## Ablauf:

Schritt 1: Die Schüssel wird bis zur Hälfte mit Wasser gefüllt.

Schritt 2: Der Glasbehälter wird auch mit Wasser gefüllt. Er muss ganz voll sein, deshalb u. U. mit Trinkglas Wasser ganz auffüllen.

Schritt 3: Der Glasbehälter wird nun mit dem Deckel verschlossen und mit der Öffnung nach unten in die Wasserschüssel gestellt. Unter Wasser wird nun der Deckel so entfernt, dass keine Luft in den Glasbehälter dringen kann. Er muss also ganz mit Wasser gefüllt bleiben.

Schritt 4: Eine Person hält den Glasbehälter in dieser Position, eine andere führt von unten ein Ende des Schlauchs unter Wasser in das Glas ein. Auch dabei darf keine Luft in den Glasbehälter gelangen.

Schritt 5: Eine Person hält weiterhin das Glas in dieser Position, während die andere nun durch den Schlauch Luft normal ins Glas hinein ausatmet (normales Ausatmen, ohne extra hineinzublase). Dadurch wird Wasser aus dem Glas verdrängt und das Glas füllt sich mit Luft. Wie viel Wasser konnte verdrängt werden? Wie viel Luft ist nun im Glas?



Schritt 6: Der Versuch wird wiederholt, nun aber mit tief Luft holen vor dem Reinblasen. Konnte das ganze Wasser aus dem Gefäß verdrängt werden?

### Ergebnis:

Mit einem Stift kann am Glas markiert werden, wer wie viel Luft mit einem Atemzug ins Glas blasen konnte. Es zeigt sich, dass unterschiedliche Personen unterschiedliche Atemkapazitäten haben. Der Versuch hat aber keine medizinische

Aussage (!), sondern veranschaulicht nur das ungefähre Luftvolumen eines Atemzuges, um zu erkennen, wie viel Luft wir täglich ein- und ausatmen.



### Tipps:

- Wenn der Glasbehälter zu klein ist, ist er schnell ganz mit Luft voll, bevor die Puste ausgeht.
- Wenn der Schlauch zu dünn ist, verhindert das u. U. ein vollständiges Ausatmen.

# CO<sub>2</sub> in der Atemluft

Versuch 4 

Schulstufe: ab 7.-8. / Dauer: 20 Minuten / Ort: Klasse

## Aufgabe:

Nachweisen, dass wir Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) ausatmen

## Ziele:

- Sichtbarmachen eines Teiles des Gasaustausches in der Lunge
- Das Gas Kohlenstoffdioxid und dessen Anteil an der Luft kennen lernen
- Einbeziehen des Themas Innenraumluft in die Betrachtungen

## Material:

- Arbeitsblatt „CO<sub>2</sub> in der Atemluft“
- Luftgütemessgerät / CO<sub>2</sub>-Messgerät (ideal mit Loggerfunktion)
- Laptop oder PC, u. U. Beamer

## Ablauf:

### Schritt 1:

Eine Luftgütemessgerät/CO<sub>2</sub>-Messgerät wird in der Klasse positioniert. Dieses Gerät ist speziell zur Überwachung der Luftgüte in Innenräumen konzipiert und detektiert den Kohlenstoffdioxidgehalt im Luftgemisch. Bei zu hoher CO<sub>2</sub>-Belastung ertönt ein Warnsignal bzw. leuchtet eine Signallampe. Dann sollte gelüftet werden.

Ideal ist für den Versuch ein Gerät, das man auch an einen PC/Laptop anschließen kann, um über Bildschirm oder einen Beamer direkt die Schwankung des aktuellen Kohlenstoffdioxidgehalts darzustellen (siehe „Tipps“ unten).



### Schritt 2:

Die SchülerInnen verfolgen den Verlauf des Kohlenstoffdioxidgehalts in der Luft im Klassenzimmer (zB über Beamer) über ca. 15 Minuten. Im Arbeitsblatt „CO<sub>2</sub> in der Atemluft“ werden die Werte eingetragen.



### Schritt 3:

Eine Person haucht für ca. 2 Sekunden das Messgerät an. Der Anstieg der Kurve im Diagramm wird verfolgt, u.U. überschreitet der gemessene Wert sogar den Messbereich des Geräts. Der Anstieg beweist, dass wir CO<sub>2</sub> ausatmen. Nach kurzer Zeit sinkt die Kurve wieder.

## Tipps:

- Das Umwelt-Bildungs-Zentrum Steiermark (UBZ) verleiht u. a. CO<sub>2</sub>-Messgeräte kostenlos an steirische Schulen. Details dazu unter: [www.ubz-stmk.at/materialien-service/messgeraete](http://www.ubz-stmk.at/materialien-service/messgeraete)
- Vor Verwendung im Unterricht muss je nach Modell die CO<sub>2</sub>-Messgerät am verwendeten Computer angeschlossen bzw. die dazugehörige Software installiert werden. Anleitungen dazu sind der jeweiligen Betriebsanleitung zu entnehmen.
- Das Thema „Innenraumluft“ ist zwar nicht Teil dieser Unterrichtsmappe, das UBZ bietet aber auch dazu Materialien an: [www.ubz-stmk.at/luft](http://www.ubz-stmk.at/luft)

Je nach verwendetem Modell muss die CO<sub>2</sub>-Ampel bereits am PC/Laptop angeschlossen und die Software installiert sein.

Der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft wird bei diesen Messgeräten meist in ppm (parts per million) angegeben. 1 ppm ist also ein Teilchen von 1 Million bzw. 0,0001 %. Zeigt die Messung zB 1500 ppm an, dann entspricht das 0,15 %.

**Schritt 1:**

Vor Beginn der Messung wird der Raum ordentlich gelüftet (am besten Querlüften - also Türen und Fenster öffnen).

**Schritt 2:**

Mit Hilfe der Bedienungsanleitung des Geräts werden Software und CO<sub>2</sub>-Ampel gestartet und die Messung begonnen. Diesen Schritt kann die Lehrperson auch schon vorbereiten.

**Schritt 3:**

Beobachtet nach Start der Messung über 15 Minuten die angezeigten Werte und tragt sie in die Tabelle ein. Beantwortet danach die Frage unten.

<b>Ort der Messung:</b>		
<b>Anzahl der Personen im Raum:</b>		
	<b>Kohlenstoffdioxidgehalt in ppm</b>	<b>Kohlenstoffdioxidgehalt in %</b>
zum Beginn der Messung		
nach 1 Minute		
nach 5 Minuten		
nach 10 Minuten		
nach 15 Minuten		

> Warum stieg der Wert während der Messung an?

**Schritt 4:**

Eine Person haucht nun für ca. 2 Sekunden das Messgerät an. Verfolgt den Anstieg der Kurve im Diagramm und beantwortet folgende Fragen:

> Warum stieg die Kurve plötzlich so massiv an?

> Welchen Kohlenstoffdioxidgehalt hat die Außenluft im Durchschnitt? Recherchiert dazu!

> Warum stieg der Wert während der Messung an?

*Die Personen im Raum atmen alle CO<sub>2</sub> aus, das sich dann im Innenraum sammelt und konzentriert. In kurzer Zeit macht sich das messtechnisch bemerkbar. Zu hoher CO<sub>2</sub>-Gehalt führt zu Nachlassen der Konzentrationsfähigkeit, Müdigkeit bis hin zu Kopfweh und Schwindel. Regelmäßiges Lüften hilft.*

> Warum stieg die Kurve plötzlich so massiv an?

*Hier wurde ausgeatmete Luft konzentriert auf das Gerät gehaucht, ohne dass sie sich mit der Raumluft noch richtig verdünnen konnte. Deshalb schnellte die Kurve nach oben. Der Versuch zeigt die hohe Konzentration von CO<sub>2</sub> in der direkt ausgeatmeten Luft. Da die Ausatemluft ca. 4 % CO<sub>2</sub> beinhaltet, das sind 40 000 ppm, liegt das weit über dem Messbereich der üblichen CO<sub>2</sub>-Ampeln.*

> Welchen Kohlenstoffdioxidgehalt hat die Außenluft im Durchschnitt? Recherchiert dazu!

*ca. 0,04 %, also 400 ppm*

# Einstieg „Luftverschmutzung“

Übung 2



Schulstufe: ab 5.-6. / Dauer: 10 Minuten / Ort: Klasse

## Aufgabe:

Es wird verglichen, welche Entscheidungsmöglichkeiten jeder von uns bei der Aufnahme von verschmutztem Wasser und verschmutzter Luft hat. Die Übung eignet sich gut als Einstieg ins Thema Luftverschmutzung.

## Ziel:

- Eigenverantwortung und eigene Entscheidungsfähigkeit erkennen
- Die Notwendigkeit sauberer Luft erfahren
- Unsere Abhängigkeit von der Ressource Luft erleben

## Material:

- zwei verschließbare Gläser (zB Marmeladegläser)
- ein Strohhalm pro SchülerIn
- runder Teppich oder Tuch
- Leitungswasser
- mit zB Erde verschmutztes Wasser

## Vorbereitende Arbeiten:

Einige Tage vor der Übung wird in einem der Gläser verschmutztes Wasser „angesetzt“, indem man Erde, Gras, organisches Material ... in das Wasser legt. Dadurch beginnt es dann (mit verschlossenem Deckel) auch unangenehm zu riechen.

## Ablauf:

Schritt 1: In der Mitte eines Sesselkreises wird auf einem Teppich das Glas mit schmutzigem Wasser positioniert. In das andere Glas füllt man vor den Augen der SchülerInnen frisches Leitungswasser ein. Das Glas wird neben das andere gestellt.



Schritt 2: Um die beiden Gläser wird für jede Person ein Strohhalm gelegt.

Schritt 3: Es wird erklärt, dass es sich um sauberes und schmutziges Wasser handelt. Jeder kann am schmutzigen Wasser auch riechen.

Schritt 4: Nun wird den SchülerInnen angeboten, mit einem Strohhalm das saubere Wasser zu trinken. Am besten macht das über „Pipettieren“. Dazu steckt man den Strohhalm ins Glas, verschließt das obere Ende mit dem Finger luftdicht, hebt den Strohhalm heraus, hält das untere Ende über den Mund und entfernt den Finger vom oberen Ende. Das Wasser tropft in den Mund und man verhindert damit, dass Speichel der teilnehmenden Personen in das Glas zurückfließt.



Schritt 5: Nun wird den SchülerInnen angeboten, mit dem Strohhalm das schmutzige Wasser zu trinken. Im Normalfall lehnen die SchülerInnen dieses Angebot ab. Ein bis zwei „DraufgängerInnen“ wollen es dann meistens aber doch wissen und meinen, das schmutzige Wasser trinken zu wollen. Diese muss man mit der Ankündigung einer Durchfallserkrankung sanft davon abhalten.

Schritt 6: Nun wird der Sinn dieser Übung erklärt: Wenn wir schmutziges Wasser vor uns haben, können wir selbst entscheiden, ob wir es trinken oder nicht. Bei der Luft geht das nicht. Wenn wir zB an einer stark befahrenen Straße stehen (Bushaltestelle), müssen wir trotzdem die Luft einatmen.

Den Einwand, dass man ja die Luft anhalten könne, entgeht man, indem man die SchülerInnen bittet, so lange wie möglich die Luft anzuhalten. Dadurch wird klar, dass das maximal eine Minute geht, dann muss man unweigerlich wieder einatmen.

Wir müssen also darauf achten, dass die Luft, die wir einatmen, so sauber wie möglich ist - genauso wie das beim Wasser für uns selbstverständlich ist.



### **Mögliche Zusatzthemen:**

- Gibt es Regionen auf der Erde, wo die Menschen selbst beim Wasser nicht entscheiden können, ob sie es trinken sollen oder nicht?
- Wo können wir selber sehr wohl entscheiden, ob wir verschmutzte Luft einatmen wollen oder nicht? Das Thema Rauchen kann hier angesprochen werden.

# Niederschlagsprofil (Quelle: www.schulatlas.at)

Übung 3



Schulstufe: ab 7.-8. / Dauer: 20 Minuten, 40 Minuten (inkl. Schritte 3 und 4) / Ort: Klasse

## Aufgabe:

Ein Diagramm der Niederschlagsmengen in Regionen der Steiermark wird gezeichnet

## Ziele:

- Diagrammdarstellungen üben und Ergebnisse mit Karten vergleichen
- Unterschiedliche jährliche Niederschlagsmengen innerhalb der Steiermark kennen lernen
- Die höheren Niederschlagsmengen im Nordwesten des Bundeslandes und den Zusammenhang mit der Luftgüte kennen lernen

## Material:

- Arbeitsblatt „Niederschlagsprofil“ inkl. der beiden Karten
- braune und blaue Stifte
- Lineal

Die Karte „Mittlere Jahressummen der Niederschläge in mm in der Periode 1971-2000“ zeigt die unterschiedliche Verteilung von Niederschlägen in der Steiermark. Grob gesagt ist es im Nordwesten feuchter als im Südosten. Diese Verteilung kann man auch in einem Diagramm einfach erkennbar machen, wenn man ein sog. Niederschlagsprofil zeichnet.

Ein Niederschlagsprofil ist eine besonders anschauliche Form der Darstellung der räumlichen Abwandlung der Niederschlagsverhältnisse. Der Vorteil liegt in der einfachen Konstruktion.

## Ablauf:

### Schritt 1:

Die SchülerInnen erstellen mit Hilfe des Arbeitsblattes „Niederschlagsprofil“ in PartnerInnenarbeit ein Niederschlagsprofil. Man benötigt dazu Niederschlagswerte von geeigneten Messstationen und deren Seehöhen. Diese Daten werden in der Tabelle im Arbeitsblatt bereitgestellt.

### Schritt 2:

Die Ergebnisse werden mit dem Lösungsblatt verglichen. Wurde die Übung korrekt ausgeführt, zeigt sich eine deutliche Abnahme der Niederschlagsmengen von Altaussee bis Fürstenfeld.

### Schritt 3:

Die Karte „Mittlere Jahressummen der Niederschläge in mm in der Periode 1971-2000“ wird gezeigt, um die Ergebnisse der Diagrammerstellung auch mit einer Kartendarstellung vergleichen zu können. Die SchülerInnen können nun noch weitere Regionen mit sehr hohen bzw. sehr niedrigen Niederschlagsmengen in der Karte suchen.

### Schritt 4:

Die Auswirkungen auf die Luftgüte werden besprochen. In Regionen, in denen weniger Niederschläge fallen, ist auch die „Lufterneuerung“ geringer, da niederschlagsbringende Fronten auch abgasbelastete Luft austauschen. In vielen Regionen mit wenig Niederschlägen (zB südöstliches Alpenvorland) liegen aber auch die Bevölkerungsschwerpunkte der Steiermark, was zur Luftgüteproblematik wesentlich beiträgt. Dieser Umstand kann durch Vergleich der Niederschlagskarte mit der Karte „EinwohnerInnenzahlen der Steiermark nach Gemeinden 2015“ verdeutlicht werden. Die Karten können auch überlagert werden (zB auf Overhead-Folien).

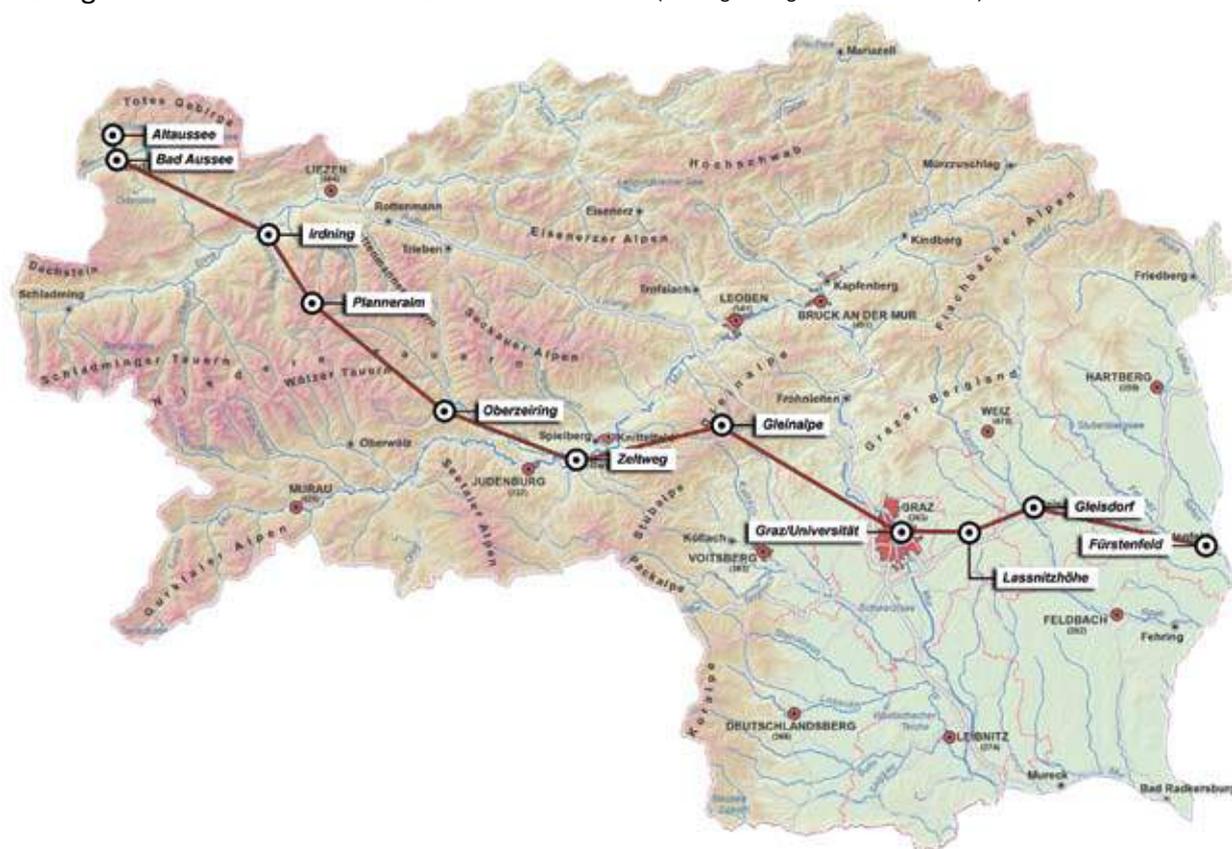
Zeichnet ein Niederschlagsprofil durch die Steiermark, um die Abnahme der Niederschlagsmengen von Nordwesten nach Südosten zu zeigen.

### Schritt 1:

Die Niederschlagswerte geeigneter Messstationen findet ihr in der folgenden Tabelle. Zu jeder Station findet ihr deren Seehöhe und den gesamten Niederschlag, der dort in einem Jahr im Mittel fällt. Angegeben werden diese Niederschlagswerte in Millimeter (mm). Das bedeutet, dass in einem Jahr das Wasser zB in Altaussee 2,166 Meter hoch stehen würde, wenn der Niederschlag nicht abfließen, versickern oder verdunsten würde.

Station	Seehöhe (m)	Jahresniederschlag (mm)
Altaussee	950	2166
Bad Aussee	640	1494
Irdning	710	1034
Planneralm	1600	1428
Oberzeiring	930	896
Zeltweg	677	842
Gleinalpe	1590	1309
Graz/Universität	369	872
Lassnitzhöhe	535	907
Gleisdorf	380	843
Fürstenfeld	276	797

Die Lage der Messstationen findet ihr in der Karte (Kartengrundlage: [www.schulatl.at](http://www.schulatl.at)):



### Schritt 2:

Seht euch das vorbereitete leere Koordinatennetz auf der nächsten Seite an. Auf der X-Achse sind die Messstationen eingetragen. Die Entfernungen zwischen ihnen entsprechen den realen Distanzen zwischen den Messstationen (rote Linien in der Steiermark-Karte). Auf der linken Y-Achse ist die Seehöhe eingetragen, auf der rechten Y-Achse finden sich die Niederschlagswerte.

### Schritt 3:

Tragt zuerst mit Hilfe des Lineals die Seehöhen (linke Skala) zu den entsprechenden Stationen ein. Verbindet dann die Punkte zB mit einem braunen Stift geradlinig miteinander. Auf diese Weise entsteht ein vereinfachtes Höhen-Profil entlang der roten Linien in der Karte durch die Steiermark von Nordwesten nach Südosten. Ihr könnt die Fläche unterhalb dieses Profils färben oder schraffieren.

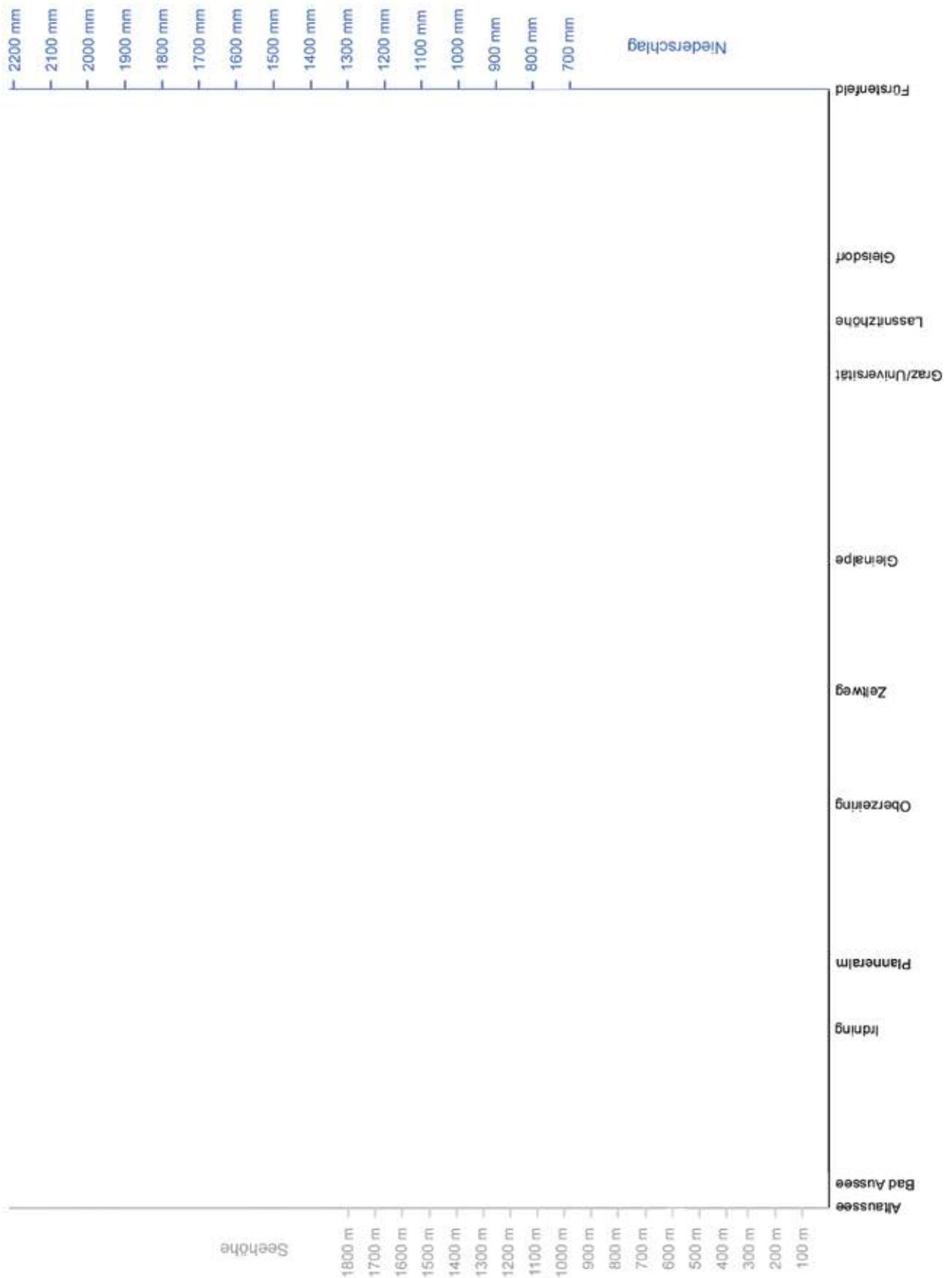
### Schritt 4:

Tragt nun mit Hilfe des Lineals die Niederschlagswerte (rechte Skala) zu den entsprechenden Stationen ein. Verbindet dann die Punkte mit einem blauen Stift geradlinig miteinander. Damit ist schon das Endergebnis erreicht, das Niederschlagsprofil.

