INFORMATIONEN ZUR UMWELTPOLITIK

Feinstaub am Arbeitsplatz

Die Emissionen ultrafeiner Partikel und ihre Folgen für ArbeitnehmerInnen

Tagungsband

Franz Greil (Hrsg)

170



Wien, 2006 ISBN 978-3-7062-0095-0 ISBN 3-7062-0095-3

Feinstaub am Arbeitsplatz

Die Emissionen ultrafeiner Partikel und ihre Folgen für ArbeitnehmerInnen

Tagungsband

Franz Greil (Hrsg)



Zusammenstellung: Franz Greil (AK Wien)

Layout: Christine Schwed (AK Wien)

Zu beziehen bei: Kammer für Arbeiter und Angestellte für Wien

1040 Wien, Prinz-Eugen-Straße 20-22

Tel.: ++43 (0) 1 -501 65/ 2698 Fax: ++43 (0) 1 -501 65/ 2105 E-Mail: <u>christine.schwed@akwien.at</u>

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

© 2006, by Bundeskammer für Arbeiter und Angestellte, 1041 Wien, Prinz-Eugen-Straße 20-22

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist bei Der Deutschen Bibliothek erhältlich

Medieninhaber, Herausgeber, Vervielfältiger: Bundeskammer für Arbeiter und Angestellte, Prinz-Eugen-Straße 20-22, 1041 Wien. Die in den "Informationen zur Umweltpolitik" veröffentlichten Artikel geben nicht notwendigerweise die Meinung der Bundeskammer für Arbeiter und Angestellte wieder.

Vorwort

Feinstaub ist als Umweltproblem allgemein anerkannt. Die besonderen und erhöhten Gefahren, denen ArbeitnehmerInnen durch Feinstaub am Arbeitsplatz ausgesetzt sind, bleiben in der Öffentlichkeit jedoch unberücksichtigt. Die Fachveranstaltung "Feinstaub am Arbeitsplatz – Die Emissionen ultrafeiner Partikel und ihre Folgen für ArbeitnehmerInnen", die am 29. November 2005 in Wien stattfand, versuchte daher Schnittstellen zwischen allgemeiner Umweltpolitik und Arbeitnehmerschutzanliegen aufzuzeigen.

Der thematische Bogen wird dabei von Gefahren, Präventionen, Kontrollmöglichkeiten am Arbeitsplatz bis zu vorbildhaften Praktiken im Ausland gespannt. Im Mittelpunkt stehen die Belastungen von Bauarbeitern und anderen exponierten Berufsgruppen, die aufgrund hoher Emissionen von dieselbetriebenen Motoren besonderen Gefahren ausgesetzt sind. Besonderes Augenmerk wird daher auf ultrafeine Partikel aus diesen Motoren gelegt, da zahlreiche Studien einen Zusammenhang mit Atemwegserkrankungen, mit Herz- und Kreislauferkrankungen sowie mit Krebs belegen.

Der Beitrag von Jürgen Schneider, Umweltbundesamt, ist als Einführung in den Off-road-Sektor angelegt, der vor allem die gesetzlichen Rahmenbedingungen und den enormen Feinstaub-Ausstoß dieses äußerst heterogenen Sektors darlegen soll.

Die konkrete Belastung bei ultrafeinen Partikeln für Bauarbeiter zeigt Alexander Graff, Österreichische Staub (-Silikose-) Bekämpfungsstelle (ÖSBS) in Leoben, auf, der in Österreich erstmalig beim Bau des Plabutsch-Tunnels diesbezügliche Messungen vorgenommen hat. Als Ergänzung zu seinem Vortrag veröffentlichen wir nochmals seinen Beitrag "Klein, aber nicht fein".¹

Wilfried Bursch, Univ. Prof. an der Medizinischen Universität Wien, nimmt eine allgemeine toxikologische Risikoabschätzung bei Feinstaub vor und verweist vor allem auf das toxische Potential kleiner Feinstaub-Fraktionen (PM 2,5, PM 1) hin.

Im Beitrag von Hans Mathys, Abteilungsleiter für Luftkontrolle im Kanton Zürich, werden die Erfahrungen in der Schweiz mit der Feinstaubprävention erläutert. Im Mittelpunkt steht die eidgenössische Luftreinhalte Verordnung, die, gemessen an europäischen Bedingungen, eine einzigartige Nachrüstung von Baumaschinen mit Dieselpartikelfiltern bewirkt hat.

Der Luftsachverständige Arthur Sottopietra erörtert ebenfalls den Einsatz von Dieselpartikelfilter in der widersprüchlicheren Praxis des österreichischen Anlagenrechts und Immissionsschutzes und stellt rechtliche Anknüpfungspunkte für verbesserte Arbeitsbedingungen her.

¹ Alexander Graff: Klein, aber nicht fein. In: Wirtschaft und Umwelt. Ausgabe 4. Wien, 2005

Die in diesem Band gesammelten Beiträge sind Referate dieser Fachtagung, die im Nachhinein von den Referenten schriftlich abgeändert wurden. Dabei handelt es sich um persönliche Ansichten der Referenten, die nicht notwendigerweise mit denen ihrer Organisationen übereinstimmen müssen.