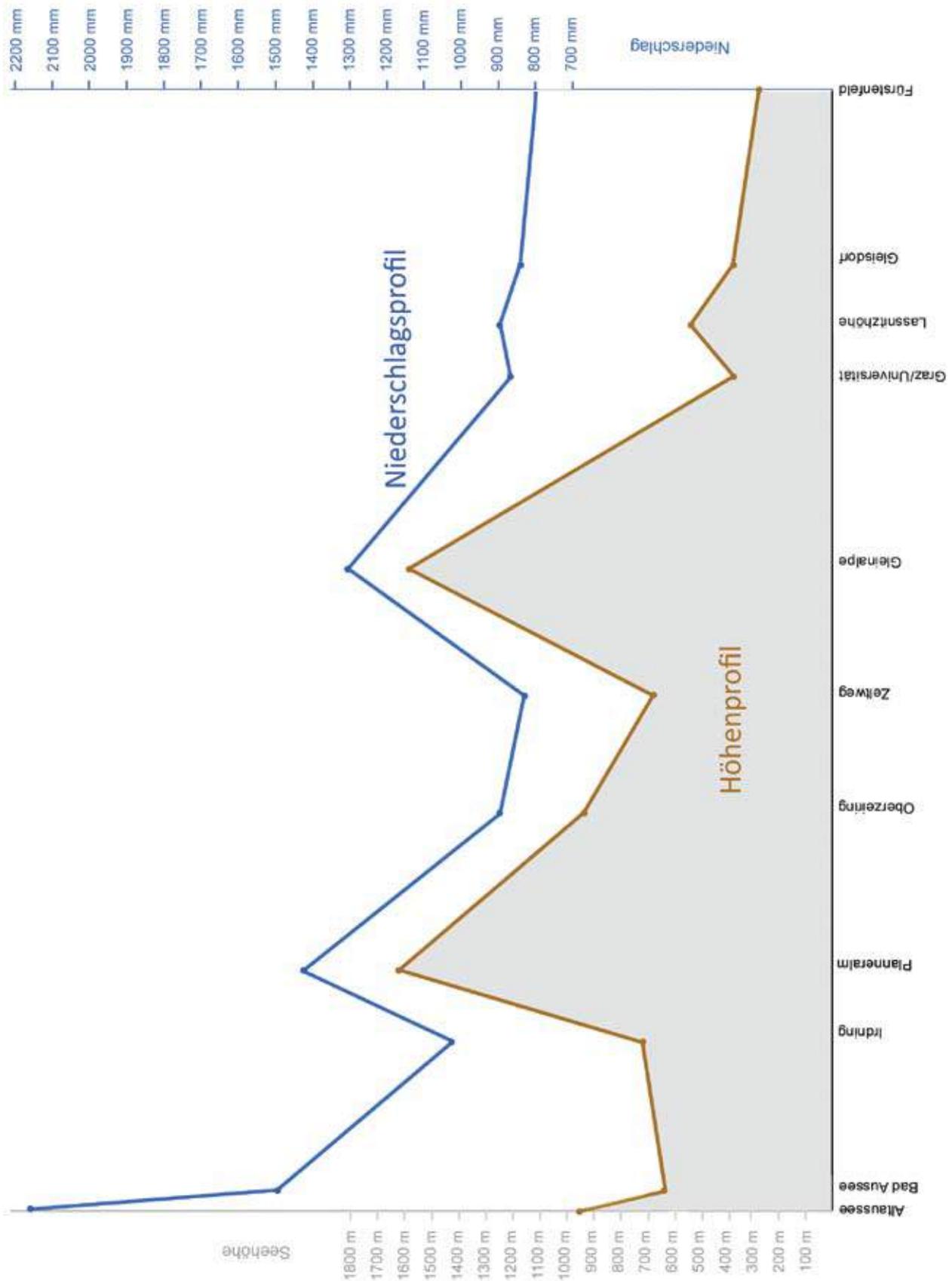
Wenn ihr die Aufgabe richtig ausgeführt habt, wird deutlich erkennbar, dass der Niederschlag von Nordwesten nach Südosten ab- und in den einzelnen Regionen jeweils mit steigender Seehöhe zunimmt!

Arbeitsblatt „Niederschlagsprofil“ zur gleichnamigen Übung (3/3)

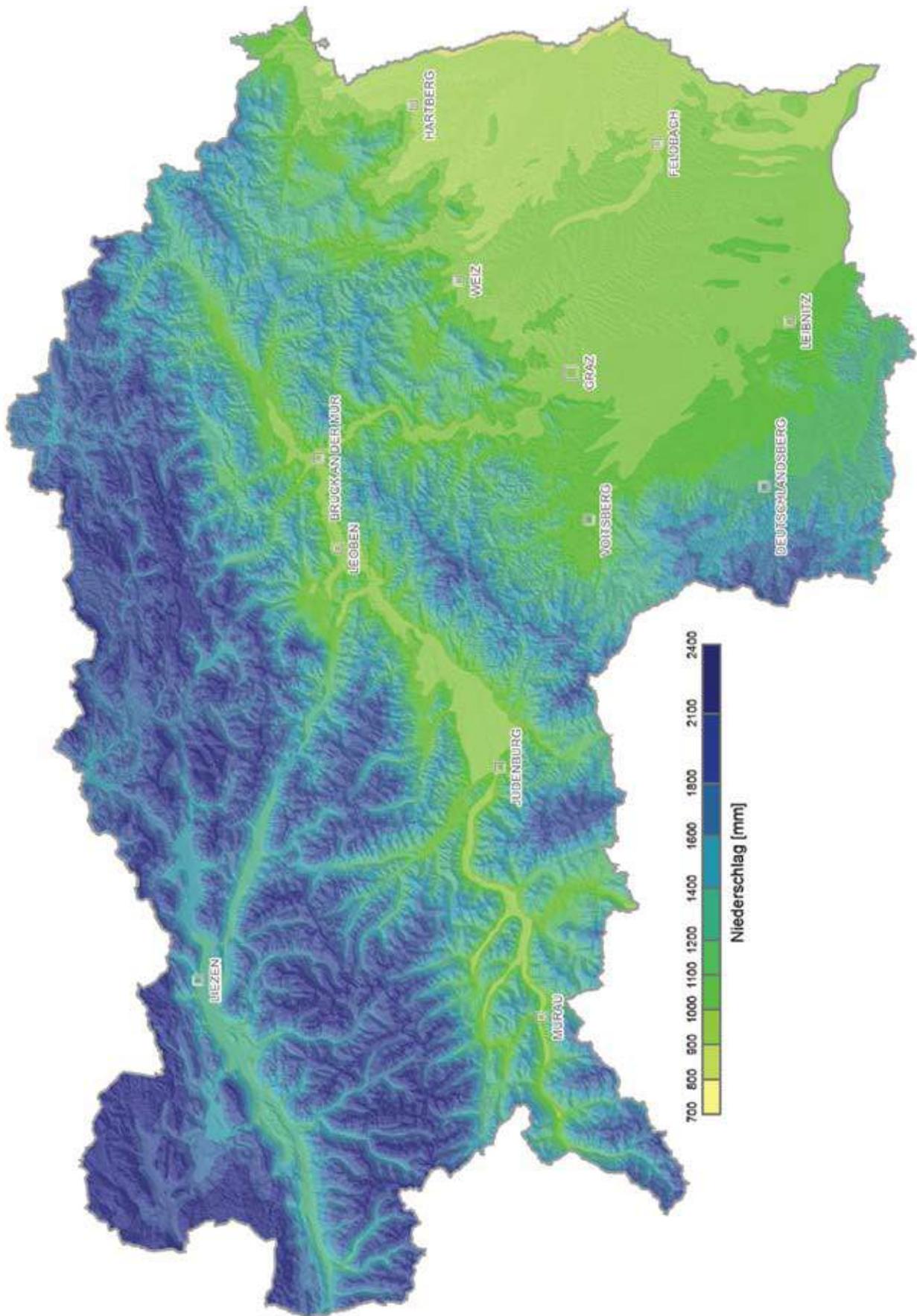
Tragt die Werte aus der Tabelle in das Koordinatennetz ein!



So sollte das Endergebnis aussehen:

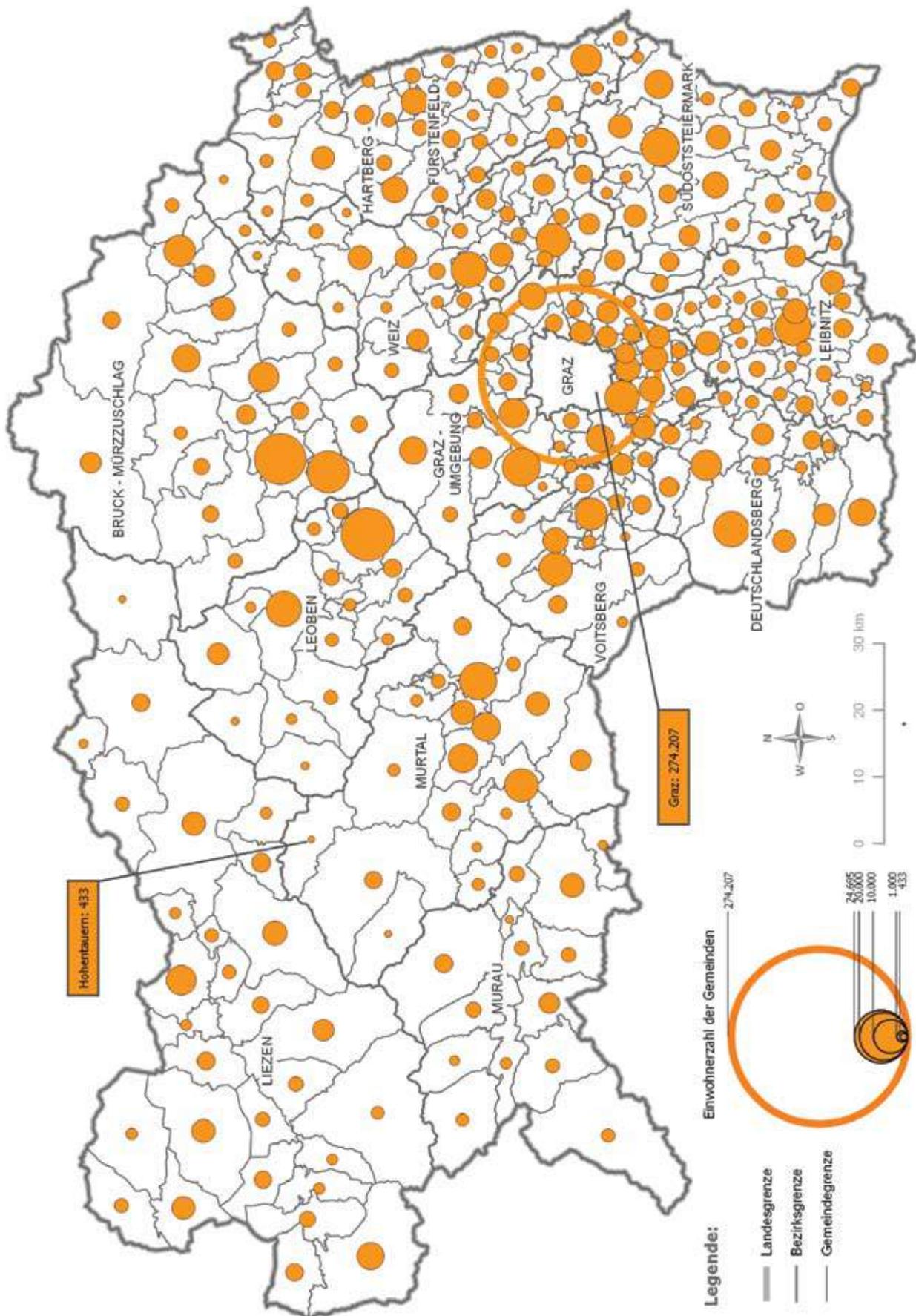


Mittlere Jahressummen der Niederschläge in mm in der Periode 1971-2000  
zur Übung „Niederschlagsprofil“ - Quelle: Klimaatlas Steiermark



# EinwohnerInnenzahlen der Steiermark nach Gemeinden 2015

zur Übung „Niederschlagsprofil“ - Quelle: Schulatlas Steiermark (www.schulatlas.at)



# Zeitungsartikel sammeln

Übung 4 

Schulstufe: ab 5.-6. / Dauer: 15 Minuten (ohne Vorbereitungszeit) / Ort: Klasse

## Aufgabe:

Ist ein Luft-Jahresprojekt geplant, werden in dessen Vorfeld bzw. während des Projekts Zeitungsartikel gesammelt, die sich dem Thema Luftverschmutzung widmen.

## Ziele:

- Medien aktiv aufarbeiten und behandelte Themen herausfiltern
- Sich kritisch mit Medienberichten befassen
- Antworten finden, warum v. a. zu bestimmten Jahreszeiten das Thema Luftverschmutzung stärker medial behandelt wird

## Material:

gesammelte Zeitungsartikel zum Thema Luftverschmutzung

## Vorbereitende Arbeiten:

Wenn das Thema Luft ein ganzes Jahr über einen Projektschwerpunkt bildet, werden die SchülerInnen beauftragt, von Schulbeginn an auf Zeitungsartikel zu achten, die sich dem Thema Luftverschmutzung, Luftgüte, Feinstaub usw. widmen, diese (mit Datum) auszuschneiden und zu sammeln. Die Lehrperson kann das aber auch vorbereitend schon im Vorfeld eines Projektes machen. Bis ins Frühjahr werden dann alle Artikel in der Klasse gesammelt.

## Ablauf:

**Schritt 1:** Auf der Tafel werden alle 12 Monate aufgeschrieben und eine Strichliste dazu erstellt. Dann liest jede/r SchülerIn der Reihe nach den Titel eines Zeitungsartikels und das Datum seines Erscheinens laut vor, so lange bis alle gesammelten Artikel verbraucht sind. Ist der Artikel im Jänner erschienen, bekommt der Jänner einen Strich in der Strichliste, ist er im März erschienen, bekommt der März einen Strich usw.

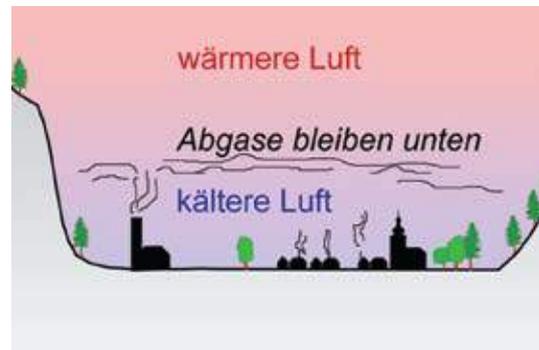
**Schritt 2:** Bei ausreichend vorhandenen Artikeln wird bald klar, dass das Thema medial v. a. in den Monaten November bis Februar besonders stark behandelt wird.

**Schritt 3:** Die Frage, warum dem so sein könnte, wird in den Raum gestellt. Häufige Antworten sind etwa: „Im Winter wird mehr geheizt“ oder „Im Winter wird weniger mit dem Rad und mehr



mit dem Auto gefahren“. Das sind richtige Antworten, doch der Hauptgrund liegt woanders, denn selbst wenn im Sommer gleich viel geheizt werden würde oder gleich wenig Rad gefahren werden würde wie im Winter, gäbe es trotzdem im Winter mehr Berichte zum Thema Luftverschmutzung, weil es eben dann auch immer höhere Messwerte von Luftschadstoffen (außer beim Ozon) gibt.

Schritt 4: Die Frage wird aufgelöst. Grund für die schlechtere Luftgüte im Winter ist bei uns v. a. die Witterung in der kalten Jahreszeit. Um diese Tatsache darzustellen, wird der Versuch 5 „Bau eines Inversionsmodells“ angehängt. Die Erkenntnis, die dann in den Köpfen verankert werden soll: *„Unsere Luft in weiten Teilen der Steiermark muss besonders geschont werden, da naturräumliche Faktoren die Situation zusätzlich erschweren“.*



# Bau eines Inversionsmodells

Versuch 5 

Schulstufe: ab 5.-8. / Dauer: 25 Minuten / Ort: Schulklasse

## Aufgabe:

Bau eines einfachen Landschaftsmodells, in dem man eine Inversion entstehen lässt

## Ziele:

Erklären, warum Becken- und Tallandschaften in Bezug auf die Schadstoffausbreitung benachteiligt sind und warum die Luftgüte im Winter in der Regel schlechter ist

## Material:

- zwei kleine Aquarien
- Kühlakku in Kühltasche
- Handwärmer (Taschenwärmer, Thermopad)
- Sand
- Spielhäuser (zB Monopoly)
- zwei Innen-Außenthermometer (mit Kabel)
- zwei (Holz)platten als Deckel
- „Babyraketen“ als Rauchquelle
- Feuerzeug
- Infrarotlampe, evtl. Fön/Wasserzerstäuber
- evtl. Kärtchen „Winter“ und „Sommer“
- evtl. Staubzucker und Küchensieb

## Ablauf:

**Schritt 1:** Beide Aquarien werden bis zur Hälfte mit Sand gefüllt. Auf einer Seite der Aquarien wird ein Berg gebildet, die andere Seite wird zum Tal.

**Schritt 2:** Im „Winter-Aquarium“ wird ein gefrorener Kühlakku ins Tal gelegt, im „Sommer-Aquarium“ ein in Gang gesetzter Handwärmer (Bild 2). Beide werden nur so leicht mit Sand bedeckt, dass ihre Oberfläche noch rausschaut.

**Schritt 3:** In die Täler werden mit Spielhäusern Siedlungen gebaut, auf den Bergen ein paar Einzelhäuser. Wenn man es noch anschaulicher machen will, kann man mit Staubzucker im Winter-Aquarium eine Schneedecke nachstellen (Bild 3).

**Schritt 4:** In jedes Aquarium wird ein Temperaturfühler der Digital-Thermometer gehängt. Der Fühler soll jeweils knapp über dem Talboden schweben, um die Lufttemperatur im Tal zu messen (Bild 4). Die Messgeräte selbst werden neben den Aquarien auf den Tisch gestellt.

**Schritt 5:** Die Aquarien werden mit Deckeln abgedeckt (Bild 5). In einer Wartezeit von ca. 5 Minuten lässt man nun die Luft im Winter-Aquarium abkühlen, die im Sommer-Aquarium sich erwärmen. Liegen die Taltemperaturen zwischen den beiden Aquarien einige Grad Celsius auseinander (Bild 6), kann man den Versuch fortsetzen. In der Wartezeit kann man erklären, dass kühlere Luft (Winter)



Bild 1



Bild 2



Bild 3



Bild 4

schwerer (bzw. eigentlich dichter) ist als wärmere Luft (Sommer). Im Winter-Aquarium müsste also die kalte Luft unten im Tal „liegen“ bleiben, im Sommer-Aquarium müsste die warme Luft im Tal aufsteigen. Das wird in den nächsten Schritten verdeutlicht.

**Schritt 6:** Nun muss man Rauch in den Aquarien erzeugen. Am besten geht das mit „Babyraketen“. *Diese müssen schon folgendermaßen vorbereitet sein: Raketenkopf vom Stiel abtrennen und mit Klebeband verkehrt herum wieder fest aufkleben, damit die Zündschnur nach vorne zeigt (Bild 7).* Pro Aquarium eine Rakete am Stielende halten, Zündschnur anzünden, Zündkopf ins Aquarium halten (Bild 8) und den Deckel fest raufdrücken. *Vorsicht: Beim Zünden fliegen u. U. einige Funken trotzdem unter dem Deckel raus. Bei Blindgängern den Deckel nicht gleich wieder öffnen, sondern 1 Minute warten und dann den Raketenkopf in ein Wasserglas stecken.*

**Schritt 7:** Ein paar Sekunden nach der Zündung die Raketen unter den Deckeln herausziehen und die Aquarien schnell wieder ganz abdecken. Ca. 1 Minute warten, bis sich der Rauch regelmäßig verteilt und „beruhigt“ hat.

**Schritt 8:** Zuerst den Deckel vom Winter-Aquarium **ganz langsam** entfernen. Schnelle Bewegungen und Luftzug (zB offenes Fenster) vermeiden, sonst funktioniert das Experiment u. U. nicht. Dann auch den Deckel vom Sommer-Aquarium entfernen (Bild 9).

**Schritt 9:** Nun wird der Unterscheid zwischen Sommer und Winter beobachtet: Im Winter bleiben die Schadstoffe in den Tälern „liegen“ (Bild 10), da die kältere Luft am Boden und die wärmere darüber einen vertikalen Austausch verhindern (=Inversions-Wetterlage). Im Sommer steigen die Schadstoffe mit der wärmeren Luft auf und werden so abtransportiert.

**Schritt 10:** Um zu sehen, wie Inversionen aufgelöst werden können, kann man im Winter-Aquarium nun die stärkere Sonneneinstrahlung im Frühling (Infrarot-Lampe) simulieren. Man richtet die Lampe auf den Talboden (Bild 11), die Strahlung erwärmt den Boden, dieser dann die Luft über dem Boden. Die Luft beginnt nach kurzer Zeit aufzusteigen und nimmt die Schadstoffe dabei mit. Die Inversion wurde aufgelöst.

### Ergebnis:

Der Versuch hat gezeigt, dass sich in Tal- und Beckenlagen in der kalten Jahreszeit leicht Inversionen bilden können, die dann zu erhöhter Luftbelastung in Bodennähe führen. In der warmen Jahreszeit hingegen werden die Schadstoffe wesentlich leichter nach oben abtransportiert.

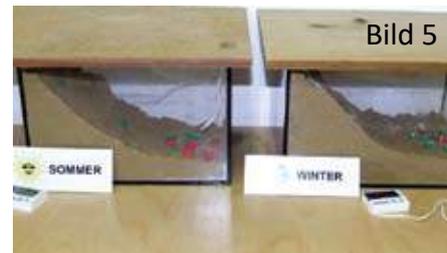


Bild 5



Bild 6

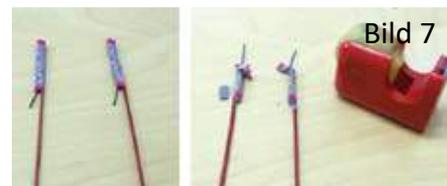


Bild 7



Bild 8

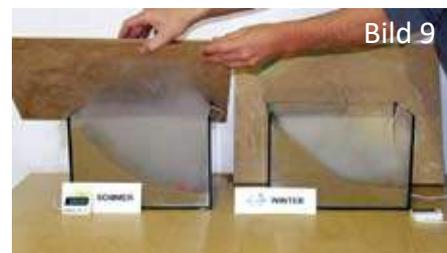


Bild 9



Bild 10

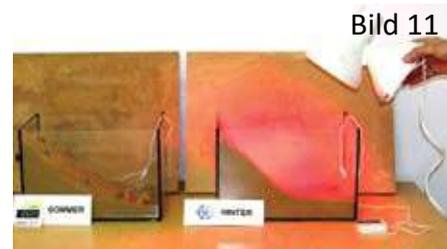


Bild 11

## Tipps:

- Handwärmer gibt es bei diversen Online-Anbietern.
- Obwohl moderne Innen-Außenthermometer meist mit Funk ausgestattet sind, werden Thermometer mit Kabel zum Außensensor aber auch noch in Elektrofachgeschäften angeboten. Man kann die Thermometer aber auch weglassen, da man sich die Temperaturunterschiede zwischen Kühlakku und Handwärmer auch gut vorstellen kann.
- „Babyraketen“ kauft man am besten vor Silvester im 100er-Pack. Unterm Jahr sind sie schwer zu bekommen. Diese Form der Rauchquelle ist die mit Abstand effizienteste und einfachste. Räucherstäbchen, Räucherpyramiden oder Zigarettenrauch sind nicht zu empfehlen.
- Rauchmelder im Klassenraum sprechen normalerweise auf den austretenden Rauch aus den Aquarien nicht an. Es wird aber empfohlen, den Versuch nicht direkt unter Rauchmeldern zu machen. Lüften sollte man erst nach dem Versuch, da offene Fenster (Zug) den Versuch beeinflussen können.
- Man kann den Versuch auch wiederholen und dann die Inversion auch auf andere Weisen auflösen, zB mit einem Fön, der Wind darstellen soll oder mit einem Wasserzerstäuber, der Regen darstellen kann. Beide Wettererscheinungen führen zu einem Austausch der Luftmassen und zu einem Abtransport der Luftverunreinigungen.
- Man kann die Aussage des Versuchs auch in einem extrem vereinfachten Ablauf darstellen (siehe 4 Fotos unten), wenn auch die Anschaulichkeit und der Bezug zur Realität im Vergleich zum Landschaftsmodell hier weniger gegeben ist: Man verwendet dazu zwei hohe Gläser, von denen eines direkt aus dem Kühlschrank kommt und das andere bis kurz zuvor mit heißem Wasser gefüllt war. In beiden wird wiederum wie oben Rauch erzeugt und die Gläser werden sofort verschlossen. Nach ca. 2 Minuten werden die Deckel entfernt. Auch hier steigt der Rauch nun im warmen Glas (Sommer) auf, da die warmen Glaswände die Luft im Glas erwärmen. Das Aufsteigen läuft hier aber langsamer als beim Aquarium. Man kann dafür aber sehr schön die Turbulenzen beobachten, die im Glas durch aufsteigende warme Luft und absinkende kühlere Luft von außen bewirkt werden. Im kühlen Glas (Winter) verbleibt der Rauch im Glas. Bis das warme Glas völlig entleert ist, vergehen ca. 3-4 Minuten. Abschließend kann man die Inversion im kühlen Glas noch auflösen, indem man die Glaswände von außen mit den Händen erwärmt (dauert auch einige Minuten). Auf das Vermeiden von Luftzug und raschen Bewegungen ist auch bei dieser Versuchsvariante zu achten.



# Luft-Dingsbums

Spiel 1 

Schulstufe: ab 5.-8. / Dauer: 20 Minuten / Ort: Klasse

## Aufgabe:

Luftbegriffe erklären und erraten, ohne bestimmte Worte verwenden zu dürfen

## Ziel:

- Vertiefen des Kennens bestimmter Begriffe rund ums Thema Luft
- Formulieren üben und Synonyme lernen

## Material:

- Sanduhr (1 Minute) oder Stoppuhr/Stoppuhrfunktion beim Handy
- Spielfiguren/Würfel
- Karten und Spielplan „Luft-Dingsbums“

## Vorbereitende Arbeiten:

Karten und Spielplan „Luft-Dingsbums“ werden ausgedruckt, ausgeschnitten und laminiert.

## Spielregeln:

**Schritt 1:** Mindestens zwei Gruppen werden gebildet. Jeder Gruppe müssen mindestens zwei Personen angehören. Die Gruppenmitglieder sitzen sich jeweils gegenüber. Jede Gruppe wählt eine Spielfigur und stellt sie am Spielplan auf „START“.



**Schritt 2:** Ein Mitglied der ersten Gruppe (auswürfeln) zieht die oberste Karte vom Stapel, darf sie aber keinem anderen Mitglied der eigenen Gruppe zeigen.

**Schritt 3:** Nun versucht diese Person innerhalb einer Minute den anderen Mitgliedern der eigenen Gruppe den Begriff ganz oben auf der Karte, also das „Luft-Dingsbums“ zu erklären, bis diese ihn erraten. Allerdings darf dafür keines der vier Wörter unterhalb verwendet werden. Ebenso darf keine Abwandlung und kein Wortteil der verbotenen Wörter verwendet werden, zB „Treibhaus“ beim Wort „Treibhauseffekt“. Es darf auch kein Wortteil des „Luft-Dingsbums“ verwendet werden.



**Schritt 4:** Ein Mitglied der anderen Gruppe kontrolliert, ob keines der verbotenen Wörter verwendet wird. Wird ein verbotenes Wort genannt, erhält die Gruppe keinen Punkt und die nächste Gruppe ist an der Reihe. Hat die Gruppe aber bis zum Durchlaufen der Sanduhr den Begriff erraten, bekommt sie einen Pluspunkt und darf ein Feld weiterfahren. Bereits verwendete Karten werden dann auf die Seite gelegt.

**Schritt 5:** Sieger ist jene Gruppe, die als erste das Zielfeld 10 erreicht oder nach einer zuvor ausgemachten Zeitdauer die meisten Punkte hat.





Luft-Dingsbums:

**Feinstaub**

verboten:

**PM10  
klein  
Teilchen  
Auto**

Luft-Dingsbums:

**Abgase**

verboten:

**Auto  
Auspuff  
Fabrik  
Schornstein**

Luft-Dingsbums:

**Zigarettenrauch**

verboten:

**Tabak  
Tschik  
Lungenkrebs  
inhalieren**

Luft-Dingsbums:

**Luft**

verboten:

**atmen  
Leben  
Atmosphäre  
Sauerstoff**



Luft-Dingsbums:

**Diesel**

verboten:

**Auto**  
**Russ**  
**schwarz**  
**Benzin**

Luft-Dingsbums:

**Atemwege**

verboten:

**Nase**  
**Luftröhre**  
**Lunge**  
**Sauerstoff**

Luft-Dingsbums:

**Grenzwert**

verboten:

**überschreiten**  
**Mittelwert**  
**Messstation**  
**Gerät**

Luft-Dingsbums:

**Verkehr**

verboten:

**Auto**  
**Pkw/Lkw**  
**Fahrrad**  
**Straße**



Luft-Dingsbums:

**Partikel**

verboten:

**Staub  
Teilchen  
klein  
schweben**

Luft-Dingsbums:

**Osterfeuer**

verboten:

**Brauchtum  
Karwoche  
brennen  
Haufen**

Luft-Dingsbums:

**Steiermark**

verboten:

**Bundesland  
Österreich  
Grenze  
wohnen**

Luft-Dingsbums:

**Fahrrad**

verboten:

**Pedal  
Radweg  
Motor  
FüÙe**



Luft-Dingsbums:

**Inversion**

verboten:

**kalt/warm  
unten/oben  
Umkehr  
Temperatur**

Luft-Dingsbums:

**Luftverschmutzung**

verboten:

**Abgase  
Auto  
Fabrik  
Belastung**

Luft-Dingsbums:

**Hausbrand**

verboten:

**Ofen  
heizen  
Wärme  
Kamin**

Luft-Dingsbums:

**Ruß**

verboten:

**Diesel  
schwarz  
Auspuff  
Kamin**



Luft-Dingsbums:

**Smog**

verboten:

**Nebel  
Rauch  
englisch  
Abkürzung**

Luft-Dingsbums:

**Klimawandel**

verboten:

**Treibhauseffekt  
Atmosphäre  
Erwärmung  
Meeresspiegel**

Luft-Dingsbums:

**öffentliche Verkehrsmittel**

verboten:

**Bus  
Zug  
Straßenbahn  
fahren**

Luft-Dingsbums:

**Verbrennung**

verboten:

**Feuer  
Rauch  
Qualm  
anzünden**



Luft-Dingsbums:

**Stau**

verboten:

**Fahrzeuge**  
**Auto**  
**Straße**  
**Ferien**

Luft-Dingsbums:

**Auspuff**

verboten:

**Auto**  
**Motor**  
**Rohr**  
**Abgase**

Luft-Dingsbums:

**Kohlendioxid**

verboten:

**Luft**  
**CO<sub>2</sub>**  
**Klimawandel**  
**Atmosphäre**

Luft-Dingsbums:

**Silvester**

verboten:

**Rakete**  
**Mitternacht**  
**Neujahr**  
**Feuerwerk**



Luft-Dingsbums:  
**Schadstoffe**

verboten:

**Luft  
giftig  
Menschen  
Abgase**

Luft-Dingsbums:  
**Umwelt**

verboten:

**Natur  
Luft  
Wasser  
schützen**

Luft-Dingsbums:  
**Blütenstaub**

verboten:

**Pollen  
Allergie  
Pflanzen  
Frühling**

Luft-Dingsbums:  
**Ozon**

verboten:

**Sommer  
Schadstoff  
 $O_3$   
Gas**



# Luft-Dingsbums - Spielplan

Hier Kartenstapel  
mit Schrift nach  
unten ablegen!

START

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

# Staubsauger-Versuch

Versuch 6 

Schulstufe: ab 5.-8. / Dauer: 30 Minuten / Ort: Schulhof oder sicherer Parkplatz

## Aufgabe:

Abgase aus Fahrzeugen sichtbar machen

## Ziele:

- Aufzeigen, dass alle herkömmlichen Kraftfahrzeuge Auspuff-Emissionen haben
- Vergleich unterschiedlicher Fahrzeugtypen
- Erkennen, dass jede Reduktion von mit Kraftfahrzeugen gefahrenen Kilometern eine Entlastung für die Luft bedeutet

## Material:

- PKW (idealerweise Dieselmotor ohne Partikelfilter), u. U. andere Fahrzeuge (Moped, Vespa ...)
- alter Staubsauger mit Aufsatz (Fugendüse)
- Verlängerungskabel (zB 50 Meter-Kabeltrommel)
- mehrere Mulltupfer
- Gummihandschuhe
- Klebeband
- Schreibzeug
- 2-3 Kopien des Protokollblattes zum Staubsauger-Versuch

## Ablauf:

### Schritt 1:

Im Freien (zB Schulhof) werden ein oder mehrere PKWs oder Mopeds als Testobjekte geparkt.

### Schritt 2:

Der Staubsauger wird mit Verlängerungskabel an die nächstgelegene Steckdose (meist im Gebäudeinneren) angeschlossen.

### Schritt 3:

Ein Mulltupfer (bzw. einige Mulltupferlagen) wird zwischen Staubsaugerrohr und Aufsatz (Fugendüse) geklemmt. Dazu streift die durchführende Person zuvor Gummihandschuhe über, um keine Verschmutzungen aus dem Auspuff auf die Haut zu bekommen.

### Schritt 4:

Das Staubsaugerrohr wird in den Auspuff gehalten und der Staubsauger eingeschaltet.

### Schritt 5:

Die Lehrperson bzw. der/die PKW-BesitzerIn startet den Motor und lässt ihn 10 Sekunden ohne Gas zu geben laufen. Diese Person ist für den sicheren Ablauf des Tests verantwortlich (siehe Tipps).



### Schritt 6:

Nach 10 Sekunden werden der Motor und dann der Staubsauger ausgeschaltet. Die Person mit den Gummihandschuhen entfernt den Mulltupfer vorsichtig.



### Schritt 7:

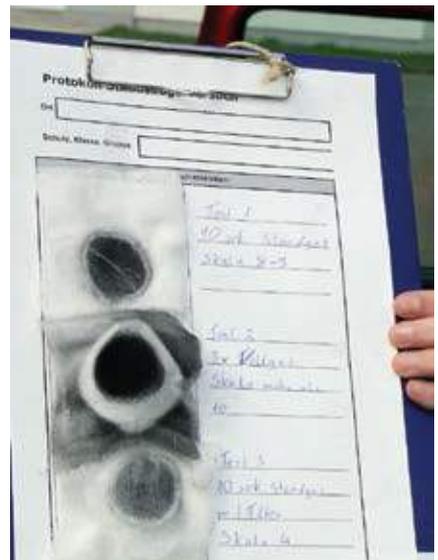
Der Mulltupfer ist nun wahrscheinlich grau. Er wird mit Klebeband auf das „Feld 1“ des Protokollblattes geklebt. Daneben wird kurz beschrieben, was die Probe darstellt, also zB „Automarke, Dieselmotor, 10 Sekunden Standgas“

### Schritt 8:

Der Versuch kann nun mit einem neuen Mulltupfer beliebig oft variiert werden. Beispiele:

- 10 Sekunden aufs Gas steigen
- 5-mal hintereinander Gas geben
- Vergleich zwischen PKWs
- Vergleich mit Moped
- usw.

Am Ende der Versuchsreihe sollten auf dem Protokollblatt mehrere unterschiedlich stark verschmutzte und beschriebene Staubproben auf den Feldern aufgeklebt sein.



### Schritt 9:

In der Klasse wird darüber diskutiert, wie man (auch kleine) Reduktionen bei diesen Verschmutzungen erreichen kann, zB durch Verzicht auf Kraftfahrzeugeinsatz, durch moderateres Fahren, durch Vermeiden von unnötigem Gasgeben usw.

### **Tipps:**

- Beim Staubsauger muss es sich um ein aus dem Haushalt bereits ausgeschiedenes Modell handeln, das nur noch für solche Versuche verwendet wird. Ansonsten werden Motorabgase aus dem Inneren des Geräts bei Weiterverwendung in der Innenraumluft verteilt.
- Sind am Mulltupfer keine Verfärbungen zu sehen, bedeutet das nicht, dass das Fahrzeug keinen Staub emittiert. Bessere Verbrennung bedingt zwar oft das Fehlen sichtbarer Verschmutzungen zB durch größeren Dieselruß, es können aber trotzdem Feinststäube ausgestoßen werden, die mit dem Mulltupfer nicht erkennbar gemacht werden können.
- Die Lehrperson bzw. der/die PKW-BesitzerIn ist für den sicheren Ablauf verantwortlich:
  - kein Gang eingelegt
  - keine Person vor dem Fahrzeug
  - Sicherheitsabstand zu Auspuff
  - beachten, dass Auspuff mit der Zeit heiß wird
  - während des Versuchs hinter dem Fahrzeug wenn möglich die Luft anhalten
  - usw.

Ort des Versuchs: \_\_\_\_\_

Datum des Versuchs: \_\_\_\_\_

Durchgeführt von: \_\_\_\_\_

Hier Proben einkleben	Hier Probennahme beschreiben
FELD 1	
FELD 2	
FELD 3	

# Feinstaub-Quartett

Spiel 2 

Schulstufe: ab 5.-6. / Dauer: 20 Minuten / Ort: Klasse

## Aufgabe:

Je vier Karten zu einzelnen Luftthemen sammeln

## Ziele:

- Wiederholen einiger Fachbegriffe
- Herstellen von Verbindungen einzelner Themenbereiche

## Material:

Quartett-Karten

## Vorbereitende Arbeiten:

Quartett-Karten werden ausgedruckt, ausgeschnitten und laminiert.

## Spielregeln:

Schritt 1: Vier SpielerInnen werden für das Feinstaub-Quartett benötigt.

Schritt 2: Das Quartett besteht aus 32 Karten, die je 4 Bilder aus insgesamt 8 verschiedenen Kategorien zeigen, wie beispielsweise „umweltfreundliche Verkehrsmittel“ oder „natürliche Feinstaubquellen“. Ganz oben auf der Karte steht jeweils die Kategorie, darunter stehen vier Begriffe, von denen je einer grün geschrieben ist, zu dem auch das Bild auf der Karte zu sehen ist. Die drei anderen Begriffe gibt es auf anderen Karten dieser Kategorie.

Schritt 3: Die Karten werden gemischt und gleichmäßig verteilt, sodass jede/r SpielerIn 8 Karten aus unterschiedlichen Kategorien auf der Hand hat. Ziel ist es, von möglichst vielen Kategorien im Lauf des Spieles alle 4 Karten zu bekommen.

Schritt 4: Der/die erste SpielerIn kann nun von einer beliebigen Person eine ihm/ihr fehlende Karte erfragen. Man fragt zB „Ich möchte von MitspielerIn XY die Karte „Vulkanausbruch“ aus der Kategorie „natürliche Feinstaubquellen“. Hat der/die Angesprochene die gewünschte Karte tatsächlich, muss man sie dem/der Fragenden abgeben. Der/die erste SpielerIn kann nun weiterfragen, entweder die selbe Person oder eine andere und zwar so lange, bis eine angesprochene Person eine geforderte Karte nicht besitzt. Diese Person darf dann vom Fragenden/von der Fragenden eine Karte ziehen und ist dann selbst an der Reihe.

Schritt 5: Sobald ein/e SpielerIn ein Quartett (also alle 4 Karten einer Kategorie) zusammensammelt hat, legt er/sie dieses ab. SiegerIn ist, wer am Ende die meisten Quartette besitzt. Hat jemand keine Karten mehr, ist für ihn/sie das Spiel vorzeitig zu Ende.





**menschliche Feinstaubquellen** 

Verkehr  
Hausbrand  
Industrie  
Baustellen



Feinstaub-Quartett

**menschliche Feinstaubquellen** 

Verkehr  
Hausbrand  
Industrie  
Baustellen



Feinstaub-Quartett

**menschliche Feinstaubquellen** 

Verkehr  
Hausbrand  
Industrie  
Baustellen



Feinstaub-Quartett

**menschliche Feinstaubquellen** 

Verkehr  
Hausbrand  
Industrie  
Baustellen



Feinstaub-Quartett



**Maßnahmen gegen Feinstaub** 

weniger Auto fahren  
keine Osterfeuer  
Partikelfilter einbauen  
richtiges Heizen



Feinstaub-Quartett

**Maßnahmen gegen Feinstaub** 

weniger Auto fahren  
keine Osterfeuer  
Partikelfilter einbauen  
richtiges Heizen



Feinstaub-Quartett

**Maßnahmen gegen Feinstaub** 

weniger Auto fahren  
keine Osterfeuer  
Partikelfilter einbauen  
richtiges Heizen



Feinstaub-Quartett

**Maßnahmen gegen Feinstaub** 

weniger Auto fahren  
keine Osterfeuer  
Partikelfilter einbauen  
richtiges Heizen



Feinstaub-Quartett



**natürliche Feinstaubquellen** 

Vulkanausbruch  
Sandsturm  
Blütenstaub (Fichten)  
Pilzsporen



Feinstaub-Quartett

**natürliche Feinstaubquellen** 

Vulkanausbruch  
Sandsturm  
Blütenstaub (Fichten)  
Pilzsporen



Feinstaub-Quartett

**natürliche Feinstaubquellen** 

Vulkanausbruch  
Sandsturm  
Blütenstaub (Fichten)  
Pilzsporen



Feinstaub-Quartett

**natürliche Feinstaubquellen** 

Vulkanausbruch  
Sandsturm  
Blütenstaub (Fichten)  
Pilzsporen



Feinstaub-Quartett



**Stäube in Innenräumen** 

Zigarettenrauch  
Schimmelpilz  
Teppichfasern  
Kot der Hausstaubmilbe



Feinstaub-Quartett

**Stäube in Innenräumen** 

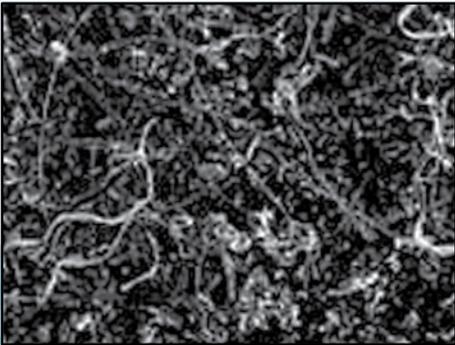
Zigarettenrauch  
Schimmelpilz  
Teppichfasern  
Kot der Hausstaubmilbe



Feinstaub-Quartett

**Stäube in Innenräumen** 

Zigarettenrauch  
Schimmelpilz  
Teppichfasern  
Kot der Hausstaubmilbe



Feinstaub-Quartett

**Stäube in Innenräumen** 

Zigarettenrauch  
Schimmelpilz  
Teppichfasern  
Kot der Hausstaubmilbe



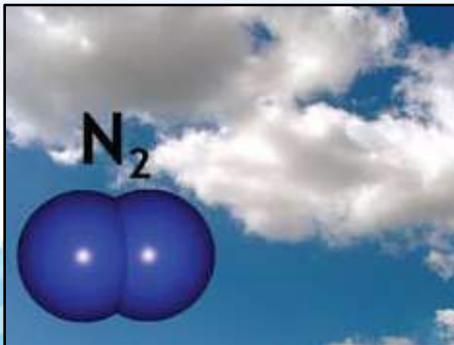
Feinstaub-Quartett



### Zusammensetzung der Luft



78,08 % Stickstoff  
20,95 % Sauerstoff  
0,93 % Argon  
0,04 % Kohlendioxid

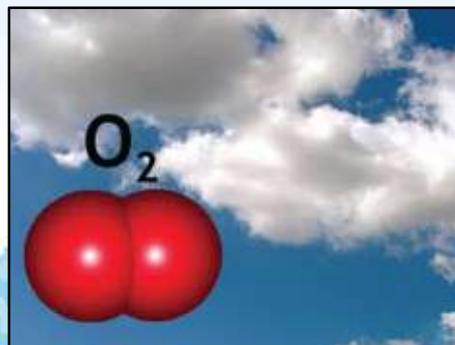


Feinstaub-Quartett

### Zusammensetzung der Luft



78,08 % Stickstoff  
20,95 % Sauerstoff  
0,93 % Argon  
0,04 % Kohlendioxid

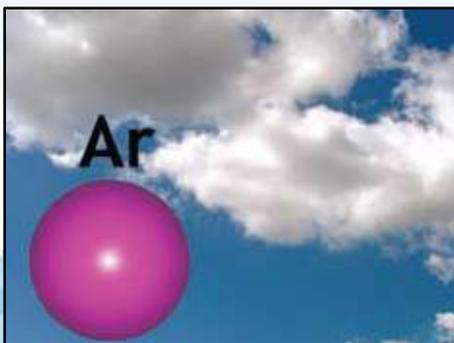


Feinstaub-Quartett

### Zusammensetzung der Luft



78,08 % Stickstoff  
20,95 % Sauerstoff  
0,93 % Argon  
0,04 % Kohlendioxid

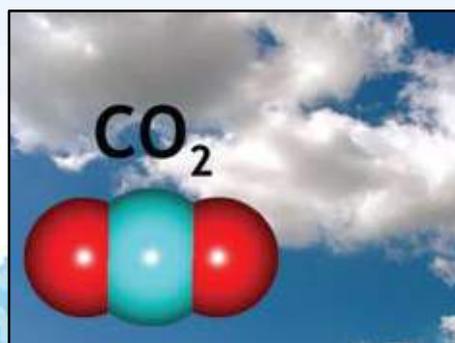


Feinstaub-Quartett

### Zusammensetzung der Luft



78,08 % Stickstoff  
20,95 % Sauerstoff  
0,93 % Argon  
0,04 % Kohlendioxid



Feinstaub-Quartett



**andere  
Luftschadstoffe** 

Schwefeldioxid  
Stickstoffoxide  
Kohlenstoffmonoxid  
Ozon

zB bei Vulkanausbrüchen und  
Verbrennung fossiler Rohstoffe



**Feinstaub-Quartett**

**andere  
Luftschadstoffe** 

Schwefeldioxid  
Stickstoffoxide  
Kohlenstoffmonoxid  
Ozon

entsteht als Nebenprodukt bei  
der Verbrennung fossiler  
Brenn- und Treibstoffe



**Feinstaub-Quartett**

**andere  
Luftschadstoffe** 

Schwefeldioxid  
Stickstoffoxide  
Kohlenstoffmonoxid  
Ozon

zB beim Laufenlassen des  
Motors in der Garage, bei alten  
Öfen, im Zigarettenrauch ...



**Feinstaub-Quartett**

**andere  
Luftschadstoffe** 

Schwefeldioxid  
Stickstoffoxide  
Kohlenstoffmonoxid  
Ozon

entsteht u. a. aus Stickstoffoxiden  
und hat sein Maximum  
im Sommer



**Feinstaub-Quartett**



**umweltfreundliche Verkehrsmittel** 

Füße  
Fahrrad  
Zug  
Schulbus



Feinstaub-Quartett

**umweltfreundliche Verkehrsmittel** 

Füße  
Fahrrad  
Zug  
Schulbus



Feinstaub-Quartett

**umweltfreundliche Verkehrsmittel** 

Füße  
Fahrrad  
Zug  
Schulbus



Feinstaub-Quartett

**umweltfreundliche Verkehrsmittel** 

Füße  
Fahrrad  
Zug  
Schulbus



Feinstaub-Quartett



**Feinstaub aus dem Straßenverkehr** 

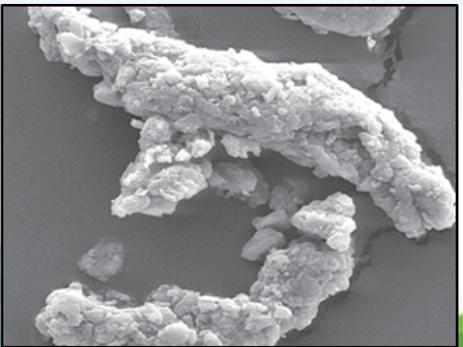
Diesel-Ruß  
Reifenabrieb  
Aufwirbelung  
Streumittel



Feinstaub-Quartett

**Feinstaub aus dem Straßenverkehr** 

Diesel-Ruß  
Reifenabrieb  
Aufwirbelung  
Streumittel



Feinstaub-Quartett

**Feinstaub aus dem Straßenverkehr** 

Diesel-Ruß  
Reifenabrieb  
Aufwirbelung  
Streumittel



Feinstaub-Quartett

**Feinstaub aus dem Straßenverkehr** 

Diesel-Ruß  
Reifenabrieb  
Aufwirbelung  
Streumittel



Feinstaub-Quartett

# Feinstaub-Paare

Spiel 3 

Schulstufe: ab 5.-8. / Dauer: 15 Minuten (exkl. vorbereitende Arbeiten) / Ort: Klasse

## Aufgabe:

Feinstaub-Paare finden

## Ziel:

- Unterschiedliche Arten von Feinstaub-Teilchen kennen lernen
- Beschreiben von Feinstaub-Inhaltsstoffen

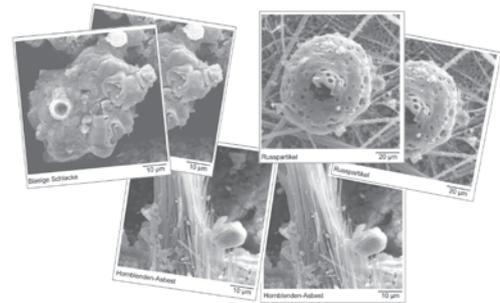
## Material:

- Kärtchen „Feinstaub-Teilchen“
- eine Wäscheklammer pro Kärtchen
- Informationsblatt „Herkunft der Feinstaub-Teilchen“

## Vorbereitende Arbeiten:

Schritt 1: Die Bildkarten „Feinstaub-Paare“ werden doppelt ausgedruckt, ausgeschnitten und laminiert.