Wien, Juni 2006 Franz Greil

Inhaltsverzeichnis

1.	Die	Feinsta	ubemissionen des Offroadsektors und der Bauwirtschaft	
	in Ö	sterreio	ch (Jürgen Schneider)	1
	1.1		aubemissionen in Österreich	
	1.2	Grenz	verte für mobile Maschinen und Geräte	4
	1.3		missionsschutzgesetz Luft und die PM10-Belastung in	
			eich	
	1.4		itrag von Baustellenemissionen zur Schwebestaubbelastung	
	1.5		hmen zur Verminderung der PM10-Belastung	
	1.6		menfassung und Fazit	
	1.7	Literati	Jr	16
2.	Klei	n, aber	nicht fein (Alexander Graff)	17
	2.1		motoremissionen und ultrafeine Partikel	
3.	Die	aesund	heitlichen Belastungen durch Feinstaub und Dieselruß –	
•		_	abschätzung (Wilfried Bursch)	31
	3.1		ung: Grundlagen der toxikologischen Risikobewertung	
	3.2		nadstoffe	
	3.3		chtungen am Menschen (Epidemiologie)	
	3.4		nismen der Schadwirkung von Stäuben	
	3.5		pewertung	
	3.6	Literati	ır	37
4.	Fein	staubp	rävention im Off-Road-Sektor - die Erfahrungen in der	
			ans Mathys)	41
5.	Fein	staub a	ım Arbeitsplatz	
			r - Stand der Technik aus rechtlicher und technischer	
			Sottopietra)	53
		•	aub	
	5.2	Gesun	dheitliche Auswirkungen von Feinstaub	56
	5.3	Diesel	partikelfilter	61
		5.3.1	Dieselpartikelfilter sind Stand der Technik	61
		5.3.2	Emissionsminderung nach Stand der Technik in	
			Genehmigungs-Verfahren	68
	5.4	Literati	ır	72
Δι	torer	nlieta		gg

1. Die Feinstaubemissionen des Offroadsektors und der Bauwirtschaft in Österreich

Jürgen Schneider, Umweltbundesamt

1.1 Feinstaubemissionen in Österreich

Feinstaub in der Atmosphäre hat eine Reihe von verschiedenen Quellen. Er kann entweder direkt in die Luft freigesetzt werden – dieser wird als primärer Feinstaub bezeichnet – oder in der Atmosphäre aus gasförmigen Vorläufersubstanzen wie SO₂, NOx, NH₃ und NMVOC durch luftchemische Prozesse gebildet werden. Bei den primären Quellen können anthropogene und nicht-anthropogene Quellen unterschieden werden. Erstere tragen in Österreich wesentlich stärker zur Feinstaubbelastung bei.

Auf Grund der unterschiedlichen Wirkung und der unterschiedlichen atmosphärischen Eigenschaften werden Staubfraktionen nach ihrer Größe unterschieden. Die in Tabelle dargestellten Fraktionen haben sich international und national zur Beschreibung von Schwebestaub etabliert.

Tabelle 1.1 Größenfraktionen zur Beschreibung von Schwebestaubemissionen und -immissionen.

Bezeichnung	Beschreibung
Gesamtschwebestaub (TSP)	Als Gesamtschwebestaub (Total suspended particulates = TSP) wird die mit konventionellen Sammlern gemessene Schwebestaub-konzentration bezeichnet. Dabei wird ein Großteil der luftgetragenen Partikel erfasst.
PM10	Bei PM10-Messverfahren ist das Ziel, eine Sammelcharakteristik zu verwirklichen, welche der thorakalen Fraktion (jener Masseanteil einatembarer Partikel, der über den Kehlkopf hinausgeht) entspricht. Die derart bestimmte Staubfraktion ist eine Teilmenge des TSP. Im deutschen Sprachraum hat sich die Bezeichnung "Feinstaub" für PM10 eingebürgert.
PM2,5	Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner als 2,5 µm. Die derart bestimmte Staubfraktion ist eine Teilmenge des PM10.
PM10-2,5	Partikel, die größer als 2,5 µm aber kleiner als 10 µm sind. Im Englischen als "coarse fraction" bezeichnet.

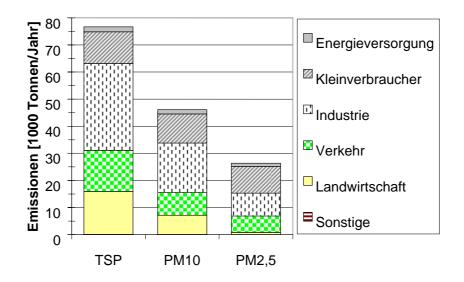
In der österreichischen Schadstoffinventur werden TSP, PM10 und PM2.5 jeweils separat ausgewiesen.