Schritt 2: Es gibt 16 Bildpaare, also 32 Kärtchen. Je nach Anzahl der Mitspielenden werden so viele Bildpaare vorbereitet, dass jede Person eine Karte bekommt. Ist die SchülerInnenzahl eine ungerade, spielt die Lehrperson mit.



## Ablauf:

Schritt 1: Die Bildkärtchen werden gemischt.

Schritt 2: Alle SchülerInnen stehen im Kreis. Die Lehrperson befestigt von hinten am Kragen jeder Person mit einer Wäscheklammer ein Bild eines Feinstaub-Teilchens. Wenn die Lehrperson mitspielt auch eines am eigenen Kragen.



Schritt 3: Nun gehen alle Mitspielenden im Raum durcheinander und müssen versuchen, das zum eigenen Bild passende Feinstaub-Teilchen zu finden. Da man das eigene Teilchen aber nicht kennt, muss man eine Person willkürlich ansprechen und das dortige Teilchen beschreiben, also zB „Dein Teilchen ist hell und rundlich, hat oben rechts eine schwarze Delle und erinnert an einen Käse.“ Nun muss Person 2 das Teilchen von Person 1 beschreiben. Stimmen die Beschreibungen überein, bleiben sie zusammen und warten, bis sich alle Teilchen gefunden haben. Stimmen die Beschreibungen nicht überein, wird die nächste Person gefragt.

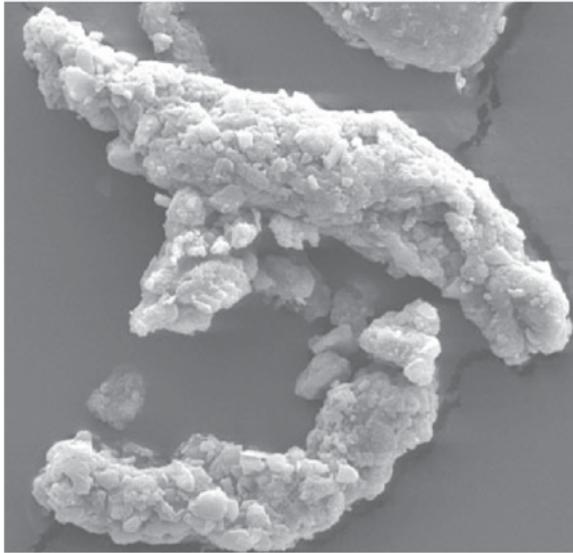


Es darf dabei wirklich nur das Bild beschrieben und nicht der Text (Name des Feinstaub-Teilchens) vorgelesen werden. Es darf auch nicht eine dritte Person gefragt werden, ob die beiden Personen das gleiche Bild am Rücken haben.

Schritt 4: Haben sich alle Teilchen gefunden, werden die Kärtchen abgenommen und der Reihe nach die Namen der Teilchen vorgelesen. Bei einigen Teilchen ist auch ein Linearmaßstab mit Größenangabe in Mikrometern ( $\mu\text{m}$ ) angegeben. Die Lehrperson erklärt dann mit Hilfe des Informationsblattes „Herkunft der Feinstaub-Teilchen“ jeweils, woher diese Teilchen stammen.

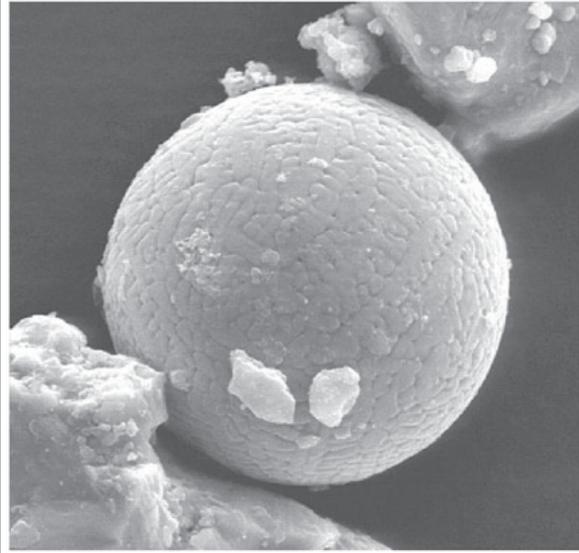
### **Ergebnis:**

Die SchülerInnen haben erfahren, dass es unterschiedlichste Feinstaub-Teilchen, -Formen und -Quellen gibt und dass all diese Teilchen in unsere Atemluft und somit in unseren Körper gelangen können.



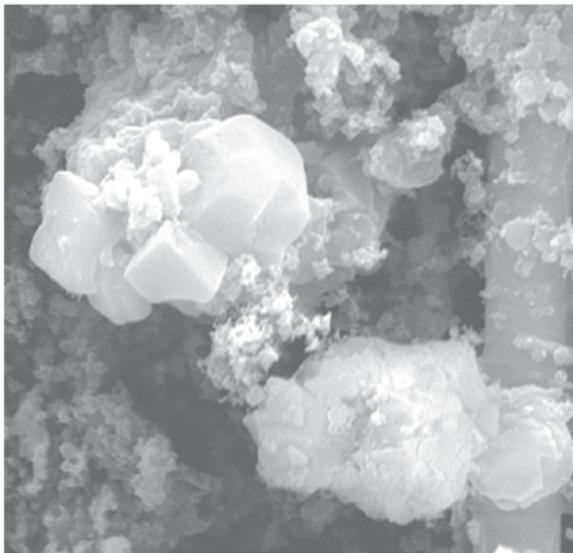
Reifen-Abrieb

20  $\mu\text{m}$



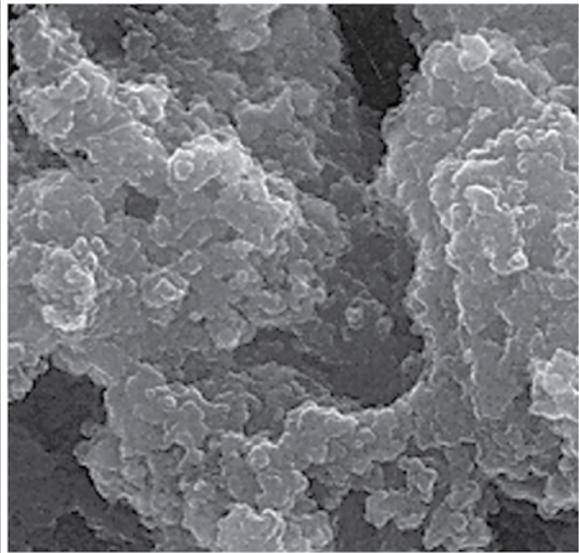
Magnetit

8  $\mu\text{m}$



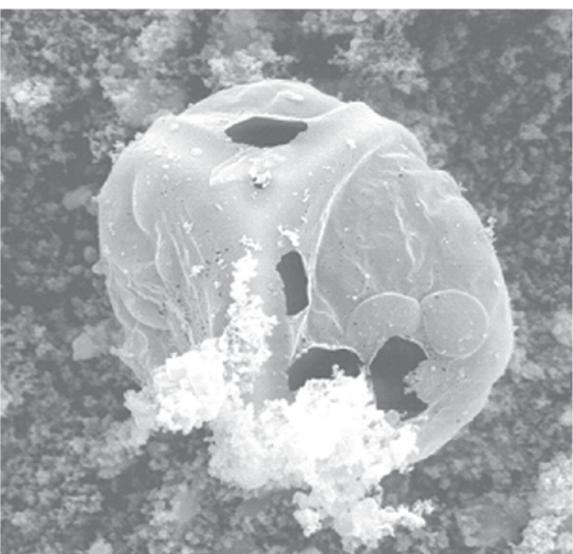
Salzkristalle

5  $\mu\text{m}$

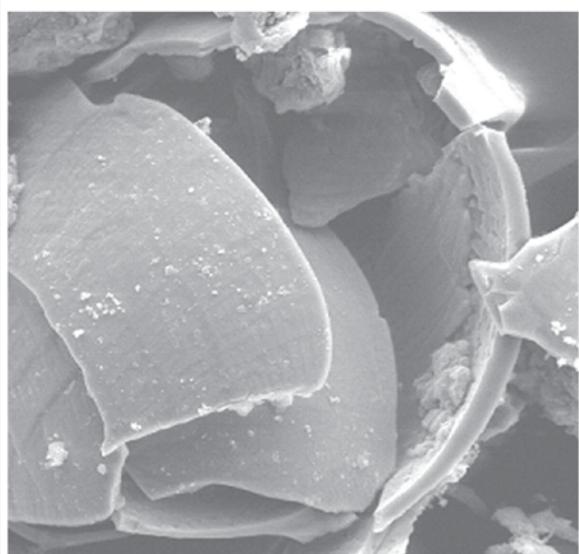


Diesel-Partikel

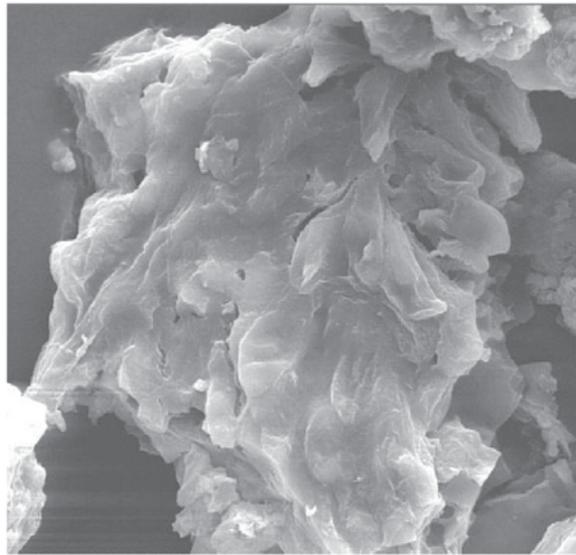
1  $\mu\text{m}$



Gips und Ruß

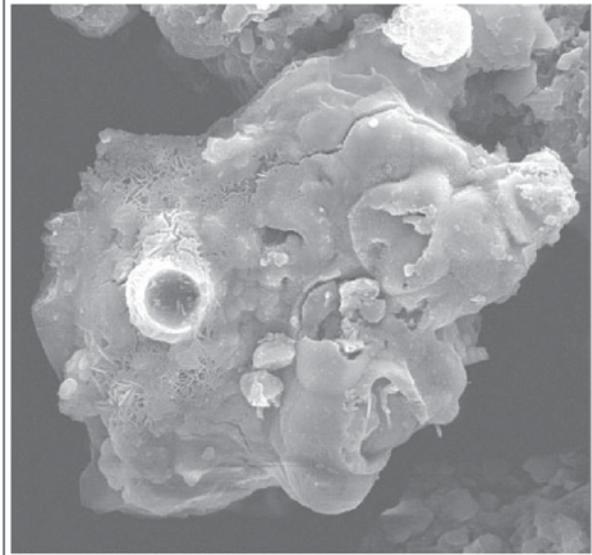


Hohlkugeliger Magnetit



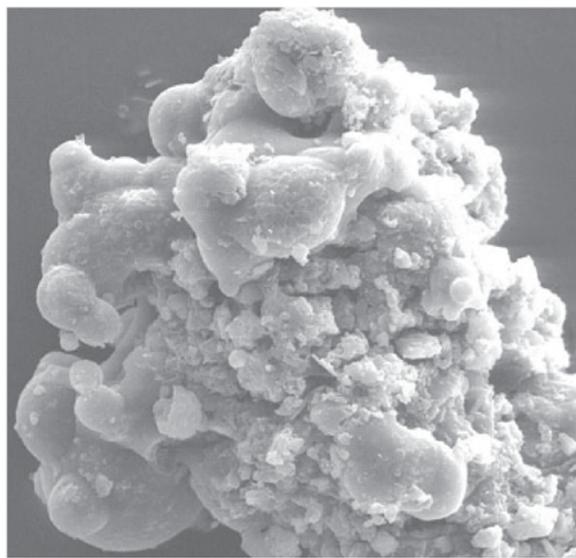
Kohliges Material

20 µm



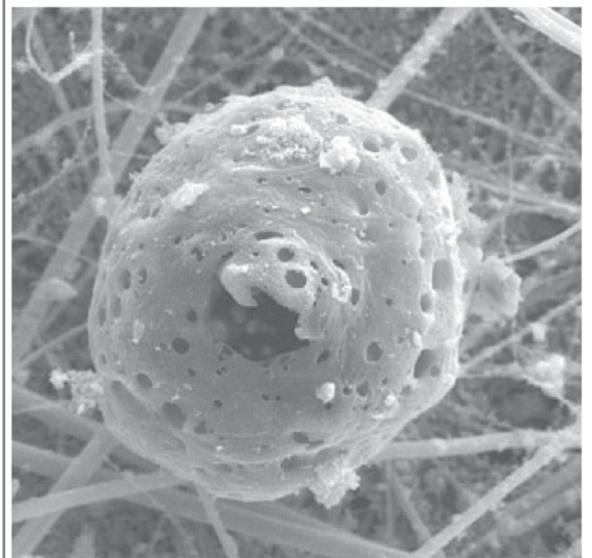
Blasige Schlacke

10 µm



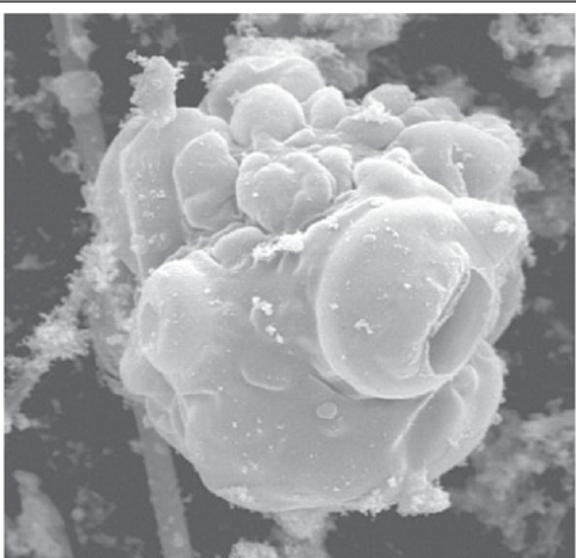
Schmelzperlen-Aggregation

20 µm



Ruß-Partikel

20 µm



Kunststoff-Schmelzpartikel

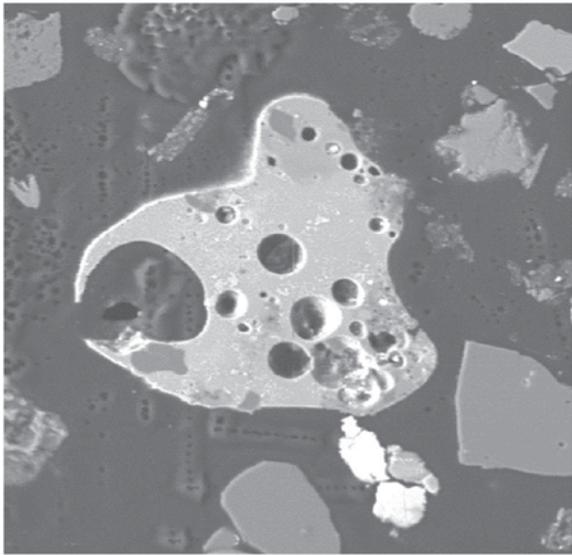
10 µm



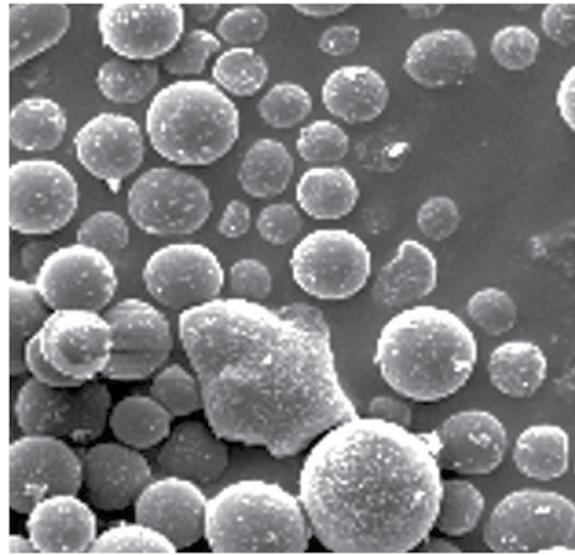
Hornblenden-Asbest

10 µm

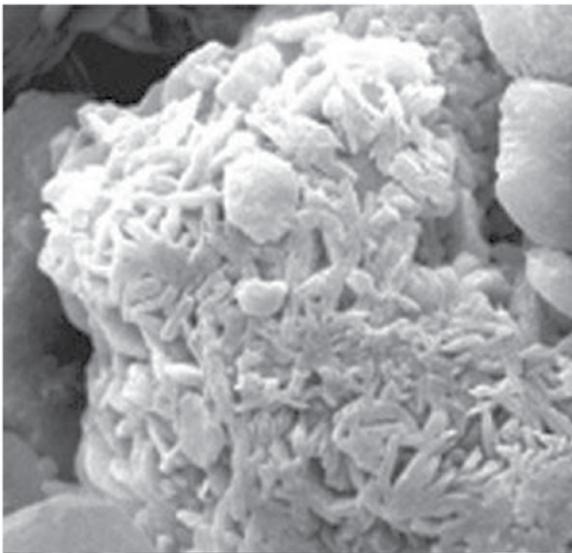




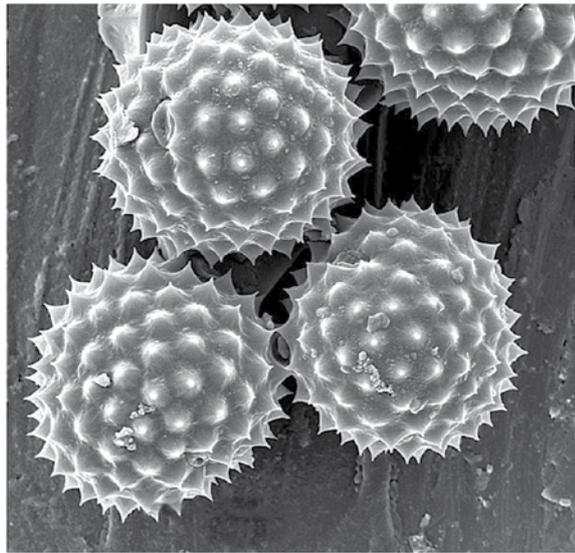
Zinnhaltige Schlacke



Toner-Partikel



Feinstaub aus Holzfeuerung



Pollen

10  $\mu\text{m}$

## Informationsblatt „Herkunft der Feinstaub-Teilchen“

Name des Feinstaub-Teilchens	Herkunft und Beschreibung
Blasige Schlacke	Schlacke ist die Abfallmasse, die bei einem Schmelzprozess oder einer Verbrennung zurückbleibt. Das Bild zeigt Schlacke aus einer Verbrennungsanlage (nicht Hausbrand)
Diesel-Partikel	Teilchen aus Dieselabgasen (Verkehr) können besonders klein und damit lungengängig sein (Feinstaub)
Feinstaub aus Holzfeuerung	Stammt vermutlich aus einer privaten Heizanlage
Gips und Ruß	Hohlkugeliges Ruß-Partikel aus einer Verbrennungsanlage mit anhaftenden Gipskristallen (weiß)
Hohlkugeliges Magnetit	Stammt aus der Eisen- und Stahlindustrie
Hornblenden-Asbest	Geogen (aus natürlichen Prozessen im Boden stammend)
Kohlige Material	Aus einer Verbrennungsanlage (vermutlich Hausbrand)
Kunststoff-Schmelzpartikel	Teilverschmolzener Kunststoff-Partikel aus einer Verbrennung
Magnetit	Stammt aus einer Verbrennungsanlage (nicht Hausbrand, nicht verkehrsbedingt)
Pollen	Das Bild zeigt Pollen des Beifußblättrigen Traubenkrauts ( <i>Ambrosia artemisiifolia</i> ), oft auch mit seinem englischen Namen Ragweed benannt. Die Pollen können beim Menschen heftige Allergien auslösen.
Reifen-Abrieb	Wenn Autoreifen über den Straßenbelag rollen, werden feine Gummiteilchen abgerieben. Die Teilchen im Bild erinnern an jene Teilchen, die entstehen, wenn man einen Radiergummi verwendet. Allerdings sind die Reifen-Abrieb-Teilchen so klein, dass sie in die Kategorie Feinstaub fallen.
Ruß-Partikel	Hohlkugeliges Ruß-Partikel (aus einer Verbrennungsanlage, vermutlich Hausbrand) - das „Netz“ dahinter ist der Filter im Messgerät
Salzkristalle	Im Zuge der Salzstreuung im Winter können Salzteilchen durch den Verkehr weiter zerrieben und aufgewirbelt und so als Feinstaub in Messgeräten erfasst werden.
Schmelzperlen-Aggregation	Eine Aggregation ist eine Zusammenlagerung, in diesem Fall aus teilverschmolzenen Kunststoffperlen (aus einer Verbrennung)
Toner-Partikel	Drucker-Toner aus Kopierern oder Druckern sind Teil der Feinstaub-Problematik in Innenräumen
Zinnhaltige Schlacke	Schlacke mit Einschlüssen von Magnetit (weiß) mit Quarzresten (dunkelgrau), typisch für Verbrennungsanlagen.

Quellen: Umweltbundesamt, Studie zur Ermittlung der Herkunft von Stäuben an sechs ausgewählten Messpunkten in Graz (2002), bzw. Deutscher Wetterdienst

# Grenzwert-Überschreitung

Übung 5 

Schulstufe: ab 7.-8. / Dauer: 25 Minuten / Ort: Klasse

## Aufgabe:

Herausfinden, wie viel Feinstaub wie viel Luft über den Grenzwert verschmutzt

## Ziele:

- Größenvorstellungen von Mengen und Grenzwerten bekommen
- Ein Gefühl für die Problematik des Feinstaubes entwickeln

## Material:

- Feinwaage (muss Milligramm anzeigen können)
- kleines verschließbares Glasgefäß
- feines Pulver (zB Muskatnusspulver)
- Maßband (ideal 10 Meter-Rollmaßband)

## Ablauf:

### Schritt 1:

Die SchülerInnen bekommen die Aufgabe gestellt zu errechnen, wie viel Feinstaub man in der Luft des Klassenzimmers verteilen müsste, um den gesetzlichen Grenzwert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (also 50 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft) als Tagesmittel zu erreichen.

### Schritt 2:

Die SchülerInnen errechnen dies mit Hilfe der Materialien und des Arbeitsblattes „Grenzwert-Überschreitung“.

### Schritt 3:

Die errechnete Menge sollen die SchülerInnen in Form eines Pulvers darstellen, um zu sehen, wie wenig Masse man benötigt, um den Feinstaub-Grenzwert zu erreichen.

## Tipps:

- Eine Feinwaage (Bild) ist zu unterschiedlichsten Preisen im Internethandel erhältlich. Sie muss für diese Übung bei der Gramm-Angabe mindestens drei Nachkommastellen haben, also 0,000 g anzeigen können.
- Das Pulver sollte sehr fein sein und nicht klumpen. Günstig ist zB fein geriebenes Muskatnusspulver. Ungünstig ist zB Mehl, da es klumpen kann oder Sand, da er zu grobkörnig ist. Das Pulver darf natürlich auch keine gesundheitliche Gefährdung darstellen.
- Das Rollmaßband sollte 10 Meter Länge haben, ansonsten muss man stückeln.
- Es sollte abschließend erwähnt werden, dass der Grenzwert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nur für die Außenluft gilt. Für Innenräume gibt es keinen Grenzwert, obwohl die Messwerte meist viel höher sind, allerdings mit anderen Feinstaub-Inhaltsstoffen (Kreidestaub, Hautschuppen, Kleidungsfasern usw.).