Obwohl Staub zu den klassischen Luftschadstoffen zählt, ist die Schwebestaub-Immissionsbelastung und hier insbesondere die PM10-Belastung erst in den letzten Jahren in den Mittelpunkt der Luftreinhaltepolitik gerückt, nachdem epidemiologische, aber auch toxikologische Untersuchungen gezeigt haben, dass die (Fein-)Staubbelastung mit erheblichen Beeinträchtigungen der menschlichen Gesundheit in Zusammenhang stehen kann (UMWELTBUNDESAMT, 2005). Folglich wurde PM10 auch erst relativ spät in die österreichische Schadstoffinventur inkludiert. Im Jahr 2001 wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes eine österreichische Staub-Emissionsinventur für die Bezugsjahre 1990, 1995 und 1999 erstellt (WINNIWARTER et al, 2001), in der nur primäre Emissionen anthropogenen Ursprungs berücksichtigt werden. Die Ergebnisse dieser Studie dienten als Grundlage für die Ermittlung der Staubemissionen der Luftschadstoff-Inventur für die Jahre 1990 bis 2003. Die Staubemissionen des Verkehrssektors, d.h. die Abgas- und Abriebemissionen, wurden mit Hilfe der aktuellen Version des Handbuchs der Emissionsfaktoren berechnet (UMWELTBUNDESAMT, 2004). Die Staubemissionen durch Aufwirbelung wurden nicht inkludiert.

Generell ist zu bemerken, dass mit der Abschätzung von Staubemissionen erhebliche Unsicherheiten (insbesondere bei diffusen Quellen) einhergehen und daher noch weiterer Forschungsbedarf zur Verbesserung der Staub-Inventur besteht.

Abb. 1 zeigt die Relativanteile der wichtigsten Verursacher an den österreichischen PM-Emissionen. Die TSP-Emissionen betrugen 77.000 t, jene für PM10 46.000 t, die PM2.5-Emissionen 26.000 t (UMWELTBUNDESAMT, 2005b).

Abb. 1.1 Beiträge der wichtigsten Verursacher zu den PM-Emissionen in Österreich im Jahr 2003.

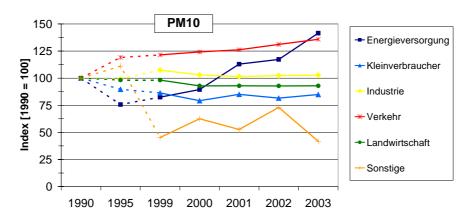


Entsprechend internationalen Gepflogenheiten sind dabei die Emissionen von Offroadfahrzeugen dem Sektor Kleinverbrauch zugeordnet. Die Emissionen der Offroad-Fahrzeuge und anderer Geräte umfassen 2.300 Tonnen (20 % der TSP-Emissionen des Sektors Kleinverbraucher). Damit hat der sog. Offroad-Sektor mit den unterschiedlichsten Verbrennungskraftmaschinen, die in der Land- und Forstwirtschaft, in der Bauwirtschaft und Industrie, im Bahn-, Schiffs- und Flugverkehr sowie in privaten Haushalten im Einsatz sind, einen nicht unerheblichen Anteil an den Staubemissionen. Diese Verbrennungskraftmaschinen haben oft sehr hohe spezifische Emissionen (z. B. wenig schadstoffarm, ohne Partikelfilter).

Dass die Abgasemissionen der Baustellenmaschinen erheblich sind, wurden in BUWAL (2002) und PISCHINGER (2000) gezeigt. Lt. BUWAL (2002) sind 25 % der Schweizer Dieselrußemissionen auf Baustellenmaschinen zurückzuführen, lt. PISCHINGER (2000) entsprechen in Österreich die Abgasemissionen der Baumaschinen mit insgesamt 855 t etwa 20 % der des gesamten Straßenverkehrs.

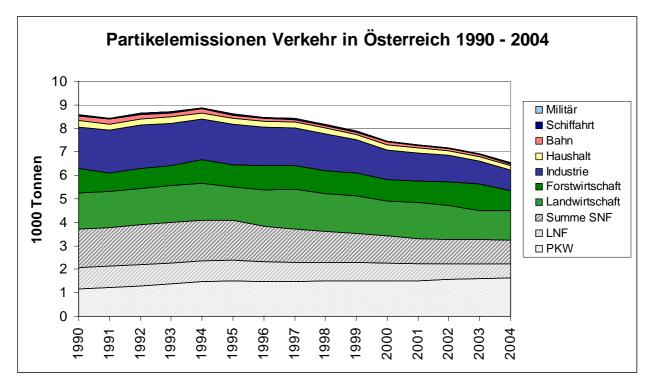
In Abb. 1.2 ist die Entwicklung der österreichischen Emissionen von PM10 der sechs Hauptverursacher Industrie, Verkehr, Landwirtschaft, Energieversorgung und Kleinverbraucher sowie des Sektors "Sonstige" für die Jahre 1990, 1995 und 1999 bis 2003 dargestellt.

Abb. 1.2 Beiträge der wichtigsten Verursacher zu den PM10-Emissonen in Österreich im Jahr 2003.



Der Verkehr zeigt eine deutliche Zunahme über den betrachteten Zeitraum, wobei allerdings Effekte durch "Tanktourismus" auch enthalten sind (d.h. die Emissionsberechnungen basieren auf Zahlen über den Kraftstoffverkauf in Österreich, obwohl ein Teil des in Österreich verkauften Treibstoffe nicht im Lande verfahren wird). Abb. 1.23 zeigt den Trend der Emissionen der Verursachergruppen Straßenverkehr und Offroad.

Abb. 1.3 Trend der PM10-Emissonen des Straßenverkehrs und des Offroadbereichs in Österreich.



1.2 Grenzwerte für mobile Maschinen und Geräte

Grenzwerte für mobile Maschinen und Geräte werden auf EU-Ebene festgelegt. Die Richtlinie 97/68/EG schrieb erstmals Emissionsgrenzwerte für mobile Maschinen und Geräte in Abhängigkeit von der Gerätegröße auf Gemeinschaftsebene fest. Dabei wurden zwei Stufen definiert. Die erste trat 1999 in Kraft, die zweite 2001 bis 2004. Die Grenzwerte sind bei der Typisierung einzuhalten; danach sind keine weiteren Überprüfungen des Abgasverhaltens (wie etwa bei §57a Überprüfung PKW) vorgesehen.

In der Richtlinie erfolgt folgende Definition: Inkludiert sind mobile Maschinen, mobile industrielle Ausrüstungen oder Fahrzeuge mit oder ohne Aufbau, die nicht zur Beförderung von Personen oder Gütern auf der Straße bestimmt sind und in die ein Verbrennungsmotor eingebaut ist:

- Industriebohrgestelle, Kompressoren usw.,
- Baumaschinen wie Radlader, Planierraupen, Raupenschlepper,
- Raupenlader, geländegängige Lastkraftwagen, Hydraulikbagger usw.,
- landwirtschaftliche Maschinen, Motor-Bodenfräsen,
- forstwirtschaftliche Maschinen.

- Förderzeuge,
- Gabelstapler,
- Maschinen zur Straßeninstandhaltung (Motor-Straßenhobel, Straßenwalzen, Schwarzdeckenverteiler),
- Schneeräummaschinen,
- Flughafen-Spezialfahrzeuge,
- Hebebühnen,
- Mobilkrane
- etc.

Die Emissionsgrenzwerte der Richtlinie 97/68/EG sind in Tabelle dargestellt.

Tabelle 1.2 Emissionsgrenzwerte aus der Richtlinie 97/68/EG für Luftschadstoffe.

Leistung	Datum	CO	НС	NOx	PM
kW	Datum		g/k	Wh	
Stufe 1					
130 = P = 560	1999.01	5	1.3	9.2	0.54
75 = P < 130	1999.01	5	1.3	9.2	0.7
37 = P < 75	1999.04	6.5	1.3	9.2	0.85
Stufe 2					
130 = P = 560	2002.01	3.5	1	6	0.2
75 = P < 130	2003.01	5	1	6	0.3
37 = P < 75	2004.01	5	1.3	7	0.4
18 = P < 37	2001.01	5.5	1.5	8	0.8

Gerade die Grenzwerte für PM sind nicht besonders stringent und auch ohne den Einsatz von effektiven Nachbehandlungssystemen wie Partikelfilter zu erreichen.

In Österreich wurde die Richtlinie mit der Verordnung über Maßnahmen zur Bekämpfung der Emissionen von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln aus Verbrennungsmotoren für mobile Maschinen und Geräte (BGBI. II 2004/422, MOT-V) umgesetzt. Diese Verordnung legt die Emissionsnormen und Typengenehmigungsverfahren für Motoren zum Einbau in mobile Maschinen und Geräte fest.

2004 wurde auf EU-Ebene eine Revision der Richtlinie 97/68/EG beschlossen, mit der neue, strengere Grenzwerte festgesetzt wurden. Die Richtlinie 2004/26/EG führt in drei Stufen strengere Emissionsgrenzwerte für mobile Maschinen und Geräte im Zeitraum 2005 bis 2014 ein:

- Stufe 3a ab 2006 2008
- Stufe 3b von 2011 bis 2013
- Stufe 4 ab 2014.

Die entsprechenden Emissionsgrenzwerte der Richtlinie sind in Tabelle dargestellt.

Tabelle 1.3 Emissionsgrenzwerte aus der Richtlinie 2004/26/EG für Luftschadstoffe.

Leistung	Dotum	СО	HC + NOx	PM
kW	Datum		g/kWh	
Stufe 3a				
130 = P = 560	2006.01	3.5	4	0.2
75 = P < 130	2007.01	5	4	0.3
37 = P < 75	2008.01	5	4.7	0.4
19 = P < 37	2007.01	5.5	7.5	0.6

Leistung	Datum	СО	НС	NOx	PM
kW	Datum		g/k	Wh	
Stufe 3b					
130 = P = 560	2011.01	3.5	0.19	2	0.025
75 = P < 130	2012.01	5	0.19	3.3	0.025
56 = P < 75	2012.01	5	0.19	3.3	0.025
37 = P < 56	2013.01	5	4	.7	0.025
Stufe 4					
130 = P = 560	2014.01	3.5	0.19	0.4	0.025
56 = P < 130	2014.1	5	0.19	0.4	0.025

Neben den Abgasemissionen der verschiedenen Baugeräte und Fahrzeuge können auf Baustellen weitere Tätigkeiten zu einer Staubbelastung führen, wobei die wichtigsten Quellen die folgenden sind:

- Staubaufwirbelung beim Befahren von unbefestigten Straßen;
- Schütt- und Schneidvorgänge;

- Staub- und Schmutzeintrag auf öffentliche Straßen;
- Emissionen von organischen Partikeln bei Asphaltierungen und Abdichtarbeiten.