Um die Gesundheit der Bevölkerung nicht zu gefährden, existieren für viele Luftschadstoffe Grenzwerte, die nicht überschritten werden sollten. Beim Feinstaub gibt es einen Grenzwert für das Tagesmittel. Dieser lautet  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Das bedeutet, dass im Mittel über einen ganzen Tag nicht mehr als 50 Mikrogramm Feinstaub in einem Kubikmeter Luft sein sollten.

Errechne, wie viel Feinstaub man bräuchte, um die Luft im Klassenzimmer über diesen Grenzwert zu verschmutzen! Folge dazu den Schritten:

### Schritt 1:

Zuerst benötigst du das Volumen (V) des Klassenzimmers. Ermittle dazu mit dem Maßband die notwendigen Maße:

Länge des Zimmers (L): \_\_\_\_\_

Breite des Zimmers (B): \_\_\_\_\_

Höhe des Zimmers (H): \_\_\_\_\_

*(lässt sich die Höhe nicht messen, schätze sie)*

Errechne nun das Raumvolumen: (L) \_\_\_\_\_ m x (B) \_\_\_\_\_ m x (H) \_\_\_\_\_ m = (V) \_\_\_\_\_  $\text{m}^3$

### Schritt 2:

Wenn man 50 Mikrogramm Feinstaub benötigt, um einem Kubikmeter Luft über den Grenzwert zu verschmutzen, wie viel Feinstaub braucht man dann für das Volumen der Klasse?

(V) \_\_\_\_\_  $\text{m}^3$  x  $50 \mu\text{g}$  = \_\_\_\_\_  $\mu\text{g}$  Feinstaub, um die Luft im Klassenzimmer über den Grenzwert zu verschmutzen.

### Schritt 3:

Rechne nun die Mikrogramm in Milligramm bzw. Gramm um!

$1 \mu\text{g}$  sind  $0,001 \text{ mg}$ , du musst also die Mikrogramm durch 1 000 dividieren.

$1 \mu\text{g}$  sind  $0,000001 \text{ g}$ , du musst also die Mikrogramm durch 1 000 000 dividieren.

\_\_\_\_\_  $\mu\text{g}$  Feinstaub / 1 000 = \_\_\_\_\_ mg Feinstaub

\_\_\_\_\_  $\mu\text{g}$  Feinstaub / 1 000 000 = \_\_\_\_\_ g Feinstaub

### Schritt 4:

Die errechnete Masse in Milligramm bzw. Gramm kannst du nun mit der Feinwaage abwiegen. Platziere so viel von dem Pulver auf der Schale der Feinwaage, bis du den Wert erreicht hast.

### Schritt 5:

Schütte diese Menge nun in das Glas und verschließe es. Das ermittelte Gewicht kannst du auch auf das Glas schreiben. Wäre diese Menge echter Feinstaub und bliebe den ganzen Tag in der Luft der Klasse, wäre der Grenzwert für Feinstaub erreicht.

Hier wird ein Lösungsweg für ein fiktives Klassenzimmer mit einer Größe von 8 m Länge, 7 m Breite und 4 m Höhe geboten:

### Schritt 1:

Zuerst benötigst du das Volumen (V) des Klassenzimmers. Ermittle dazu mit dem Maßband die notwendigen Maße:

Länge des Zimmers (L): 8 m

Breite des Zimmers (B): 7 m

Höhe des Zimmers (H): 4 m

*(lässt sich die Höhe nicht messen, schätze sie)*

Errechne nun das Raumvolumen:  $(L) 8 \text{ m} \times (B) 7 \text{ m} \times (H) 4 \text{ m} = (V) 224 \text{ m}^3$

### Schritt 2:

Wenn man 50 Mikrogramm Feinstaub benötigt, um einem Kubikmeter Luft über den Grenzwert zu verschmutzen, wie viel Feinstaub braucht man dann für das Volumen der Klasse?

$(V) 224 \text{ m}^3 \times 50 \mu\text{g} = 11\,200 \mu\text{g}$  Feinstaub, um die Luft im Klassenzimmer über den Grenzwert zu verschmutzen.

### Schritt 3:

Rechne nun die Mikrogramm in Milligramm bzw. Gramm um!

1  $\mu\text{g}$  sind 0,001 mg, du musst also die Mikrogramm durch 1 000 dividieren.

1  $\mu\text{g}$  sind 0,000001 g, du musst also die Mikrogramm durch 1 000 000 dividieren.

$11\,200 \mu\text{g}$  Feinstaub / 1 000 = 11,2 mg Feinstaub

$11\,200 \mu\text{g}$  Feinstaub / 1 000 000 = 0,0112 g Feinstaub

### Schritt 4:

Die errechnete Masse in Milligramm bzw. Gramm kannst du nun mit der Feinwaage abwiegen. Platziere so viel von dem Pulver auf der Schale der Feinwaage, bis du den Wert erreicht hast.

### Schritt 5:

Schütte diese Menge nun in das Glas und verschließe es. So wenig Feinstaub benötigt man, um die Luft in der Klasse über den Grenzwert zu verschmutzen! Das ermittelte Gewicht kannst du auch auf das Glas schreiben.



# Feinstaub in den Atemwegen

Übung 6 

Schulstufe: ab 5.-6. / Dauer: 15 Minuten (ohne Vorbereitungszeit) / Ort: Klasse

## Aufgabe:

Nachstellen des Einatmens von Feinstaub

## Ziele:

- Kennenlernen der Atemwege
- Stilleübung, um die Eindringtiefe von Feinstaub in die Atemwege nachzustellen

## Material:

- Arbeitsblatt „Atemwege“
- Styroporteilchen unterschiedlicher Größe
- verschließbares Behältnis für Styroporteilchen
- Schwarze Farbe (Wasserfarben, Acryl, Sprühfarbe ...)

## Vorbereitende Arbeiten:

Schritt 1: Als vorbereitende Arbeit für den Versuch wird ein altes Styroporstück (Rest oder Verpackungsmaterial) in kleine Teile zerrissen bzw. zerrieben. Die so entstehenden Teile sollen ungefähr Durchmesser zwischen 1 Millimeter und 1 Zentimeter haben. Sie stellen dann in der Übung vergrößerte Staubteilchen dar.

Schritt 2: Die Teile werden nun geschwärzt. Entweder werden sie mit schwarzer Farbe bemalt oder besprüht oder in schwarze Wasserfarbe eingetaucht. Je nach Verfahren Trockenzeit bedenken! Trockene Teile dann in ein verschließbares Behältnis füllen.

Schritt 3: Arbeitsblatt „Atemwege“ ausdrucken. Die Wort-Kärtchen darauf ausschneiden. Druckformat A3 wird für das Arbeitsblatt empfohlen. Das Bild kann aber auch auf zwei A3-Blätter oder mehr aufgeteilt und dann zusammengeklebt werden. Je größer, desto größer die Gruppe, die damit arbeiten kann.

## Ablauf:

Schritt 1: Den Kleingruppen oder einer größeren SchülerInnengruppe wird das Arbeitsblatt vorgelegt (je nach Ausdruckgröße). Die Gruppe muss nun den Atemwegen die richtigen Wort-Kärtchen zuordnen.

Schritt 2: Die Styroporteilchen (Staubteilchen) werden neben das Arbeitsblatt geleert. Die Gruppe muss nun anhand der Größe der Teilchen diese jenen Teilen der Atemwege zuordnen, bis zu denen sie eindringen können (= Eindringtiefe). Demnach sollten die großen Teilchen schon in der Nase abgeschieden werden. Kleinere kommen bis in den Rachen, wo sie von dortigen Schleimhäuten aufgehalten werden. Noch kleinere bis in die Bronchien usw. Die kleinsten Teilchen schaffen es bis in die Lungenbläschen.



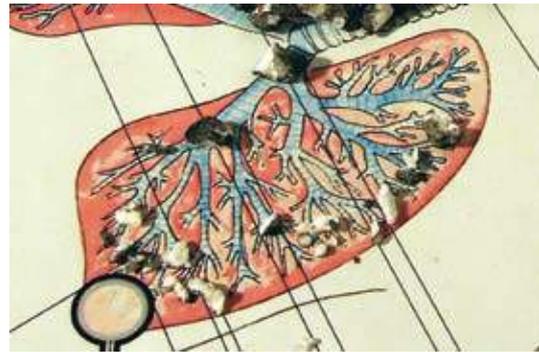
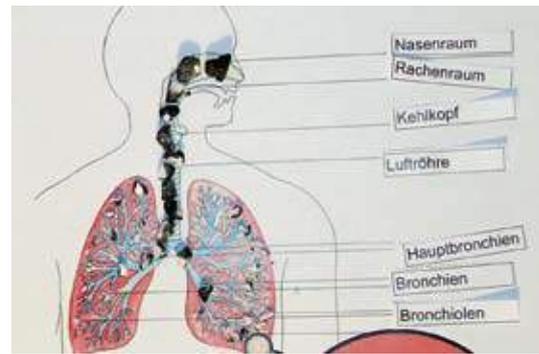
**Schritt 3:** Das fertige Bild wird betrachtet. Die Atemwege sind nun voll mit schwarzen Teilchen. Nun hat der Körper aber Möglichkeiten, diese Teilchen wieder loszuwerden. Teilchen in der Nase können über Niesen oder Nasensekret wieder aus den Atemwegen entfernt werden. Die SchülerInnen schieben also vorsichtig die dortigen Teilchen wieder aus dem Körper raus. Tiefer eingedrungene Teilchen (Luftröhre, Bronchien) können über das Flimmerepithel und den Schleim darauf wieder hinaus transportiert und ausgehustet werden. Auch sie werden entfernt. Erst die ganz kleinen Teilchen in den Alveolen können bei starker Belastung nicht mehr ganz entfernt werden und können über die Blutbahn in den ganzen Körper gelangen.

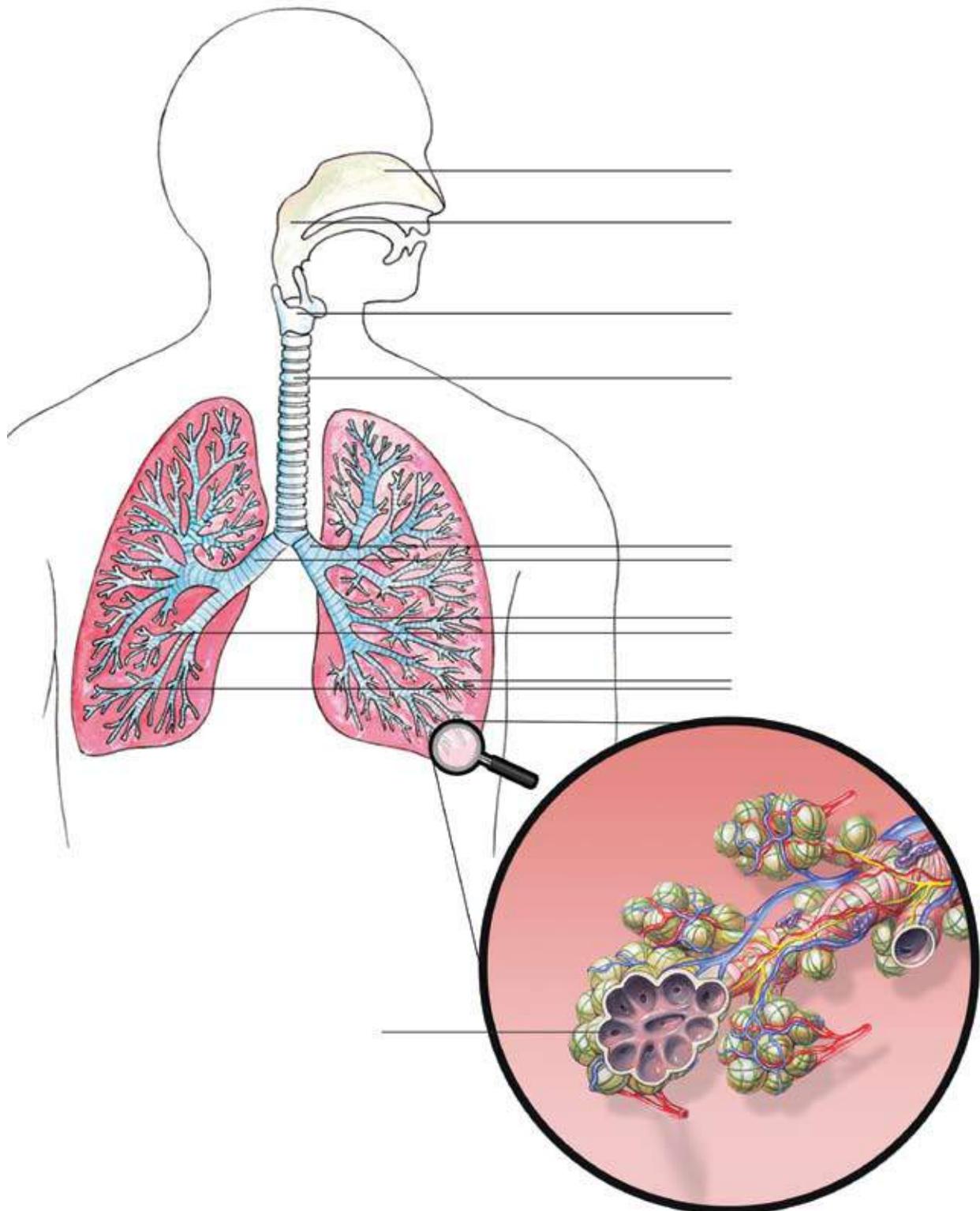
### Ergebnis:

Die Übung hat gezeigt, dass der Körper gegen Staubteilchen relativ gut gewappnet ist. Nur die kleinen, harmlos wirkenden Styroporteilchen (Feinstaub und v. a. Feinstaub) können schwer oder gar nicht aus dem Körper entfernt werden. Das ist die gesundheitliche Problematik von Feinstaub.

### Tipps:

- Beim Auflegen und Entfernen der Teilchen sollen die SchülerInnen nicht sprechen und sich nicht hastig bewegen, da die kleinen Styroporteilchen sonst verweht werden. So ist die Übung gleichzeitig eine Stilleübung.
- Eine andere Gruppe kann inzwischen das Spiel „Feinstaub-Paare“ spielen (siehe Spiel 3) und dann mit dieser Gruppe wechseln.





Nasenraum

Kehlkopf

Hauptbronchien

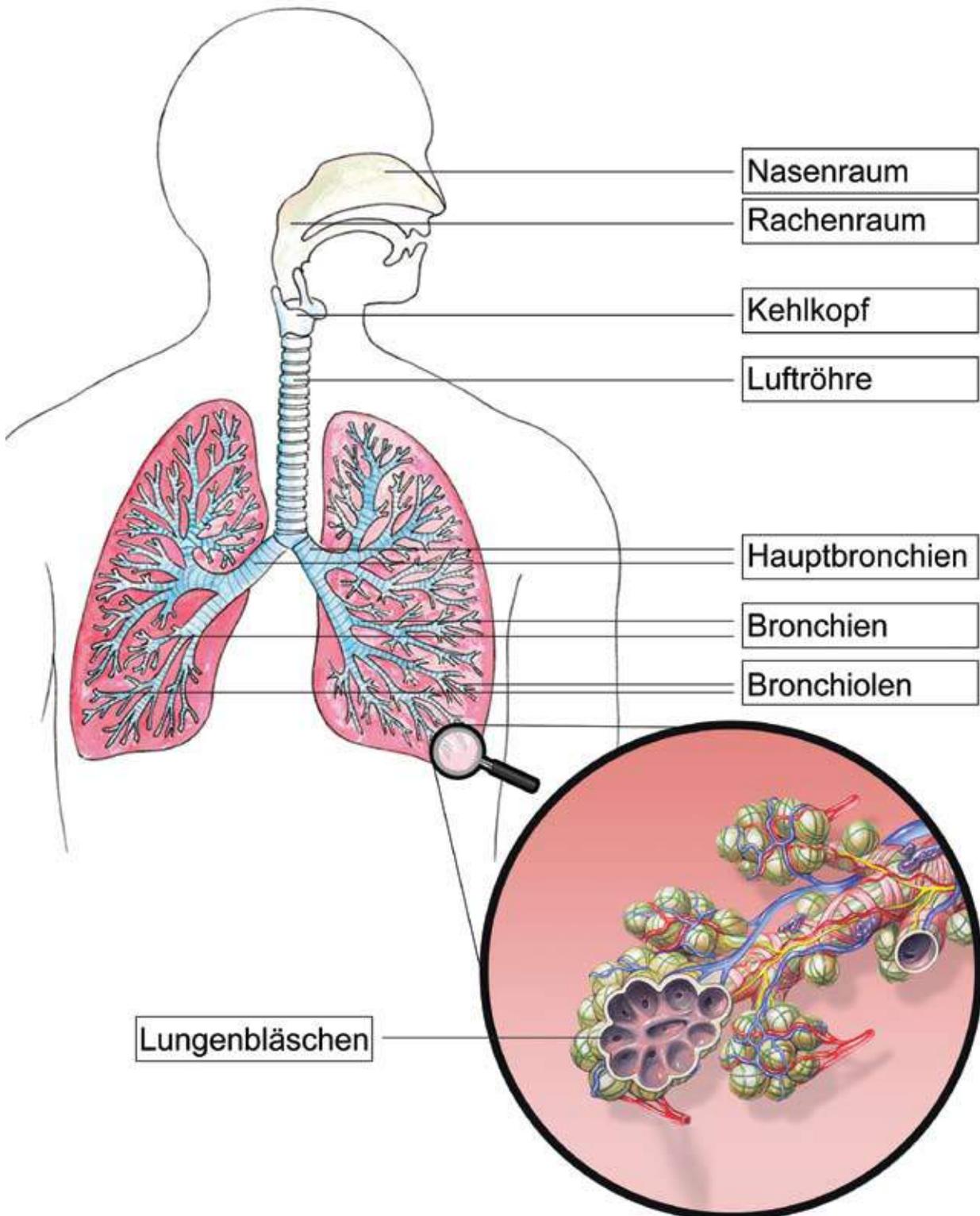
Bronchiolen

Rachenraum

Lufttröhre

Bronchien

Lungenbläschen



## Aufgabe:

Ermitteln, wie viele Luftschadstoffe durch das eigene Mobilitätsverhalten in einem Schuljahr freigesetzt werden.

## Ziele:

- Erkennen der eigenen Rolle bei der Erzeugung von Luftschadstoffen aus dem Verkehr
- Üben des Anstellens einer Hochrechnung
- Rückschlüsse auf Vor- und Nachteile diverser Verkehrsmittel ziehen können

## Material:

- Arbeitsblatt „Luftschadstoffbilanz“
- Taschenrechner

Mittels nachfolgender Zahlen kann man berechnen, wie viel Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ ), Feinstaub ( $\text{PM}_{10}$ ) und Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) man selbst durch den Schulweg täglich produziert bzw. bedingt. Angegeben werden darin Werte für Gramm pro Personenkilometer. Personenkilometer bedeutet, dass die Werte auf eine Person im Fahrzeug heruntergerechnet wurden. D. h. wenn ein Fahrzeug zB 100 Gramm eines Schadstoffes pro Kilometer ausstößt und in diesem Fahrzeug 10 Personen sitzen, dann sind das 10 Gramm pro Personenkilometer. Die Werte stammen vom Umweltbundesamt aus dem Jahr 2014.

	PKW	Linienbus
$\text{NO}_x$	0,4 g/km	0,46 g/km
$\text{PM}_{10}$	0,013 g/km	0,009 g/km
$\text{CO}_2$	142,3 g/km	39,5 g/km

Am Arbeitsblatt kann man mit diesen Zahlen nun berechnen, wie viel Stickoxide und Feinstaub bzw. wie viel vom Treibhausgas Kohlendioxid die Schulwege der SchülerInnen in einem Jahr bedingen. Auch der Arbeitsweg der Lehrperson kann miteinbezogen werden.

Danach wird diskutiert, was die errechneten Werte bedeuten könnten und welche Wege in der Freizeit noch zusätzlich zum Schulweg dazu kommen könnten.

---

**Lösung** für Beispiel mit 75 Buskilometern und gleich vielen Autokilometer pro Tag:

Bus: 34,5 Gramm  $\text{NO}_x$  / 0,675 Gramm  $\text{PM}_{10}$  / 2962 Gramm  $\text{CO}_2$  (=2,96 kg)

Auto: 30 Gramm  $\text{NO}_x$  / 0,975 Gramm  $\text{PM}_{10}$  / 10672 Gramm  $\text{CO}_2$  (=10,67 kg)

auf das Schuljahr hochgerechnet (180 Schultage) Bus und Auto zusammen:

11610 Gramm  $\text{NO}_x$  (=11,6 kg) / 297 Gramm  $\text{PM}_{10}$  / 2454210 Gramm  $\text{CO}_2$  (=2454,21 kg =2,45 Tonnen)

Die ermittelten Gramm-Angaben v.a. beim Feinstaub mögen gering klingen. Übung 5 zeigt aber, wie viel Luft man mit solchen Mengen Feinstaub über den Grenzwert verschmutzen könnte. Beim Treibhausgas Kohlendioxid zeigt sich ein deutlicher Vorteil bei der Benutzung eines Busses. Rad fahren und zu Fuß gehen erzeugen keinerlei Luftschadstoffe.

### Schritt 1:

Erhebt zuerst, wie viele von euch mit dem Bus in die Schule kommen und wie viele mit dem Auto geführt werden. Macht dazu eine Strichliste auf der Tafel.

### Schritt 2:

Nun versucht jede/r SchülerIn abzuschätzen, wie weit der Weg von zu Hause in die Schule ist. Auf der Tafel werden so in einer Spalte die Buskilometer gesammelt, in einer anderen Spalte die Autokilometer von zu Hause bis in die Schule. Die Buskilometer werden summiert und auch die Autokilometer.

### Schritt 3:

Mit diesen Werten werden nun folgende Rechnungen angestellt:

Wie viele Kilometer mit Bus sind es für alle busfahrenden SchülerInnen von zu Hause in die Schule?

> \_\_\_\_\_ km x 2 (für Hin- und Rückweg) = \_\_\_\_\_ km

Wie viele Kilometer mit Auto sind es für alle autofahrenden SchülerInnen von zu Hause in die Schule?

> \_\_\_\_\_ km x 2 (für Hin- und Rückweg) = \_\_\_\_\_ km

### Schritt 4:

Alle Buskilometer werden nun mit den Tabellenwerten multipliziert:

alle Buskilometer	Schadstoff	Menge pro Personenkilometer	gesamte Menge in Gramm
	NO <sub>x</sub>	0,46 g/km	
	PM <sub>10</sub>	0,009 g/km	
	CO <sub>2</sub>	39,5 g/km	

Alle Autokilometer werden nun mit den Tabellenwerten multipliziert:

alle Autokilometer	Schadstoff	Menge pro Personenkilometer	gesamte Menge in Gramm
	NO <sub>x</sub>	0,4 g/km	
	PM <sub>10</sub>	0,013 g/km	
	CO <sub>2</sub>	142,3 g/km	

### Schritt 5:

Vergleicht die Werte zwischen Bus und Auto miteinander. Zählt dann die jeweils zwei Werte für NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> und CO<sub>2</sub> zusammen und multipliziert sie mit den Schultagen eines Jahres (ca. 180).

\_\_\_\_\_ Gramm NO<sub>x</sub> x 180 = \_\_\_\_\_ Gramm gesamt / Jahr  
 \_\_\_\_\_ Gramm PM<sub>10</sub> x 180 = \_\_\_\_\_ Gramm gesamt / Jahr  
 \_\_\_\_\_ Gramm CO<sub>2</sub> x 180 = \_\_\_\_\_ Gramm gesamt / Jahr

# Rollenspiel Interessensgruppen Darstellung 1

Schulstufe: ab 8. / Dauer: 40 Minuten / Ort: Klasse

## Aufgabe:

Der Schulhof soll in diesem Rollenspiel aus Gründen der Luftreinhaltung autofrei werden. Verschiedene Personen- und Interessensgruppen bringen Argumente pro und contra vor.