In WINIWARTER (2001) wurden die diffusen Baustellenemissionen mit einem Emissionsfaktor für allgemeine Bautätigkeiten der EPA abgeschätzt (EPA AP42, Section 13.2.2). Diese (grobe) Abschätzung ergab jährliche Emissionen in der Höhe von etwa 3.000 t. Somit betragen die Abgasemissionen und die diffusen Emissionen in Summe etwa 8 % der gesamten PM10-Emissionen in Österreich.

1.3 Das Immissionsschutzgesetz Luft und die PM10-Belastung in Österreich

Grundlage für die Überwachung der Außenluftqualität in Österreich ist das Immissionsschutzgesetz Luft (IG-L; BGBI. I 115/97 idgF). Mit dem IG-L werden entsprechende Richtlinien der Europäischen Union umgesetzt, nämlich die Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität ("Luftqualitätsrahmenrichtlinie") sowie deren ersten beiden Tochterrichtlinien 1999/30/EG und 2000/69/EG. Interessant ist die Definition für Luft in diesen Richtlinien, die die Luft der Troposphäre mit Ausnahme der Luft an Arbeitsplätzen umfasst. Auch wird festgelegt, dass nach Festlegung der Grenzwerte die Luftqualität im gesamten Hoheitsgebiet der Mitgliedstaaten beurteilt wird. Dies impliziert, dass die Grenzwerte im Prinzip überall einzuhalten sind.

Im IG-L sind Immissionsgrenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit in einem Annex festgelegt. Für Schwebestaub gab es einen Grenzwert in der Höhe von 150 μ g/m³ als Tagesmittelwert, der allerdings Ende 2004 außer Kraft gesetzt wurde. Für PM10 sind zwei Grenzwerte festgesetzt:

- Der Tagesmittelwert von 50 μg/m³ darf ab 2005 nicht mehr als 30 Mal pro Jahr überschritten werden (davor: 35 Mal)
- Ein Jahresmittelwert von 40 μg/m³.

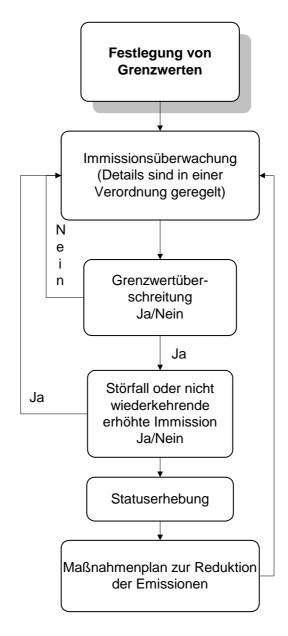
Für die Umsetzung des Gesetzes sind im Wesentlichen die Landeshauptleute verantwortlich. Jedes Bundesland betreibt ein eigenes Messnetz, an dessen Messstellen die Einhaltung der Grenzwerte überprüft wird. Wird eine Überschreitung eines Grenzwertes festgestellt, die nicht auf einen Störfall oder auf eine in absehbare Zeit nicht wiederkehrende erhöhte Immission zurückzuführen ist, so ist eine Statuserhebung zu erstellen. In der Statuserhebung sind die die Grenzwertüberschreitung verursachenden Emissionsquellen ausfindig zu machen. Auf Basis der Statuserhebung und eines gegebenenfalls zu erstellenden Emissionskatasters ist dann eine Maßnahmenkatalog-Verordnung zu erlassen, die Emissi-

onsminderungen zum Ziele der Einhaltung der Grenzwerte vorschreibt. Die Grundelemente des IG-L sind schematisch in Abb. 1.4 dargestellt.

Der Aufbau des Messnetzes für PM10 setzte bereits 1999 ein und war im Jahr 2004 mit über 100 PM10-Messstellen, die gemäß IG-L betrieben wurden, weitgehend abgeschlossen.

In den letzten Jahren wies das Jahr 2003 eine vergleichsweise hohe Belastung auf, mit Überschreitung des Grenzwertes für den PM10-Tagesmittelwert an 51 Messstellen. Betroffen von Grenzwertüberschreitungen waren alle größeren Städte (die einzige Stadt mit mehr als 25.000 Einwohnern ohne Grenzwertverletzung war Villach) sowie zahlreiche Kleinstädte, aber auch ländliche Regionen in Niederösterreich, im Burgenland und in der Steiermark. Auch im Jahr 2004 wurden zahlreiche Überschreitungen der Grenzwerte des IG-L für PM10 (vor allem beim Tagesmittelwert) registriert. Verglichen mit dem Jahr 2003 war allerdings die PM10-Belastung etwas niedriger; so wurden 2003 Überschreitungen an 51 Messstellen registriert, 2004 waren es 28 Messstellen. Dies ist u.a. auf die günstigeren meteorologischen Bedingungen im Winter 2004 zurückzuführen. Das Jahr 2005 wies wiederum eine höhere Belastung als 2004 auf, Überschreitungen des (2005 abgesenkten) Grenzwerts traten in allen Bundesländern auf.

Abb. 1.4 Schematische Darstellung des IG-L



Wie die bisherigen Untersuchungen gezeigt haben, sind in den einzelnen Regionen Österreichs unterschiedliche Quellen für die erhöhte PM10-Belastung verantwortlich:

Hohe Emissionsdichten primärer Partikel spielen in allen Städten eine wesentliche Rolle, wobei Belastungsschwerpunkte v.a. verkehrsnah beobachtet werden. Als dominierende Quellen lassen sich Straßenverkehr (Dieselabgase sowie Nicht-Abgasemissionen wie Wiederaufwirbelung und Abrieb) und Hausbrand identifizieren, gebietsweise auch Emissionen aus Industrie und Gewerbe.

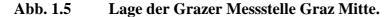
- Die primären PM10-Emissionen der Schwerindustrie tragen speziell in Linz einen wesentlichen Teil zur PM10-Belastung bei, ebenso an mehreren Standorten in kleineren Städten (u. a. Leoben-Donawitz, Brixlegg).
- Stickoxidemissionen (NOx) mit besonders hohen Emissionsdichten v.a. in größeren Städten und am hochrangigen Straßennetz – tragen auf städtischer bis regionaler Skala wesentlich zur Bildung von Ammoniumnitrat (sekundäre Partikel) bei.
- Auch vergleichsweise bescheidene SO2-Emissionen k\u00f6nnen in alpinen Bekken und T\u00e4lern zu nennenswerter Bildung von Ammoniumsulfat (sekund\u00e4re Partikel) beitragen.
- Im außeralpinen Raum spielt Ferntransport sowohl primärer wie sekundärer Partikel – vor allem Ammoniumsulfat – eine wesentliche Rolle. So können beispielsweise PM10- und SO2-Emissionen aus Ost- und Mitteleuropa (v.a. Rumänien, Serbien, Bosnien, Slowenien, Tschechien, Polen) als Quellen für Belastungen in Nordostösterreich identifiziert werden.
- In den alpinen Becken und Tälern, aber auch in den gegenüber Nord- bis Westwind abgeschirmten Becken und Tälern am Südostrand der Alpen sind die ungünstigen Ausbreitungsbedingungen, die eine Anreicherung von lokal emittiertem Schwebestaub begünstigen, ein wesentlicher Faktor für erhöhte PM10-Belastung. Dies bedeutet, dass lokale bis regionale Emissionsminderungsmaßnahmen primärer Schwebestaubquellen hier besonders effektiv sind.

1.4 Der Beitrag von Baustellenemissionen zur Schwebestaubbelastung

Wie Immissionsmessungen aus verschiedenen Teilen Österreichs inzwischen zweifelsfrei nachweisen, kann Bautätigkeit einen signifikanten Beitrag zur Schwebestaubbelastung und damit zu Grenzwertüberschreitungen beitragen. Im Folgenden werden einige Beispiele angeführt.

• In einer Statuserhebung nach einer Überschreitung des PM10-Grenzwerts an der Tiroler Messstelle Imst wurden die Ursachen der Überschreitung erhoben (UMELTBUNDESAMT, 2005a). Im Einflussbereich der Messstelle fanden in den letzten Jahren intensive Baumaßnahmen statt. Umfangreiche Auswertungen deuten darauf hin, dass an ca. 30 % der Tage mit PM10-Konzentrationen über 50 μg/m³ Bautätigkeit für die erhöhte Belastung verantwortlich war, wobei diese allerdings überwiegend durch Aufwirbelung von Staub von der verunreinigten Straße und weniger durch direkt baubedingte Staubquellen verursacht war.

 In Graz wurden im Nahbereich der Messstelle Graz Mitte in den Jahren 2003 und 2005 Bauarbeiten durchgeführt (siehe Abb. 1.5). In diesen Jahren lag die PM10-Belastung in den Sommermonaten über jenen der verkehrsnahen Grazer Messstelle Don Bosco, die normalerweise höhere Belastungen als Graz Mitte aufweist. Entsprechende Kennwerte sind in Tabelle 1.4 dargestellt.



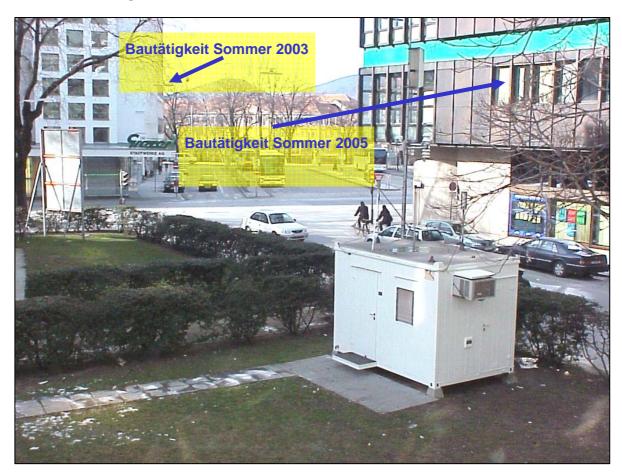


Tabelle 1.4 Kennwerte (Periodenmittelwert und Tage mit Überschreitungen des Grenzwertes von 50 μ g/m3) der PM10-Belastung an den Grazer Messstellen Mitte und Don Bosco, jeweils Juli bis September 2003 bis 2005. Lediglich 2004 fand keine Bautätigkeit statt.