## Ziele:

- Umsetzen von Inhalten dieser Mappe in sachliche Argumente
- Üben von Kooperations-, Kommunikations- und Problemlösefähigkeit

## Material:

Arbeitsblatt „Argumentekärtchen“

## Allgemeines zum Rollenspiel:

Bei einem Rollenspiel werden ein relevantes Thema oder ein Konflikt spielerisch dargestellt. Zum Einsatz sollte diese Methode vor allem dann kommen, wenn es darum geht, Handlungsaspekte zu fördern und lebensnahe BeobachterInnenpositionen einzunehmen. Hierbei können insbesondere die Wahrnehmung, Empathie, Flexibilität, Offenheit, Kooperations-, Kommunikations- und Problemlösefähigkeit entwickelt werden. Außerdem werden durch Rollenspiele vor allem Selbst- und Fremdbeobachtungsfähigkeiten geschult.

Für diese Methode braucht es etwas Übung und auch Erfahrung bei der Lehrperson, die als Spielleitung fungiert. Die Spielleitung sorgt für einen störungsfreien Ablauf und soll bei Konflikten zwischen Personen ausgleichen und „versöhnen“ bzw. kann auch an kritischen Stellen zur Unterstützung fragend eingreifen oder selbst in einer Rolle ins Spiel einsteigen. Während der gesamten Rollenspielphase sorgt die Spielleitung dafür, dass die Rollen auf jeden Fall ernst genommen werden. Es muss aber auch unbedingt ein moralisierendes oder abwertendes Verhalten gegenüber den RollenspielerInnen vermieden werden.

Da ein Rollenspiel immer die Gefahr des Ausgeliefertseins der Gruppenmitglieder in sich birgt, ist ein kollegiales, kooperatives und offen kommunikatives Verhalten innerhalb der Gruppe wichtig. Diesbezüglich müssen vorab Regeln aufgestellt werden.

## Vorgeschichte zum Rollenspiel Interessensgruppen:

Beim Schutz der Luft und diesbezüglichen gesetzlichen Vorgaben sind diverse Interessensgruppen und Aspekte des Lebens betroffen. Im Vordergrund sollte der Schutz des Menschen und der Umwelt stehen, doch andere Argumente sind ebenfalls nicht unbedeutend, manche aber auch an den Haaren herbeigezogen. Bei der Festlegung von Grenzwerten für Luftschadstoffe plädieren zB medizinische InteressensvertreterInnen für möglichst niedrige Grenzwerte, wirtschaftliche InteressensvertreterInnen würden aber oft gerne höhere Grenzwerte sehen, um Nachteile für Industrie und Gewerbe zu verhindern. Bis zur Festlegung von gesetzlichen Vorgaben und Reglementierungen kann das dann ein weiter Weg sein.

Auch im Schulalltag sind solche oder ähnliche Diskussionen vorstellbar. Dieses Rollenspiel zum Thema Luftverschmutzung und Luftgüte gibt folgende Situation vor: Eine städtische Schule mit 12 Klassen hat einen großen Innenhof, der als Parkplatz für Lehrende verwendet wird. Manchmal stehen 30 PKWs im Innenhof und es herrscht ein reges Kommen und Gehen. Lärm und Abgase sind aufgrund der baulichen Gegebenheiten bis in die Klassen stark wahrzunehmen, offene Fen-

ster im Sommer sind oft nicht möglich. Die Direktorin möchte deshalb den Innenhof autofrei machen. Es bilden sich Pro- und Contrafraktionen:

#### Personen für einen autofreien Innenhof

- Direktorin
- Schularzt
- ein Elternteil
- Schulsprecher
- Vertreterin des Reinigungspersonals

#### Personen gegen einen autofreien Innenhof

- ein Lehrer
- eine Lehrerin
- ein Elternteil
- Betreiber des Schulbuffets
- Schulwart

#### Ablauf:

Schritt 1: Die Argumentekärtchen der Arbeitsblätter werden ausgeschnitten und laminiert.

Schritt 2: Es werden 10 Gruppen in der Klasse gebildet, 5 für und 5 gegen einen autofreien Innenhof. Die 10 in der Tabelle erwähnten Personen(gruppen) werden zugeteilt bzw. von den SchülerInnen gewählt. Die Gruppen erhalten die jeweilige Argumentekarte.

Schritt 3: In den Gruppen werden in den nächsten 15 Minuten die Argumente intern besprochen und es wird auch versucht, neue eigene Argumente für die eigene Interessensgruppe zu finden.

Schritt 4: Ein Gruppensprecher/eine Gruppensprecherin wird gewählt, der/die dann bei der Diskussion die Argumente vorbringt.

Schritt 5: Die Lehrperson ist die Spielleitung und übergibt das Wort an die „Direktorin“, die ihre Gründe vorbringt, warum der Innenhof autofrei werden soll. Die Diskussion beginnt und alle Beteiligten müssen versuchen, der ausgewählten Rolle treu zu bleiben. Bei stockender Diskussion kann die Lehrperson neue Impulse geben. Hat eine Gruppe die besseren Argumente? Kann sich jemand durchsetzen? Kann ein Kompromiss gefunden werden?



#### **Argumente der Direktorin für einen autofreien Innenhof**

- Studien belegen, dass Lärmbelastung und schlechte Luft für die Konzentration der SchülerInnen im Unterricht nicht gut sind.
- Mein Fenster zeigt auch in den Innenhof und ich finde die Lärmbelastung unzumutbar, da die Motoren im Hof richtig laut hallen.
- Unsere Schule sollte ein Vorbild für ein ausgeprägtes Umweltbewusstsein unserer SchülerInnen sein. Das müssen wir auch vorleben.
- In der Innenstadt gibt es sonst auch keine Betriebe, in denen die MitarbeiterInnen Privatparkplätze haben.

#### **Argumente des Schularztes für einen autofreien Innenhof**

- Luftschadstoffe sind nachweislich für viele entzündliche Prozesse im Atemtrakt mitverantwortlich. Je weniger Abgase im Umfeld der SchülerInnen, desto besser.
- Bei rund 25 % unserer SchülerInnen liegen Probleme mit Asthma und Bronchitis vor. Dieser Trend ist besorgniserregend. Ein autofreier Schulhof wäre ein Zeichen, dass wir dieses Problem ernst nehmen.
- In einem autofreien Schulhof wäre mehr Platz für Bewegung in den Pausen. Das wäre ein zusätzlicher gesundheitlicher Nutzen.
- Häufiges Lüften der Klassen wäre wichtig, da die Luft in den Klassen durch das ausgeatmete Kohlendioxid sonst zu schlecht wird. Viele Klassen lüften aber aufgrund des Lärms im Innenhof gar nicht.

#### **Argumente eines Elternteils für einen autofreien Innenhof**

- Mein Sohn geht in die 2A-Klasse im Erdgeschoss. Oft ziehen die Abgase in der Früh direkt in die Klasse und man kann den Dieselruß richtig riechen.
- In unserer Familie gibt es gar kein Auto, wir fahren immer mit Fahrrad oder öffentlichen Verkehrsmitteln. Das würden andere auch schaffen.
- Es gäbe dann viel Raum für Fahrrad-Abstellplätze im autofreien Innenhof.
- Die Belastung von Fahrzeug-Innenräumen mit Luftschadstoffen ist meist höher als im Freien. Ohne Auto zu kommen, wäre also auch für die AutofahrerInnen gesünder.

#### **Argumente des Schulsprechers für einen autofreien Innenhof**

- Wir haben in den Pausen viel zu wenig Bewegungsflächen. Der große Innenhof wäre da ideal für die große Pause.
- Im autofreien Innenhof können wir uns in der Pause auch mit SchülerInnen anderer Klassen treffen und austauschen. Das funktioniert im Schulgebäude nicht so gut.
- Man könnte SchülerInnen bei einer Neugestaltung des Innenhofs miteinbeziehen. Es gibt da viele gute Ideen.
- Man könnte die Neugestaltung des Innenhofs bei einem Wettbewerb oder Preis einreichen. Das wäre gut für das Image der Schule.

#### **Argumente des Reinigungspersonals für einen autofreien Innenhof**

- Durch die Autos wird viel Staub im Hof aufgewirbelt. Das merkt man, da während der Schulzeit die Fensterbänke und Fenster im Innenhof viel öfter geputzt werden müssen. Man könnte so Reinigungskosten einsparen.
- Im Winter muss der Schnee im Hof immer vollständig geräumt werden und auch Salz muss gestreut werden, damit alle Parkplätze frei bleiben. Da könnte man sich auch Geld einsparen.
- Das Reinigungspersonal muss auch draußen parken, wenn es mit dem PKW kommt.
- Wir benutzen Putzmittel, die keine giftigen Dämpfe erzeugen, um die Luft in den Innenräumen möglichst rein zu halten. Warum nicht auch die Außenluft schonen?

#### **Argumente eines Lehrers gegen einen autofreien Innenhof**

- Ich komme aus dem Umland und habe keine öffentliche Anbindung, mit der ich morgens pünktlich zum Dienst kommen kann. Ich muss also mit dem Auto kommen.
- Die Luftgüte im Innenhof wird sich durch die Autofreiheit nicht ändern. Wir sind ja trotzdem mitten in der Stadt.
- Vor der Schule zu parken wäre viel zu teuer. Die Parkgebühren für das ganze Schuljahr sind nicht tragbar.
- Umweltbewusstsein kann man auch anders zeigen, zB bei der Mülltrennung, da könnten wir noch viel verbessern.

#### **Argumente einer Lehrerin gegen einen autofreien Innenhof**

- Ich muss mehrmals die Woche eine ganze Kiste mit Heften und Material mitbringen, da es in der Schule keinen Lagerplatz dafür gibt. Wie soll ich das ohne Auto machen?
- Ich muss vor der Schule meine eigenen Kinder in den Kindergarten bringen. Öffentlich schaffe ich das nicht.
- Der momentan vorhandene Bewegungsraum für die Pausen ist absolut ausreichend. Da braucht es nicht auch noch den Innenhof.
- Wie sollen wir im Innenhof in den Pausen die Aufsicht gewährleisten?

#### **Argumente eines Elternteils gegen einen autofreien Innenhof**

- Ich muss meine Tochter täglich mit dem Auto bis in den Innenhof führen, da sie im Rollstuhl sitzt.
- Heutzutage ist alles überreglementiert. Früher wurde nicht so viel über alles Mögliche diskutiert.
- Wenn alle mit dem Bus kommen, erzeugt das ja auch Feinstaub.
- Die Klassen mit Fenstern auf die Straßenseite werden viel mehr durch Lärm und Abgase beeinflusst. Da müsste man was tun.

**Argumente des Betreibers des Schulbuffets gegen einen autofreien Innenhof**

- Ich liefere die Jause täglich frisch an. Ich muss dazu in den Innenhof fahren und dort parken. Anders könnte ich das Schulbuffet nicht mehr betreiben.
- Mein Lieferwagen ist ein Jahr alt. Der Motor hat sehr geringe Abgaswerte. Das kann nicht schädlich sein.
- Es gibt schon genug Maßnahmen gegen Luftverschmutzung. Die Luft in der Stadt ist auch schon viel besser als vor 20 Jahren. Ich mache mir da keine Sorgen.
- In den Pausen ist es so laut. Die SchülerInnen sind Lärm gewöhnt. Das bisschen Autolärm wird da nicht stören.

**Argumente des Schulwerts gegen einen autofreien Innenhof**

- Ich habe meine Dienstwohnung in der Schule und parke selber im Innenhof. Den Parkplatz gebe ich nicht her.
- Fast täglich kommen Lieferungen an die Schule. Wo sollen wir das alles dann ausladen?
- Die Mülltonnen stehen im Innenhof. Die Entsorgungsfirma muss weiterhin in den Hof fahren können, um die Tonnen zu entleeren.
- Wir bräuchten ein besser verschließbares Tor zur Straße, damit SchülerInnen in den Pausen nicht vom Hof auf die Straße laufen können.

# Forumtheater

Darstellung 2 

Schulstufe: ab 8. / Dauer: 2 Stunden / Ort: Klasse

## Aufgabe:

Konfliktsituationen zum Thema Luft und Luftverschmutzung schauspielerisch darstellen und Konfliktlösungen finden

## Ziele:

- Sich empathisch in andere Personen versetzen können
- Probleme anderer Personengruppen erkennen, die man selber so nicht wahrnimmt
- Eigene Bedürfnisse auszudrücken lernen
- Mit Hilfe dieser Methode auch in Schulen auftretende Probleme lösen

## Material:

keines oder einfache Requisiten (Tisch, Stühle)

## Allgemeines zum Forumtheater:

Das Forumtheater ist die zentrale Methode im Theater der Unterdrückten, entwickelt von Augusto Boal (Bild). Es stellt dem Publikum eine Szene vor, die schlecht und unbefriedigend endet. Ein Joker ermutigt das Publikum, diese Szenen im Dialog zu einem besseren Ende zu bringen. Pädagogischer Hintergrund ist dazu die Befreiungspädagogik oder Pädagogik der Unterdrückten nach Paulo Freire. Dabei geht es um Antworten auf die Fragen: „Was würde ich in der dargestellten gespielten Situation tun?“ und „Wie können wir durch unsere Ideen und unser Handeln die Szenen verändern?“



Diese Methode bedarf allerdings gewisser Vorbereitung und funktioniert meist nur dann, wenn die TeilnehmerInnen zuvor schon theaterpädagogische Erfahrungen zum vertrauensvollen Miteinander gemacht haben. Die Durchführung dieser Methode verlangt also eine gewisse Erfahrung in diesem Bereich, kann dann jedoch für jedes Thema angewandt werden.

## Ablauf:

Schritt 1: Die Themen Luftverschmutzung und Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität polarisieren oft und können leicht zu Konflikten führen. Ursachen dafür können etwa Ängste sein, in der persönlichen Freiheit beschnitten zu werden oder Sorgen über mögliche wirtschaftliche Einbußen durch Maßnahmen zur Luftreinhaltung.

Gemeinsam mit der Klasse wird eine Konfliktsituation zum Thema Luftverschmutzung erdacht, die dann schauspielerisch dargestellt werden soll. Hier drei Beispiele:

- Die Direktion der Schule beschließt aus Umweltschutzgründen, den Innenhof autofrei zu machen und deshalb alle LehrerInnen-Parkplätze ersatzlos zu streichen. Eine Person spielt den Direktor/die Direktorin, zwei Personen spielen betroffene Lehrende.
- Ein/e VertreterIn eines Autofahrerclubs bestreitet, dass Autos für die Feinstaubproblematik stark mitverantwortlich sind. Ein/e WissenschaftlerIn hat das aber nachgewiesen und versucht, die Person zu überzeugen. Eltern von einem Kind mit Asthma stehen dazwischen und können auf beide reagieren.
- Einem Elternpaar wird von einer Lehrperson erklärt, dass es für ihr Kind nicht gut ist, wenn es jeden Tag mit dem Auto in die Schule geführt wird. Diese sehen das aber nicht ein.

**Schritt 2:** Die gesamte Klasse sammelt nun Argumente für alle Personen, die in der gewählten Szene mitspielen sollen. Grundlage für Argumente können Online-Recherchen oder Inhalte des Fach-informationsteiles dieser Mappe sein.



**Schritt 3:** Die ausgewählten SchauspielerInnen spielen nun - nach einer Vorbereitungszeit auf die Rollen - die ausgesuchte Szene dem Publikum (Rest der Klasse) vor. Dabei kann es zu einem Konflikt kommen, der zum vorzeitigen Abbruch der Diskussion, zu einem Eklat oder sogar zu Schreiduellen zwischen den Rollen führen kann.

**Schritt 4:** Nun wird das kurze Stück (einige Minuten) ein zweites Mal aufgeführt. Das Publikum wird aber vorher aufgefordert, dann „STOPP“ zu rufen, wenn eine Person im Publikum meint, die Situation zu einem besseren Ende kommen lassen zu können. Die Szene friert dann sofort ein.



**Schritt 5:** Die Person, die „STOPP“ gerufen hat, darf nun eine beliebige Person aus dem Stück durch sich selbst ersetzen und muss probieren, die Diskussion in eine konstruktive Richtung zu führen. Die verbliebenen SchauspielerInnen müssen versuchen, ihren Rollen treu zu bleiben und es dem/der „Neuen“ nicht zu leicht zu machen.

**Schritt 6:** Kommt es trotzdem zum Eklat, wird das Stück nochmals mit der Urbesetzung gespielt und eine andere Person aus dem Publikum kann an einem beliebigen Punkt „STOPP“ rufen. Das kann so lange versucht werden, bis es zu einem befriedigenden Ende kommt - was gar nicht so leicht ist!

# Ozonbelastung messen

Versuch 7 

Schulstufe: ab 7.-8. / Dauer: 20 Minuten / Ort: im Freien/in der Klasse/beim Kopierer ...

## Aufgabe:

Mittels Teststreifen die aktuelle Ozonbelastung bestimmen

## Ziele:

- Kennenlernen einfacher Testverfahren
- Erkennen, dass Luftschadstoffe auch in Innenräumen hohe Konzentrationen aufweisen können
- Unterschiedliche Räume in der Schule miteinander vergleichen

## Material:

Ozon-Teststreifen (aus dem Laborbedarf, aus dem Internet-Versand)

## Ablauf:

### Schritt 1:

Mit den SchülerInnen wird das Thema Ozon kurz wiederholt: Ozon ist ein farbloses, giftiges Gas, das auf Schleimhäute reizend wirkt und zu Atembeschwerden führen kann. Ein Ozongehalt von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird als kritischer Wert betrachtet, ab dem empfindlich reagierende Menschen stärkere körperliche Anstrengungen vermeiden sollten. Auch in Innenräumen können Ozonwerte u. U. hoch sein. So stoßen einige v. a. ältere Kopierer oder Drucker Ozon im Betrieb aus. Ob in Schulräumen oder im Freien eine Belastung vorliegt, kann mit den Ozon-Teststreifen abgeschätzt werden.

### Schritt 2:

Die jeweils benötigte Zahl an Teststreifen wird der Dose entnommen. Die Dose muss dann rasch wieder geschlossen werden.

### Schritt 3:

Der Teststreifen wird mit dem kleinen Testfeld nach oben am gewünschten Platz positioniert. Wenn das im Freien ist, Teststreifen am anderen Ende beschweren, damit er nicht vom Wind verblasen wird. Außerdem darf der Teststreifen nicht direkt dem Sonnenlicht ausgesetzt sein. So muss der Teststreifen 10 Minuten liegen bleiben.

### Schritt 4:

Nach 10 Minuten wird das Testfeld mit der Skala auf der Dose verglichen. Ist genügend Ozon vorhanden, hat sich das Testfeld hellgelb bis braun verfärbt (eine weitere Verfärbung nach Ablauf der 10 Minuten bleibt unberücksichtigt). Die festgestellten Werte werden notiert und verglichen.



# Das Rätsel vom Masenberg

Übung 8 

Schulstufe: ab 7.-8. / Dauer: 25 Minuten / Ort: Klasse mit PC oder EDV-Raum

## Aufgabe:

Finden einer Begründung für hohe Schwefeldioxid-Messwerte am Masenberg

## Ziele:

- Erlernen der Suche von Online-Luftgütedaten
- Üben des Interpretierens von Diagrammen
- Verknüpfen von Ereignissen mit deren Auswirkungen
- Unterscheiden zwischen Emission, Transmission und Immission

## Material:

- Arbeitsblatt „Das Rätsel vom Masenberg“
- Internet-Zugang (ideal wäre EDV-Raum)

## Ablauf:

Schritt 1: Pro PC/Tablet/... arbeiten 2-3 SchülerInnen zusammen und erhalten als Gruppe ein Arbeitsblatt „Das Rätsel vom Masenberg“.

Schritt 2: Die Gruppen erhalten die Aufgabe herauszufinden, warum an einem bestimmten Zeitpunkt im Jahr 2014 die Messwerte von Schwefeldioxid an einer Messstation in der Oststeiermark (Masenberg) in eine bis dahin noch nie gemessene Höhe geschneilt sind.

Schritt 3: Die SchülerInnen müssen dazu nun den Schritten am Arbeitsblatt folgen und die dortigen Aufgaben erfüllen. Welche Gruppe kann als erste das Rätsel lösen?

Schritt 4: Gemeinsam wird besprochen, wie das Schwefeldioxid zur Messstation kam. Anschließend kann noch darauf eingegangen werden, dass so kurze hohe Belastungen in der Regel keine gesundheitlichen Auswirkungen haben.

## Tipp:

Über den selben Weg der Onlinedaten-Auswertung wie im Arbeitsblatt lassen sich auch bestimmte Ereignisse im Jahr, die Luftschadstoffe verstärkt verursachen, sehr gut nachvollziehen. So kann etwa die Feinstaubbelastung an diversen Messstationen in der Silvesternacht oder während der Osterfeuer eindrucksvoll belegt werden.

### Folgendes Rätsel müsst ihr lösen:

Am 22. September 2014 wurden an der Messstation „Masenberg“ Schwefeldioxid-Werte in der Luft gemessen, die bisher noch nie dort erreicht wurden. Diese Messstation in der Oststeiermark (nahe Hartberg) steht in 1180 Meter Seehöhe am Waldrand, fernab von Straßen und Fabriken. Wer steckt hinter dieser hohen Belastung? Folgt den Schritten, um zur Lösung zu gelangen:



### Schritt 1:

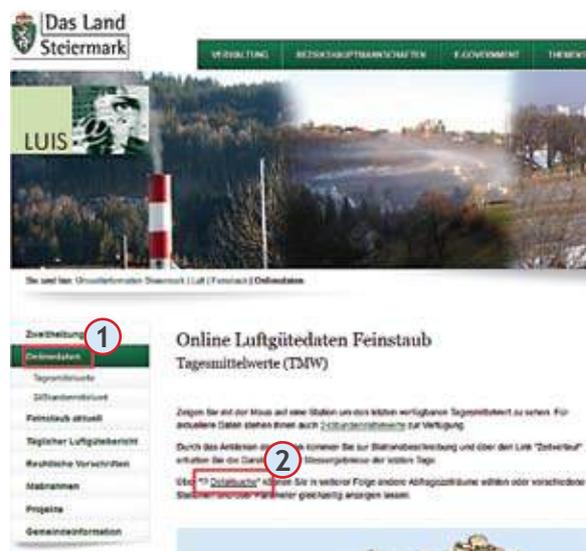
War die Belastung am 22. September 2014 wirklich so hoch? Um das nachzuprüfen öffnet die Seite [www.feinstaub.steiermark.at](http://www.feinstaub.steiermark.at)

Geht zum Abruf der Daten auf den Punkt **Online-daten** ① und dann auf **Detailsuche** ②.

Es öffnet sich ein Abfragefeld. Wählt mittels Pull-down-Menü bei **Station** ③ die Station „Masenberg“ aus. Unter **Komponente** ④ sucht ihr dann den Luftschadstoff „Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)“ aus. Dann folgt noch der **Zeitraum** ⑤, den ihr abfragen müsst. Da wählt ihr den gesamten September 2014, um den ungewöhnlichen Anstieg der Messwerte gut sehen zu können. Wählt dazu also bei „Datum von“ den 1. September 2014 und bei „Datum bis“ den 30. September 2014.

Unter **Mittelwert** ⑥ könnt ihr dann aussuchen, über welchen Zeitraum die ständig gemessenen Werte gemittelt werden. Für diese Aufgabe wählt ihr den „HMW (Halbstundenmittelwert)“.

Dann nur noch auf **Abfrage starten** ⑦ klicken und es erscheint ein Diagramm mit den gewünschten Daten. Wurde die Behauptung des Rätsels bestätigt?