	Graz	z-Mitte	Graz-Don Bosco		
	Periodenmittel in $\mu g/m^3$	Anzahl der Tage mit Überschreitungen des Grenzwerts von 50 µg/m³	Periodenmittel in $\mu g/m^3$	Anzahl der Tage mit Überschreitungen des Grenzwerts von 50 µg/m³	
2003	35	10	35	8	
2004	29	1	31	3	
2005	34	14	30	5	

1.5 Maßnahmen zur Verminderung der PM10-Belastung

Auf Grund der weit verbreiteten Überschreitungen der Grenzwerte für PM10 sind weitere Maßnahmen zur Verminderung der Emissionen unerlässlich. Das IG-L enthält einige Prinzipien, die generell für die Auswahl von Maßnahmen zur Reduktion der PM10-Belastung relevant sind. Einige davon werden im Folgenden kurz dargestellt:

- Das Verursacherprinzip;
- Die Einbeziehung aller Emittentengruppen, die einen erheblichen Einfluss auf die Immissionsbelastung gehabt haben;
- Die Berücksichtigung von Emittentengruppen entsprechend
 - ihrer Anteile an der Immissionsbelastung;
 - des Reduktionspotenzials, auch in Bezug auf eine Verringerung der Immissionsbelastung;
 - des erforderlichen Zeitraums für das Wirksamwerden der Maßnahmen und
 - der Kosten der Maßnahmen;
- Maßnahmen sind nicht vorzuschreiben, wenn sie unverhältnismäßig sind;
- öffentliche Interessen sind zu berücksichtigen.

Schwebestaub hat nicht nur eine Reihe unterschiedlicher Quellen, sondern auch eine komplexe und stark variable chemische Zusammensetzung. Aus gesundheitlicher Sicht werden einige PM-Quellen als besonders kritisch eingestuft, d.h. ihnen dürfte bei Auslösung der mit der Schwebestaubbelastung in Zusammenhang stehenden Gesundheitsaus-

wirkungen eine besondere Rolle zukommen (WHO, 2003; 2004). Bei der Ausarbeitung von Maßnahmenplänen zur Reduktion der PM-Belastung sollte jedenfalls darauf Bedacht genommen werden, dass jene Quellen, die als 'kritisch' eingestuft wurden (Abgasemissionen des Straßenverkehrs und des Offroadbereichs; Partikel aus der Verfeuerung von festen und flüssigen Brennstoffen), entsprechend berücksichtigt werden. Folglich sind Maßnahmen, die nur diffuse mineralische Emissionen (z. B. aus Wiederaufwirbelung von Straßenstaub, Mineralrohstoffabbau oder Bautätigkeit) oder gasförmige Vorläufersubstanzen umfassen, zwar u. U. geeignet die Einhaltung der Grenzwerte zu gewährleisten, allerdings sind diese Maßnahmen hinsichtlich der Gesundheitsauswirkungen weniger effizient als Maßnahmen, welche die angeführten kritischen Quellen umfassen.

Der Beitrag von Baustellenemissionen zur Immissionsbelastung hat dazu geführt, dass Maßnahmen bei Baustellen und insbesondere bei Baumaschinen Teil von Maßnahmenkatalogen sind, die im Zuge der Umsetzung des IG-L erlassen wurden. Dazu gehören Vorschriften aus Tirol, die in bestimmten Sanierungsgebieten den Einsatz von Nachbehandlungssystemen bei Baumaschinen vorschreiben. In dieser Verordnung sind Abscheidgrade für die Nachbehandlung vorgeschrieben, die sicherstellen sollen, dass diese dem Stand der Technik entsprechen. Der Partikelfilter muss einen Abscheidegrad "Anzahlkonzentration" im Partikel-Größenbereich 20–300nm (1nm = 10⁻⁹m) von mehr als 95% und einen Abscheidegrad "EC Massenkonzentration" von mehr als 90% aufweisen. Weiters ist festgelegt, dass Sekundäremissionen nicht steigen dürfen. Konkret bedeutet das, dass eine Erhöhung von Schadstoffen (NO₂, Dioxine, Furane, PAH, Nitro-PAH, Schwefelsäure-Aerosole, partikelförmigen Sekundäremissionen und Mineralfaseremissionen) im gereinigten Abgas nach dem Partikelfiltersystem gegenüber dem Ausgangszustand des Motors nicht zulässig ist.

Analoge Verordnungen wurden in Wien erlassen und sind in anderen Bundesländern in Diskussion. Eine aktuelle Zusammenstellung der bisher in Österreich erlassen Maßnahmenkatalogverordnungen gemäß IG-L findet sich auf der Homepage des Umweltbundesamtes (http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/luft/luftguete_aktuell/massnahmen/).

In der Schweiz wurden entsprechende Vorschriften erlassen, die ebenfalls die Ausrüstung von Baumaschinen mit Partikelfiltern vorsehen (BUWAL, 2002). Von insgesamt 48.000 Baumaschinen im Inland müssen ab September 2005 etwa 15.000 mit Partikelfiltern ausgerüstet werden. Bei durchschnittlichen Kosten von 20.000 Franken pro Filter hat die Bauwirtschaft dafür 300 Millionen Franken aufzuwenden. Dank den installierten Partikelfiltern gelangen zwischen 2005 und 2020 gut 3.400 Tonnen weniger Rußteilchen in die Luft. Dadurch lassen sich unter anderem rund 700 vorzeitige Todesfälle – davon etwa 200 wegen Lungenkrebs –, über 7.000 Erkrankungen an akuter Bronchitis bei Kindern und zirka 7.100 Asthmaanfälle von Erwachsenen vermeiden. Die eingesparten Gesundheitskosten betragen 1,6 Milliarden Franken und liegen damit gut fünfmal höher als die Investitionen für die Partikelfilter (BUWAL, 2005).