### Schritt 2:

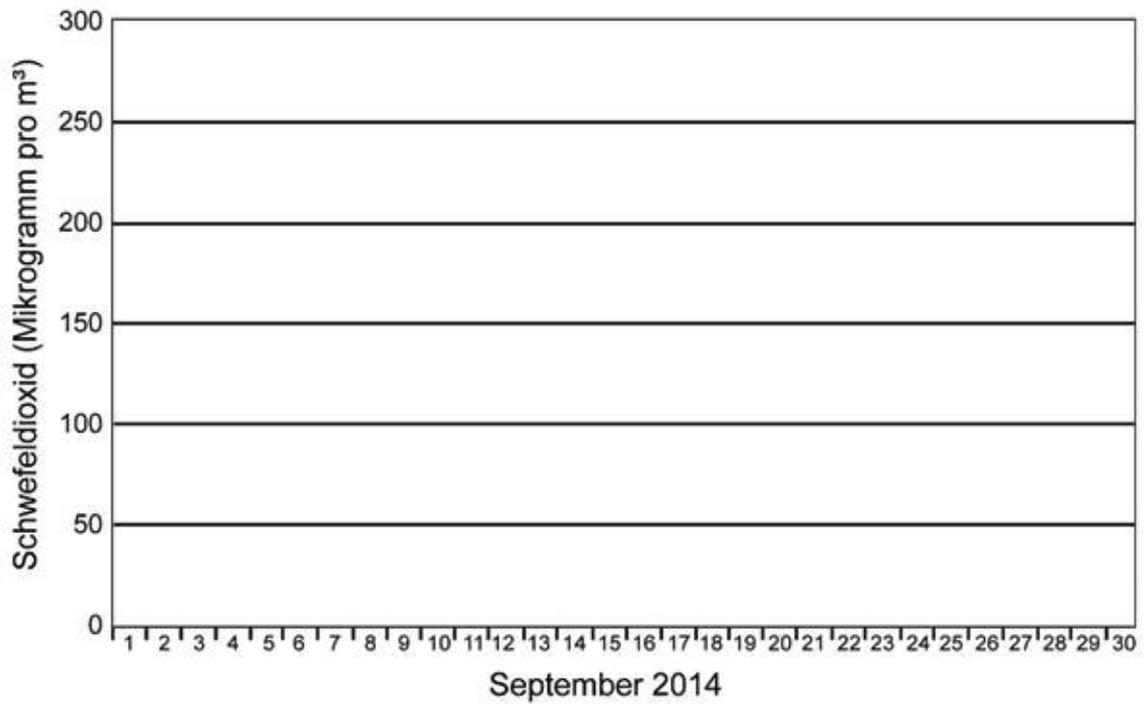
Eine so hohe Belastung der Luft mit Schwefeldioxid wurde am Masenberg noch nie zuvor gemessen. Um herauszufinden, woher das Schwefeldioxid stammen könnte, müsst ihr nun recherchieren. Mit einer Suchmaschine werdet ihr wahrscheinlich bald fündig. Welche Begriffe müsst ihr googeln, um zu einer Lösung des Rätsels zu kommen?



**Schritt 3:**

Erfüllt folgende Aufgaben:

Zeichnet den ermittelten Verlauf der gemessenen Schwefeldioxidwerte vom September 2014 in das Diagramm ein!



Die Quelle der hohen Schwefeldioxidwerte am Masenberg am 22.9.2014 war?

> \_\_\_\_\_

Wie gelangte das Schwefeldioxid von seiner Quelle bis zum Masenberg ?

> \_\_\_\_\_

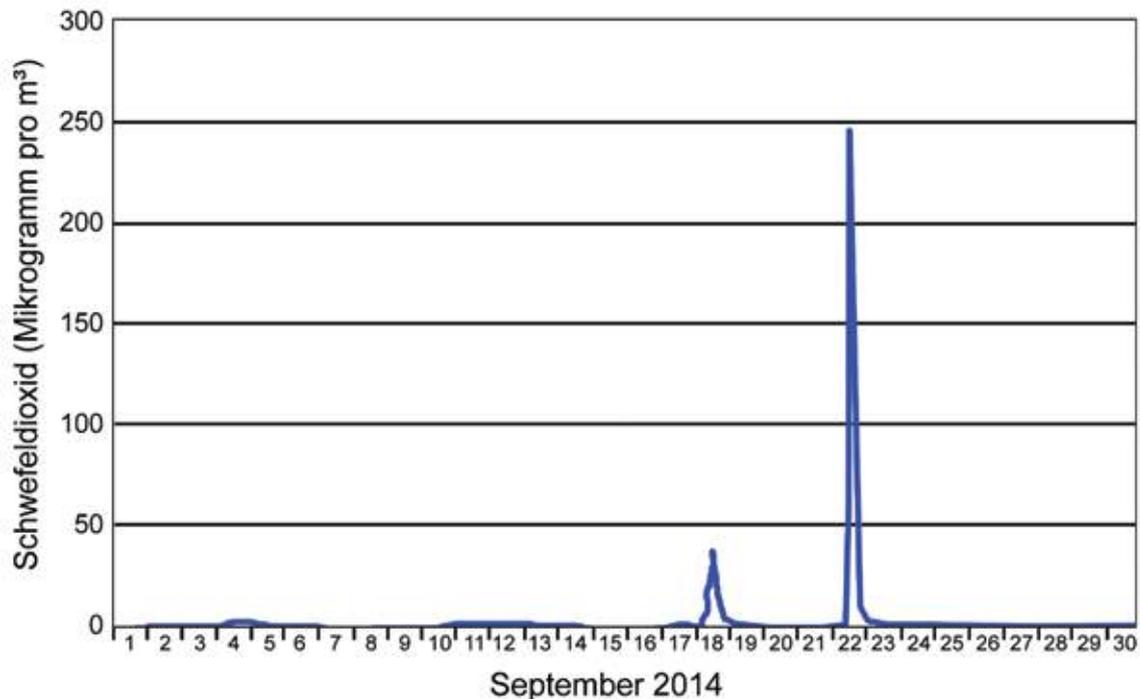
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### Schritt 3:

Erfüllt folgende Aufgaben:

Zeichnet den ermittelten Verlauf der gemessenen Schwefeldioxidwerte vom September 2014 in das Diagramm ein!



Die Quelle der hohen Schwefeldioxidwerte am Masenberg am 22.9.2014 war?

> *Das Schwefeldioxid stammte vom isländischen Vulkan Bárðarbunga.*

Wie gelangte das Schwefeldioxid von seiner Quelle bis zum Masenberg ?

> *Der Ausbruch des Bárðarbunga begann schon am 28. August 2014 und endete erst im Februar 2015. Dabei stieß er ständig vulkanische Asche und große Mengen Schwefeldioxid aus. Ende September 2014 herrschte eine Wetterlage über Europa, bei der Nordwestwind diese Abgase bis nach Mitteleuropa transportierte. Besonders hohe Konzentrationen wurden am Alpenostrand registriert, wo auch die Messstation Masenberg liegt.*

*Das Beispiel zeigt eine „Fernverfrachtung“ eines Luftschadstoffes, in diesem Fall sogar ohne Beteiligung von menschlich bedingten Abgasen.*

*Zur Lösung kommt man gleich, wenn man zB „Schwefeldioxid Masenberg September 2014“ googelt.*

# Besichtigung Luftgüte-Messstation

Outdoor 2 

Schulstufe: ab 7.-8. / Dauer: je nach Standort der Messstation / Ort: Schulausflug

## Aufgabe:

Besuch einer Luftgüte-Messstation

## Ziele:

- Funktionsweise der Luftgüte-Überwachung kennen lernen
- Eine Einrichtung in der eigenen Gemeinde (falls Messstation vor Ort) kennen lernen
- Schwerpunkte der Luftgüte-Überwachung im eigenen Umfeld erkennen

## Material:

keines

## Ablauf:

In der Steiermark werden derzeit (2016) 38 ortsfeste Messstationen betrieben. Auf Seite 68 findet sich eine Karte dieser Stationen. Die dortigen Geräte, die Luftschadstoffe registrieren, sind in Messcontainern untergebracht. Oft sind diese unscheinbar und u. U. geht man am Schulweg täglich an ihnen vorbei, ohne sie zu registrieren, denn einige Stationen stehen auch in der Nähe von Schulen. Über eine Ansaugvorrichtung über dem Containerdach wird die Luft in das Innere des Containers gesaugt und gelangt dort in diverse Messgeräte, wo sie automatisch analysiert wird und von wo die Daten dann automatisch in die Luftgüteüberwachungszentrale nach Graz übertragen werden. Gemessene Luftschadstoffe sind je nach Standort: Feinstaub ( $PM_{10}$  und  $PM_{2,5}$ ), Schwefeldioxid ( $SO_2$ ), Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid ( $NO_2$ ), Ozon ( $O_3$ ) und Kohlenstoffmonoxid (CO).



Für interessierte Klassen besteht die Möglichkeit, eine solche Messstation von innen zu sehen. Eine Besichtigung ist aber nur sinnvoll, wenn sie Teil eines umfangreicheren Schulprojekts zum Thema Luft ist und somit eine zusätzliche Unterrichtseinheit als Vertiefung darstellt. Klassen können sich unter Tel.: 0316 / 877-2172 oder [luft@stmk.gv.at](mailto:luft@stmk.gv.at) bei der Luftgüteüberwachungszentrale melden, um ihr Interesse für einen Besuch einer Messstation oder der Luftgüteüberwachungszentrale in Graz anzumelden. Eine Verfügbarkeit von Besichtigungsterminen hängt allerdings von vorhandenen Ressourcen der dortigen MitarbeiterInnen ab.

# Langzeit-Staubmessung

Outdoor 3



Schulstufe: ab 5. / Dauer: 2 x 3 Stunden / Ort: Umfeld der Schule und Klasse

## Aufgabe:

Sammeln von Staubniederschlägen im Umfeld der Schule

## Ziele:

- Durchführen, Dokumentieren und Auswerten einer einfachen Messung
- Üben von vorwissenschaftlichem Arbeiten
- Erkennen, dass sich auch in der optisch reinen Luft (Fein)staub befindet

## Material:

### Für die Messung

- eine Packung Objektträger inkl. Objektträger-Transportbox
- pro Zweiergruppe ein Lineal
- pro Zweiergruppe ein Glasschreiber (Permanent-Schreiber)
- kariertes Papier
- Glycerin
- Plastikspritze (gefüllt mit Glycerin)
- runde kleine Klebepunkte
- pro Zweiergruppe ein Klemmbrett
- Pfeil aus Karton auf Stab

- Nummern 1-20 einzeln auf Papier ausgedruckt
- Fotoapparat für Dokumentation
- pro Zweiergruppe ein Protokollblatt „Staubprobe“
- Karte oder Luftbild der Schulumgebung

### Für die Auswertung

- Overheadprojektor und -folie
- evtl. Handlupen
- Mikroskop, ideal ist ein USB-Mikroskop
- Millimeterpapier

## Vorbereitende Arbeiten:

### Schritt 1:

Zum Kauf benötigter Produkte siehe „Tipps“.

### Schritt 2:

Eine Karte oder idealerweise ein Luftbild des Umfelds der Schule wird benötigt. Diverse Online-Produkte liefern hier Material (zB google earth, google maps, GIS-Steiermark ...). In der Mitte des Luftbildes sollte die Schule sein, je nach Ausmaß der durchgeführten Messung sollten die Straßen um die Schule noch am Bild sein. Von diesem Luftbild wird ein A4-Ausdruck benötigt.



### Schritt 3:

Auf 20 A4-Blättern werden die Zahlen 1-20 groß ausgedruckt.

### Schritt 4:

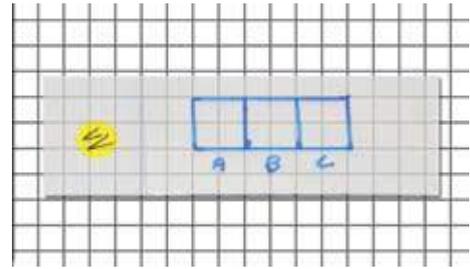
Ein Kartonpfeil auf einem ca. 1 Meter langen Stab wird gebastelt.



## Arbeiten in der Klasse:

### Schritt 1:

Pro Zweiergruppe wird ein Glasplättchen (Objektträger zum Mikroskopieren) ausgeteilt. Dieser darf nur seitlich berührt und nicht auf der Glasfläche durch Fingerabdrücke verschmutzt werden. Jede Gruppe zeichnet mit einem dünnen, wasserfesten Stift 3 Quadratzentimeter nebeneinander auf eine Glasseite. Am einfachsten geht das, wenn man das Glasplättchen auf ein kariertes Papier legt und die Quadratzentimeter von dort überträgt.



### Schritt 2:

Die 3 Quadratzentimeter erhalten außerhalb die Bezeichnung A, B und C.

### Schritt 3:

Jedes Plättchen bekommt eine Nummer (zB auf einem Klebepunkt).

## Messung im Freien:

### Schritt 1:

Die Messung beginnt vor der Schule. Die erste Gruppe wählt einen Platz, an dem sie ihr Messplättchen auslegen möchte. Dieser Platz sollte einige Kriterien erfüllen:

- Er sollte vor Regen geschützt sein, aber trotzdem deutlich die Außenluft repräsentieren (also zB auf einer Fensterbank, unter einem Dachvorsprung des Haltestellenhäuschens ...).
- Er darf nicht gut einsehbar sein, da sonst PassantInnen/andere SchülerInnen das Messplättchen entfernen könnten (also zB Platz über Augenhöhe).
- Wenn er am Besitz schulfremder Personen liegt (zB Fensterbank eines benachbarten Hauses), müssen die BesitzerInnen um Erlaubnis gefragt werden.

Nun wird das Plättchen für die Messung vorbereitet, indem Glycerin auf das Plättchen aufgebracht wird, auf dem dann Staub kleben bleiben soll. Das geht so: Mit einer Spritze wird ein kleiner Tropfen Glycerin auf eine Seite des Objektträgers aufgebracht und mit einem anderen, leeren Objektträger (nicht mit dem Finger) über die 3 cm<sup>2</sup> gleichmäßig verstrichen. Das Glycerin darf dabei nicht auf jene Seite aufgebracht werden, auf der die 3 cm<sup>2</sup> gezeichnet wurden, sondern auf die unbemalte Seite.



### Schritt 2:

Das so präparierte Plättchen wird nun mit der Flüssigkeitsfläche nach oben am ausgewählten Ort positioniert.

### Schritt 3:

Der Ort der Probe muss nun genau dokumentiert werden. Eine Person hält das Blatt mit der Nummer 1 hoch, eine andere Person hält den Kartonpfeil so, dass er genau auf die Stelle der Probe zeigt. Eine dritte Person macht davon ein Foto aus einigen Metern Entfernung, sodass der gesamte Beprobungsort Nr. 1 gut als Übersicht abgebildet ist.



#### Schritt 4:

Im Luftbild wird der Ort der Probe gesucht und mit einem Klebepunkt mit der Nummer 1 darauf markiert.

#### Schritt 5:

Die Gruppe füllt nun noch den Protokollbogen für den eigenen Beprobungsort aus.

Grund der genauen Dokumentation ist, dass man nach Ende der Beprobungszeit die Glasplättchen wieder alle finden muss bzw. man die Messung auch nach einiger Zeit noch nachvollziehen können sollte.

#### Schritt 6:

Auf dieselbe Weise wie in den Schritten 1-5 legen nun alle Gruppen hintereinander ihre Plättchen aus. Hier sollte darauf geachtet werden, dass die Proben unterschiedliche Bereiche erfassen: zB an einer stark befahrenen Straße, bei einer Haltestelle, im Schulhof, auf Grünflächen usw. Sind alle Plättchen ausgelegt, ist dieser Teil der Messung beendet.

#### Schritt 7:

Nach 7-10 Tagen werden alle Plättchen wieder eingesammelt. Mit Hilfe der Dokumentation sollte das kein Problem sein. Auch beim Einsammeln darf niemals die obere Glasfläche berührt werden, sonst ist die Probe zerstört! Nur seitlich angreifen! Die Glasplättchen werden beim Einsammeln in die Objektträger-Transportbox gesteckt, in der sie ohne einander zu berühren geschützt in die Klasse gebracht werden können.

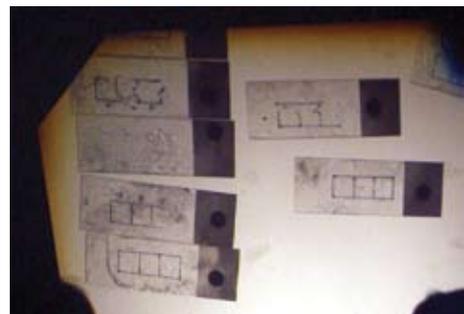


### **Auswertung in der Klasse**

#### Schritt 1:

Die Plättchen werden mit der Klebefläche nach oben nebeneinander auf eine Folie am Overheadprojektor gelegt, die Nummern können daneben auf die Folie geschrieben werden. Es sind nun Unterschiede in der Verschmutzung zu sehen und Fragen können gestellt werden, zB:

- Welche Plättchen sind am stärksten verschmutzt?
- Wo lagen diese schmutzigen Plättchen im Freien?
- Kann man stark verschmutzte Plättchen mit nahen Staubquellen in Verbindung bringen?
- Gibt es Unterschiede zwischen straßenseitigen und hofseitigen Proben?
- Sind Punkte, wo man sich länger aufhält (zB Bushaltestelle), stärker belastet als andere?
- Lassen sich Staubteilchen in den Quadratzentimetern zählen und deren Anzahl auf die Fläche der Gemeinde/Stadt hochrechnen?



Da einige Proben beschädigt oder durch andere Einflüsse verschmutzt sein könnten (zB durch Vögel, Regen ...), wird ein weiterer Sinn der 3 beschrifteten Quadratzentimeter klar. Zumindest ein Quadratzentimeter ist in der Regel unbeeinflusst geblieben. Dadurch lassen sich nun klar definierte, einheitliche Flächen auf den einzelnen Plättchen miteinander vergleichen.

#### Schritt 2:

Jede Gruppe nimmt nun das eigene Plättchen wieder an sich und untersucht die 3 Quadratzentimeter darauf mit Handlupe und/oder Mikroskop. Kann man so schon mehr erkennen?



#### Schritt 3:

Ideal wäre die Verwendung eines USB-Mikroskops, mit dem man Proben vergrößern und direkt am Bildschirm oder über den Beamer gemeinsam betrachten kann. Dazu legt man die Probe auf ein Millimeterpapier und betrachtet beides im Mikroskop. Durch das vergrößerte Millimetermuster am Bildschirm (unterstes Bild) kann man nun einen Millimeter groß erkennen. Nun sucht man Staubteilchen, die so klein sind, dass sie min. 100-mal in diesen Millimeter hineinpassen - das ist dann laut Definition bereits Feinstaub. Man wird auch Teilchen sehen können, die noch kleiner sind. Auf diese Weise lässt sich dieser unsichtbare Luftschadstoff erlebbar machen.



#### Schritt 4:

Werden die Proben nicht mehr benötigt, können sie im Restmüll entsorgt werden.

#### Schritt 5:

Es kann nun noch diskutiert werden, wie man höher staubbelastete Bereiche um die Schule meiden oder die Situation entschärfen kann, zB:

- Soll man den Aufenthalt an stark belasteten Haltestellenbereichen direkt an der Straße vermeiden, indem man erst kurz vor Eintreffen des Busses zur Straße geht?
- Kann man Staubimmissionen verringern, indem man eine Hecke zwischen Straße und Schule pflanzt?
- Kann der Weg zur Schule optimiert werden, indem man über weniger belastete Seitenstraßen geht?
- Sollen Schulhöfe/Innenhöfe autofrei werden?
- usw.

#### **Tipps:**

- Die Glasplättchen (Objektträger zum Mikroskopieren) und dazugehörige Transportboxen gibt es im gängigen Internet-Versandhandel.
- Glycerin ist ein Zuckeralkohol und ebenfalls im Internet-Versandhandel oder in Drogerien erhältlich.
- USB-Mikroskope gibt es ab 30 Euro. Für einen längeren, nachhaltigen Gebrauch wird aber ein nicht zu billiges Gerät empfohlen.
- Bei fehlender EDV-Kenntnis zum Beziehen eines Luftbildes der Schule ist auch die Verwendung eines vergrößerten Stadtplanausschnittes möglich.
- Bei der Wahl des Messzeitraumes sollte darauf geachtet werden, dass der Wetterbericht für diese 7-10 Tage keine längeren Niederschlagsphasen voraussagt.

**Ort / Schule / Klasse**

**Namen der Gruppenmitglieder**

**Nummer der Staubprobe**

**Ausgelegt am**

**Eingesammelt am**

**Beschreibung der Lage der Staubprobe**

**Mögliche benachbarte Staubquellen**

**Foto des Messpunktes vorhanden?**

Ja     Nein

### Aufgabe:

Veränderungen der Luftgüte mittels Bioindikatoren erkennen

### Ziele:

- Kennenlernen eines Instruments für Luft- oder Waldprojekte in Schulen
- Erhalten eines geschichtlichen Überblicks über die Entwicklung der Luftgüte in den letzten Jahrzehnten
- Üben von Karten-Interpretation

### Material:

- Arbeitsblatt „Bioindikatornetz“
- Internet-Zugang (ideal wäre EDV-Raum)

Ein Bioindikator ist ein Lebewesen, das auf Umwelteinflüsse mit Veränderungen seiner Lebensfunktionen reagiert oder Stoffe anlagert oder in den Organismus einbaut. Mit Bioindikatoren lassen sich also auch Rückschlüsse auf Luftverunreinigungen ziehen.

1983 wurde in Österreich das Bioindikatornetz (BIN) als bundesweites, flächendeckendes Beobachtungsnetz eingerichtet. Als Bioindikator wurde die Fichte verwendet, die in Österreich Hauptbaumart ist. Nur im Osten Österreichs wurden - mangels geeigneter Fichtenflächen - auch Kiefern und Buchen herangezogen.

Ziel dieses Programmes ist es, durch die Analysen der Blatt- und Nadelgehalte lokale als auch grenzüberschreitende Immissionseinwirkungen festzustellen und deren zeitliche Entwicklung und räumliche Verteilung aufzuzeigen.

Derzeit werden in den Nadelproben Schwefel und die Nährstoffe Stickstoff, Phosphor, Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen, Mangan und Zink bestimmt. In der Nähe von Emittenten werden zusätzlich die Elemente Fluor, Chlor, Kupfer, Blei und Cadmium analysiert.

Zu finden ist das Österreichische Bioindikatornetz auf [www.bioindikatornetz.at](http://www.bioindikatornetz.at)

### Ablauf:

#### Schritt 1:

Die SchülerInnen gehen auf die Online-Datenbanken von [www.bioindikatornetz.at](http://www.bioindikatornetz.at) bzw. über den direkten Weg zur Abfragemaske auf [http://bfw.ac.at/ws/bin\\_online.auswahl](http://bfw.ac.at/ws/bin_online.auswahl)

#### Schritt 2:

Dort kann für verschiedene Stoffe (zB Schwefel) eine Abfrage für verschiedene Jahre, teils ab 1983, bis heute erstellt werden. Das Ergebnis ist jeweils eine Österreichkarte mit den beprobten Punkten. Eine Anleitung dazu bietet das Arbeitsblatt „Bioindikatornetz“.

#### Schritt 3:

Die SchülerInnen vergleichen einige Jahre miteinander und versuchen einen Trend der Belastung herauszulesen.

#### Schritt 4:

Ursachen für etwaige Trends können diskutiert werden.

Seit 1983 werden in Österreich Bäume (v. a. Fichten) auf ihre Schadstoffbelastung hin untersucht. Dazu werden im ganzen Land jährlich Baumnadeln entnommen und im Labor analysiert. Schwefel gilt bei dieser Auswertung als Leitschadstoff.

Versuche die Entwicklung der Belastung mit Schwefel für vier unterschiedliche Jahre herauszufinden:

### Schritt 1:

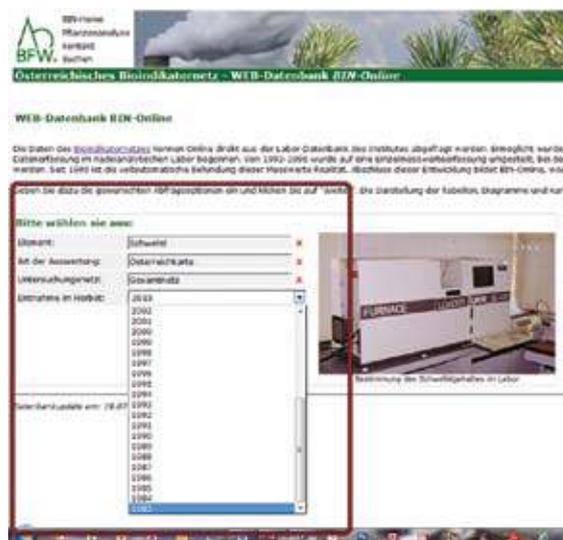
Gehe auf [www.bioindikatornetz.at](http://www.bioindikatornetz.at) bzw. über den direkten Weg zur Abfragemaske auf [http://bfw.ac.at/ws/bin\\_online.auswahl](http://bfw.ac.at/ws/bin_online.auswahl)

### Schritt 2:

Bei „Bitte wählen Sie aus“ wähle bei „Element“ den Schwefel aus und klicke auf „Weiter“. Dann wähle bei „Art der Auswertung“ die Österreichkarte (>Weiter), bei „Untersuchungsnetz“ wähle Gesamtnetz (>Weiter) und bei „Entnahme im Herbst“ schließlich eine beliebige Jahreszahl, zB 1983 als älteste verfügbare Auswertung (>Weiter).

### Schritt 3:

Es erscheint eine Karte von Österreich mit allen 1983 beprobten Bäumen. Bei einigen roten Punkten darin ist laut Legende der „Grenzwert deutlich überschritten“. Rot und orange sind Werte über dem Grenzwert, hell- und dunkelgrün unter dem Grenzwert für Schwefel.



### Schritt 4:

Lasse das Browser-Fenster bestehen, öffne aber ein neues und wiederhole die Schritte 1-3, allerdings mit dem Jahr 1993 in der Auswahlmaske. Es erscheint nun die Karte für 1993.

### Schritt 5:

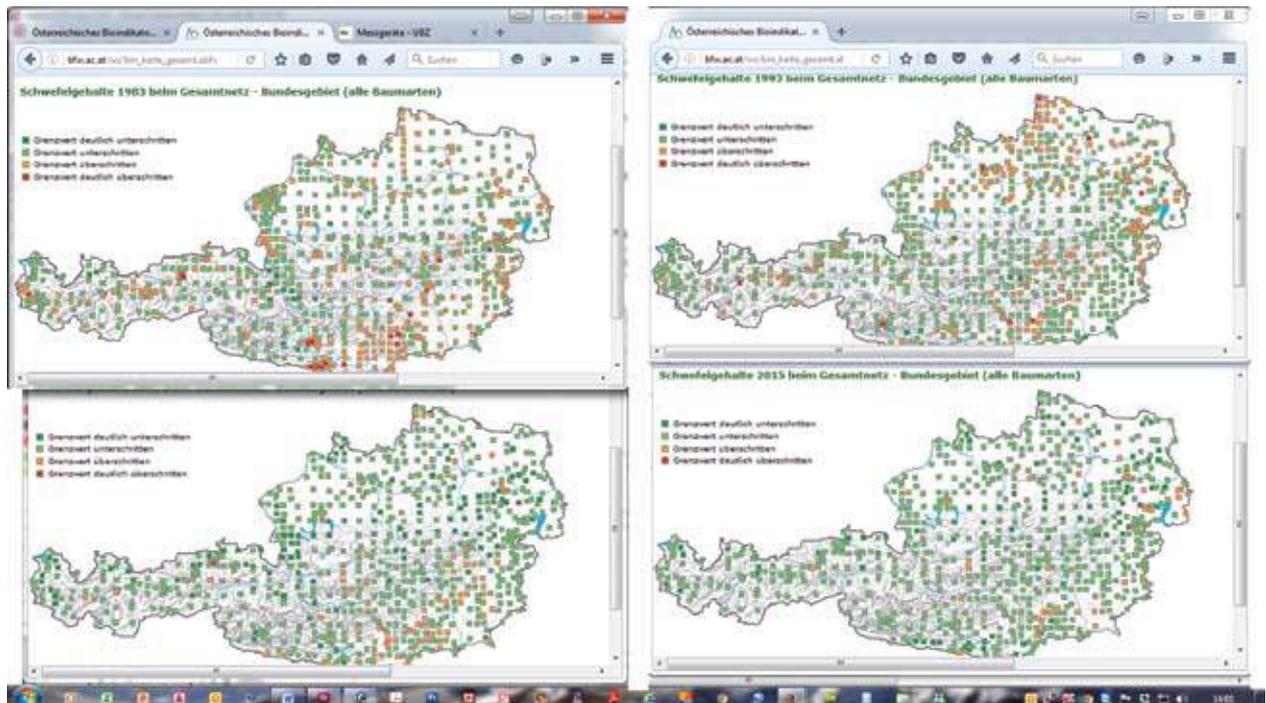
Lasse dieses Browser-Fenster auch bestehen, öffne ein neues und wiederhole die Schritte 1-3, allerdings mit dem Jahr 2003 in der Auswahlmaske. Es erscheint nun die Karte für 2003.

### Schritt 6:

Lasse auch dieses Browser-Fenster bestehen, öffne wieder ein neues und wiederhole die Schritte 1-3, allerdings mit dem aktuellsten Jahr in der Auswahlmaske. Es erscheint nun die aktuellste Karte.

### Schritt 7:

Ordne die vier offenen, verkleinerten Browser-Fenster nun so am Bildschirm an, dass alle vier Karten von 1983 bis heute nebeneinander abgebildet sind. Nun kannst du die Karten direkt miteinander vergleichen.



### Schritt 8:

Beantworte folgende Fragen:

> In welchem Jahr sind die meisten roten Punkte auf der Karte zu sehen?

---

> Gibt es in der aktuellsten Karte noch rote Punkte?

---

> In welchen Gegenden/Regionen Österreichs findet man auch heute noch orange Punkte, also „Grenzwert überschritten“?

---

> Ist seit 1983 der Schwefelgehalt in beprobten Bäumen zurückgegangen, gestiegen oder gleich geblieben?

---

> Wie kann man sich diese Entwicklung erklären?

---

> In welchem Jahr sind die meisten roten Punkte auf der Karte zu sehen?

*im Jahr 1983*

> Gibt es in der aktuellsten Karte noch rote Punkte?

*nein*

> In welchen Gegenden/Regionen Österreichs findet man auch heute noch orange Punkte, also „Grenzwert überschritten“?

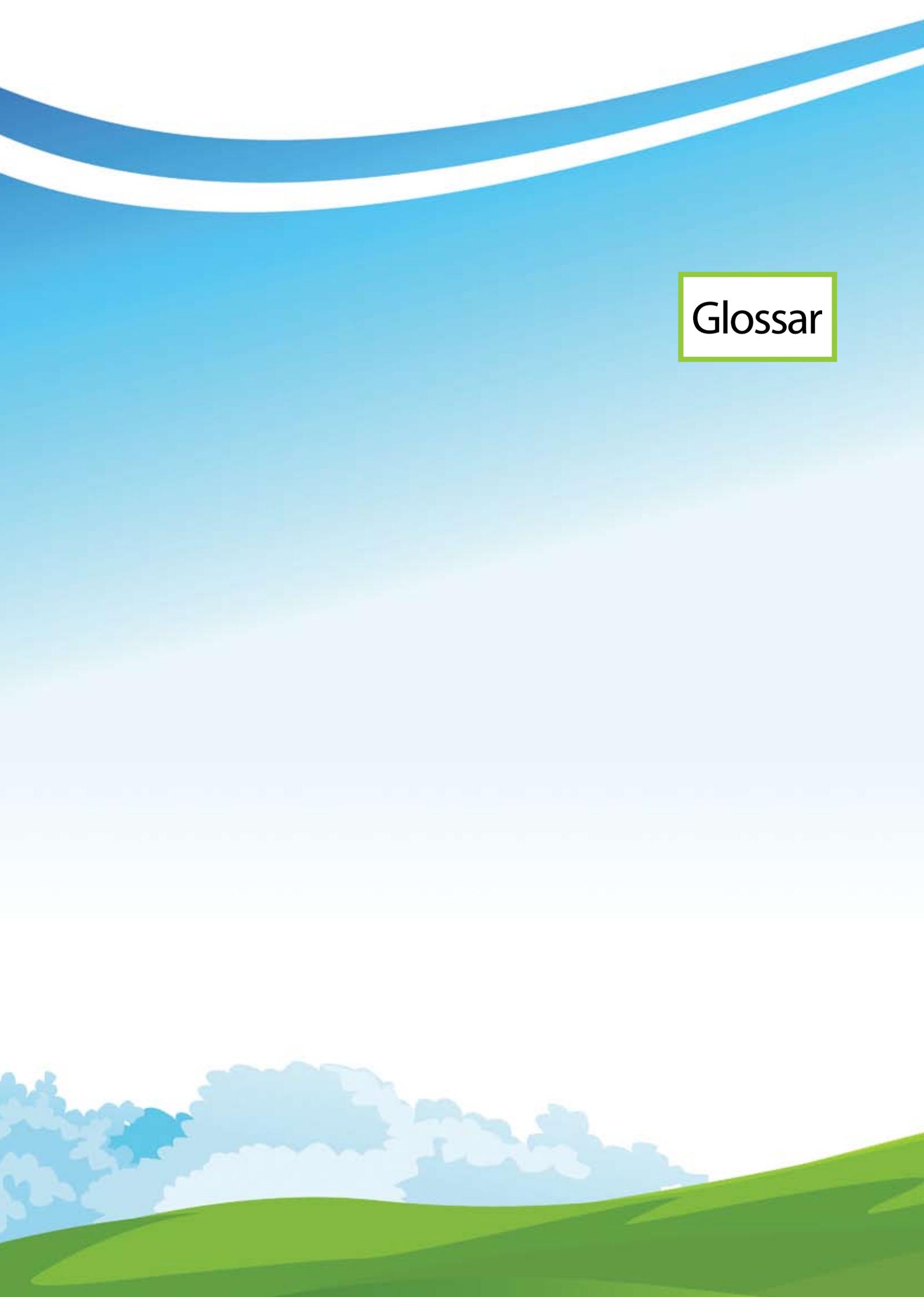
*Im Jahr 2015 fand man außer in Vorarlberg in jedem Bundesland noch orange Punkte, v. a. im Süden und Osten Österreichs häuften sich diese.*

> Ist seit 1983 der Schwefelgehalt in beprobten Bäumen zurückgegangen, gestiegen oder gleich geblieben?

*zurückgegangen*

> Wie kann man sich diese Entwicklung erklären?

*Der Abwärtstrend der Belastung wurde durch mehrere Maßnahmen zur Luftverbesserung erreicht, zB durch die Absenkung von Schwefel im Heizöl, die Forcierung von Erdgas und Fernwärme und den Einbau von Rauchgasentschwefelungsanlagen in den Industriebetrieben. Bäume, die heute noch orange markiert sind, liegen meist im Einflussbereich der Verfrachtungen von größeren Emitenten bzw. Ballungsräumen.*



# Glossar



## Zur Verwendung

Im Glossar finden sich Erklärungen zu jenen Fachbegriffen, die im Text mit dem Symbol → gekennzeichnet waren und dort nicht näher beschrieben wurden. Alle anderen Fachausdrücke (zB Inversion, Halbstundenmittelwert usw.) wurden schon in den Kapiteln des Fachinformationsteiles am Ort ihrer erstmaligen Nennung erläutert.

## A

### **aerodynamischer Durchmesser:**

Da luftgetragene Partikel sehr unterschiedliche Formen und Dichte aufweisen können, ist der aerodynamische Durchmesser eine geeignete Größe, um eine Reihe von Prozessen zu beschreiben. Er entspricht demjenigen Durchmesser, den ein kugelförmiges Teilchen der Dichte  $1 \text{ g/cm}^3$  haben müsste, damit es die gleiche Sinkgeschwindigkeit aufweisen würde wie das betrachtete Teilchen.

### **Aerosole:**

Feste und/oder flüssige Teilchen, die in der Luft schweben. Flüssige Schwebstoffe werden als Nebel oder Dunst, feste als Stäube bzw. Rauch bezeichnet.

### **Amine:**

Basische, Stickstoffenthaltende Verbindungen, ableitbar vom →Ammoniak.

### **Ammoniak:**

Farbloses, stechend riechendes und in Wasser gut lösliches Gas mit der chemischen Formel  $\text{NH}_3$ . Ammoniak entsteht bei der Fäulnis organischer Substanzen (Zersetzung der in den Eiweißen enthaltenen Aminosäuren) und ist Grundstoff für die chemische Industrie (Düngemittel, Kunstfasern, Salpetersäure).

### **anthropogen:**

Durch menschliches Handeln direkt oder indirekt geschaffen, geprägt oder beeinflusst.

### **Aromate:**

Sammelbezeichnung für aromatische Kohlen-

wasserstoffe, die als Grundbaustein den Kohlenwasserstoff Benzol ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) enthalten. Sie besitzen im Molekülaufbau eine besonders stabile, symmetrische Elektronenanordnung. Vertreter sind Benzol, Toluol, Xylole, Naphthalin u. a.

## C

### **Cirruswolken:**

Hohe, vollständig aus Eisteilchen bestehende, dünne Wolkenfetzen und Wolkenschlieren mit faser- oder haarartigem Aussehen.

## D

### **Diffusion:**

Selbstständig verlaufende Vermischung von miteinander in Berührung stehenden Stoffen (zB Gasgemischen, Flüssigkeiten, Lösungen) verschiedener Konzentration infolge ihrer Wärmebewegung. Dadurch ist ein Stofftransport an einem Konzentrationsgefälle bis zum Konzentrationsausgleich möglich.

## E

### **Ecodriving:**

Ein Fahrstil für Kfz, der sich durch niedertouriges und vorausschauendes Fahren auszeichnet. Er bewirkt eine Verringerung des Treibstoffverbrauchs und des Fahrzeugverschleißes.

### **Edelgase:**

Farb- und geruchlose Gase, die in der Regel keine chemischen Reaktionen eingehen. Sie bilden auch miteinander keine Moleküle, sondern sind einatomig. Der Grund hierfür ist, dass Edelgase entweder vollständig mit Elektronen besetzte oder leere Elektronenschalen haben. Zu den Edelgasen zählen Helium, Neon, Argon, Krypton, Xenon und Radon.

### **Eutrophierung:**

Nährstoffübersättigung von Gewässern oder Böden durch Eintrag hoher Nitrat- und Phosphatmengen.

## F

### **FCKWs (Fluorchlorkohlenwasserstoffe)**

Sie werden zB als Kältemittel für Kühl- und Gefriergeräte, Wärmepumpen und Klimaanlage, als Schäumungsmittel für Kunststoffe oder als chemische Reinigungsmittel verwendet. Sie können die Ozonschicht in der Stratosphäre zerstören, wofür die in den FCKW enthaltenen Chloratome verantwortlich sind. Durch die UV-Strahlung werden die Chlorverbindungen gespalten und Chlor-Radikale freigesetzt, welche die Ozonmoleküle zerstören. Die Folge ist eine erhöhte UV-Einstrahlung auf die Erde. Mittlerweile ist ihre Verwendung aber weitgehend verboten.

### **flüchtige organische Verbindungen**

Abgekürzt VOC (= volatile organic compounds). Chemisch unterschiedliche organische Substanzen, deren Siedebereich zwischen 50 bis 100 °C als unterer Grenze und 240 bis 260 °C als oberer Grenze liegt. Solche Verbindungen kommen häufig in Form von Lösungsmitteln in Farben und Lacken, in Reinigungsmitteln, in Körperpflegeprodukten, aber auch als Treibmittel in Spraydosen zur Anwendung.

## G

### **Gaspendelsystem:**

Einrichtung zum Verhindern des Entweichens von Treibstoffdämpfen zwischen Tankwagen, Erdtank und PKW-Tank.

### **Globalstrahlung:**

Die auf eine horizontale Fläche auftreffende solare Gesamtstrahlung, bestehend aus der direkten kurzwelligigen Solarstrahlung (parallele Strahlen, die direkt aus der Sonne kommen) und langwelliger diffuser Himmelsstrahlung (durch Streuung aus allen Richtungen auf die Erdoberfläche auftreffende Strahlen).

## I

### **Ionisation:**

Prozess, bei dem ein Atom (oder Ion) ein Elek-

tron verliert. Ionisation kann durch einen Stoß mit einem energiereichen Elektron oder Photon erfolgen. Auch durch Kontakt mit angeregten Atomen oder mit einer heißen Oberfläche kann es zur Ionisation kommen.

### **Isopren:**

Ungesättigter Kohlenwasserstoff mit der Bezeichnung  $C_5H_8$ .

## K

### **Kumulationseffekt:**

Stoffwirkung durch ständige Aufnahme kleiner Dosen, die sich durch diese allmähliche Ansammlung verstärkt.

## L

### **Leelage:**

Dem Wind abgewandte bzw. im Windschatten liegende Seite. Die Leeseiten der Gebirge sind durch besondere klimatische Eigenschaften wie höhere Sonnenscheindauer und geringere Niederschläge gekennzeichnet.

### **Lungengängigkeit:**

Eigenschaft von Stoffen, insbesondere von Feinstäuben, nicht im oberen Bereich des Atemtrakts hängenzubleiben, sondern bis in die Alveolen zu gelangen. Schadstoffe mit Lungengängigkeit (zB Asbest) können schwere Erkrankungen auslösen.

## M

### **Mischungsschicht:**

Luftschicht unter der Inversion, in der sich die Vermischungsprozesse von Emissionen mit der Umgebungsluft zutragen.

### **Mykorrhiza:**

Pilze, die in Symbiose mit Pflanzen als Mantel um deren Feinwurzelsystem leben. Die Mykorrhizapilze liefern der Pflanze Nährstoffe und Wasser und erhalten im Gegenzug einen Teil der durch die Photosynthese der (grünen) Pflanzen erzeugten Energie.

## N

### **Nitrat:**

Das Salz der Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ). Nitrate werden als Mineraldünger zur Stickstoffversorgung der Pflanzen im Agrarbereich genutzt. Als leicht wasserlösliche Substanzen werden sie mit dem Niederschlagswasser in Oberflächengewässer und ins Grundwasser transportiert.

## P

### **Perlmutterwolken:**

Irisierende (wie der Regenbogen schillernde) Wolken aus Eiskristallen, in etwa 25 Kilometern Höhe, die noch lange nach Sonnenuntergang zu beobachten sind. Sie treten in der Regel nur zwischen dem 55. und 65. nördlichen Breitengrad auf.

### **Peroxiradikale:**

Werden durch die Reaktion  $\rightarrow$ flüchtiger organischer Verbindungen mit OH-Radikalen nach Anlagerung von Luftsauerstoff gebildet.

### **photochemisch:**

Eine Reaktion wird als photochemisch bezeichnet, wenn dem System die dafür nötige Energie über Lichtanregung zugeführt wird.

### **Photolyse:**

Zerlegung oder Zerstörung von chemischen Verbindungen in ihre einzelnen Bestandteile durch Einstrahlung von Licht (oft von UV-Licht oder Strahlung noch höherer Energie). Auch Photodissoziation genannt.

## R

### **Radikalbildung:**

Bildung von elektrisch neutralen Atomen oder Atomgruppen, die ein oder mehrere freie Elektronen besitzen und sehr reaktionsfreudig sind.

### **Rekombination:**

Die Wiedervereinigung der durch  $\rightarrow$ Ionisati-

on entstandenen Teile eines Atoms oder Moleküls, zB von positiv geladenen Atomen und freien Elektronen zu elektrischen neutralen Atomen.

## S

### **Salpetersäure:**

Reine Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ) ist farblos und hat einen scharf stechenden Geruch. Sie wird unter anderem zur Herstellung von Düngemitteln, Farbstoffen und Sprengstoffen verwendet. Der Name leitet sich vom Salpeter ab, aus dem sie durch Zugabe einer stärkeren Säure (Schwefelsäure) gewonnen werden kann.

### **Schwefelsäure:**

Farblose, geruchlose, ölige Flüssigkeit. Konzentrierte Schwefelsäure enthält meist 95-96 Gewichtsprozent  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , der Rest ist Wasser. Schwefelsäure ist auch Bestandteil des sauren Regens. Bei der Verbrennung von schwefelhaltiger Kohle und schwefelhaltigen Erdölprodukten entweicht Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) in die Atmosphäre. Dieses wird weiter zu Schwefeltrioxid ( $\text{SO}_3$ ) oxidiert. Aus Schwefeltrioxid und Wasser bildet sich dann Schwefelsäure.

### **Spurengase:**

Außer den Hauptbestandteilen der Luft und dem Wasserdampf alle natürlichen und künstlichen Gase der Atmosphäre, die nur sehr geringe Anteile am Luftgemisch haben (zB Kohlendioxid, Neon, Wasserstoff, Helium ...)

## T

### **Terpene:**

In der Natur weit verbreitet, vor allem in Pflanzen als Bestandteile der ätherischen Öle. Diese Naturstoffe werden vom  $\rightarrow$ Isopren abgeleitet.





# Quellenangaben



## Verwendete Quellen

Für die Erstellung der Inhalte des Fachinformationsteiles wurden folgende Quellen verwendet:

### **Amt der Steiermärkischen Landesregierung**

Abteilung 15 – Energie, Wohnbau, Technik  
Referat Luftreinhalteprogramm: Luftgütemessungen in der Steiermark (Jahresberichte) / Diverse Messberichte, Graz.

### **Amt der Steiermärkischen Landesregierung**

Abteilung 13 - Umwelt und Raumordnung  
Abteilung 15 - Energie, Wohnbau, Technik  
Luftreinhalteprogramm Steiermark - Maßnahmenkatalog, Graz, 2014.

### **Bayerisches Landesamt für Umwelt**

UmweltWissen – Schadstoffe: [www.lfu.bayern.de/umweltwissen](http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen)

### **Bundesministerium für Bildung und Frauen**

Grundsatzertlass „Umweltbildung für nachhaltige Entwicklung“, GZ BMBF-37.888/0062-I/6c/2014, Rundschreiben Nr. 20/2014, Wien.

### **Lieb, G.K.**

Unpublizierter Text zur Geschichte der Steiermark

### **Schulatlas Steiermark**

Thema Luft: [www.schulatlas.at](http://www.schulatlas.at)

### **Umweltbundesamt**

Diverse Jahresberichte der Luftgütemessungen in Österreich, Wien.

### **Umweltbundesamt**

Emissionstrends 1990-2013. Ein Überblick über die Verursacher von Luftschadstoffen in Österreich (Datenstand 2015), Wien, 2015.





# Kontaktadressen



### Luftgüte in der Steiermark

Für die Steiermark stehen eine breite Palette an Informationen und Publikationen rund um die steirische Luft zur Verfügung:

#### **Amt der Steiermärkischen Landesregierung Abteilung 15 Energie, Wohnbau, Technik Referat Luftreinhaltung - Luftgütezentrale**

Landhausgasse 7  
8010 Graz  
Tel.: 0316 / 877-2172  
Fax: 0316 / 877-4569  
Mail: [luft@stmk.gv.at](mailto:luft@stmk.gv.at)  
Auf [www.umwelt.steiermark.at](http://www.umwelt.steiermark.at) findet sich im Menü links u. a. das Thema Luft. Dort gibt es Onlinedaten, tägliche Luftgüteberichte, Karten, Messberichte und zahlreiche weitere fachliche Publikationen.

#### **Stadt Graz Umweltamt**

Schmiedgasse 26/IV  
8011 Graz  
Tel.: 0316 / 872-4301  
Fax: 0316 / 872-4309  
Mail: [umweltamt@stadt.graz.at](mailto:umweltamt@stadt.graz.at)  
Auf [www.umwelt.graz.at/cms/ziel/6669434](http://www.umwelt.graz.at/cms/ziel/6669434) findet man speziell für den Grazer Raum Luftgütedaten und Informationen zur Luft in der Landeshauptstadt.

#### **Umwelt-Bildungs-Zentrum Steiermark**

Brockmanngasse 53  
8010 Graz  
Tel.: 0316 / 835404  
Fax: 0316 / 817908  
Mail: [office@ubz-stmk.at](mailto:office@ubz-stmk.at)  
Auf [www.ubz-stmk.at/luft](http://www.ubz-stmk.at/luft) finden sich Umsetzungsmöglichkeiten von Luftprojekten in Schulen und Materialien bzw. weitere Angebote für Lehrende, die dieses Thema im Unterricht behandeln möchten.

### Luftgüte in Österreich

Bundesweit bieten folgende Institutionen Auskünfte und Informationen zum Thema Luft an:

#### **Umweltbundesamt**

Spittelauer Lände 5  
1090 Wien  
Tel.: 01 / 313-04  
Fax: 01 / 313-04-5400  
Mail: [office@umweltbundesamt.at](mailto:office@umweltbundesamt.at)  
Auf [www.umweltbundesamt.at/luft](http://www.umweltbundesamt.at/luft) gibt es österreichweite Messwerte, Tages- bis Jahresberichte, Prognosen, Informationen über Luftschadstoffe u. v. m.

#### **Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft**

Stubenring 1  
1010 Wien  
Tel.: 01 / 711-00-0  
Fax: 01 / 513-16-79-9900  
Mail: [service@bmlfuw.gv.at](mailto:service@bmlfuw.gv.at)  
Auf [www.bmlfuw.gv.at/umwelt/luft-laerm-verkehr/luft.html](http://www.bmlfuw.gv.at/umwelt/luft-laerm-verkehr/luft.html) finden sich u. a. rechtliche Grundlagen zur Gesetzeslage rund um die Luft in Österreich.