Von Bundesseite wurde ein Förderprogramm aufgelegt, aus dem Nachrüstungen von Baumaschinen mit Partikelfiltern in den Jahren 2005 und 2006 finanziell unterstützt wird.

Weitere Maßnahmen zur Reduktion der Emission von Feinstaub wurden vom Umweltbundesamt in einer umfassenden Studie zusammengestellt (UMWELTBUNDESAMT, 2005). Einige der Maßnahmen, die den Offroad- und Baustellenbereich betreffen, sind im Folgenden kurz zusammengestellt.

- Einbau von Dieselpartikelfiltern im Offroad-Bereich. Geräte, die in Bauwirtschaft und Industrie eingesetzt werden, haben i. A. sehr hohe spezifische PM-Emissionen, sie tragen daher wesentlich zu den pyrogenen (d.h., durch Verbrennungsprozesse verursachten) Partikelemissionen in Österreich bei. Da die eingesetzten Maschinen bzw. Geräte eine hohe Lebensdauer haben, erscheint es wesentlich, geeignete Instrumente bzw. Anreizsysteme für den Einsatz von Abgasnachbehandlungssystemen zu etablieren, unabhängig davon, ob es sich um eine Neuanschaffung oder Nachrüstung handelt. Die Vorschreibung der Verwendung von Nachbehandlungssystemen bei Baumaschinen ist in einigen Ländern bereits verordnet bzw. es befinden sich entsprechende Regelungen in Vorbereitung.
- Kontrolle der Einhaltung von Emissionsstandards bei im Offroad-Bereich eingesetzten Fahrzeugen. Derzeit fehlen entsprechende Regelungen.
- Vorschreibung von Maßnahmen zur Reduktion der diffusen Staubemissionen im Anlagenrecht (u.a. in Verordnungen gemäß GewO, AWG, MinRoG). Diffuse Emissionen können eine wesentliche Schwebestaubquelle darstellen. Es sollte die rechtliche Basis geschaffen, bzw. verbreitert (etwa in der GewO und deren VO) werden, um auch diese Emissionen wirksam zu überwachen und zu begrenzen. Mögliche Maßnahmen inkludieren Einhausung von Lagern, Einhausungen und Abzüge bei Umschlagvorgängen, Befestigung von Verkehrswegen sowie organisatorische Maßnahmen wie Betriebsanweisungen, Säuberung innerbetrieblicher Fahrwege, Einsatz von Berieselungsanlagen, Reifenwaschanlagen etc.
- Staubmindernde Maßnahmen bei Bautätigkeiten nach Vorbild der Schweizer Baurichtlinie (BUWAL, 2002). Bautätigkeiten sind eine wesentliche PM-Quelle. Durch ein Bündel geeigneter Maßnahmen (technische und organisatorische) können die Emissionen (die häufig im besiedelten Gebiet auftreten) vermindert werden.
- Rechtliche Berücksichtigung ökologischer Aspekte bei Planung, Ausschreibungen und Abwicklung von Bauprojekten. Im Rahmen des Projektes RUM-BA² wurde als wesentliches Instrument das Bauarbeitenkoordinationsgesetz identifiziert, welches in der derzeitigen Fassung zwar dem Arbeitnehmerschutz dient, durch geringfügige Änderungen aber um Aspekte der ökologischen Bauabwicklung erweitert werden könnte. Änderungen im Abfallwirt-

² http://www.rumba-info.at

schaftsgesetz (Auftrag zum Einsatz verwertbarer Materialen sowie Verwertung und Reduktion der Deponiemengen), in der Straßenverkehrsordnung und im Bundesstraßenfinanzierungsgesetz sollten hinsichtlich einer Verminderung des Baustellenverkehrs optimiert werden.

1.6 Zusammenfassung und Fazit

Die Belastung durch Feinstaub (PM10) liegt in etlichen Regionen Österreichs über den im Immissionsschutzgesetz Luft (IG-L) festgelegten Grenzwerten. Dies gilt insbesondere für den Tagesmittelwert von 50 μg/m³, der pro Jahr an maximal 35 Tagen (ab 2005 an nur noch 30 Tagen) überschritten werden darf. In den Jahren 2003 und 2005 traten Überschreitungen dieses Grenzwerts in allen Bundesländern auf. Belastungsschwerpunkte sind einerseits Ballungsgebiete (mit hohen Emissionsdichten) und hier vor allem emittentennahe Standorte (z.B. stark befahrene Straßen), andererseits Gebiete in Tal- und Beckenlagen, wo es vor allem im Winter auf Grund der schlechten Ausbreitungsbedingungen immer wieder zu hohen PM10-Konzentrationen kommt. Auf Grund dieser Überschreitungen sind gemäß IG-L Maßnahmen zur Verminderung der Emissionen zu setzen mit dem Ziel, die Einhaltung der Grenzwerte sicherzustellen.

Feinstaub hat eine Reihe unterschiedlicher Quellen. Einerseits kann Schwebestaub direkt in die Atmosphäre emittiert werden (primäre Emissionen), andererseits entstehen so genannte sekundäre Partikel durch luftchemische Prozesse aus gasförmigen Vorläufersubstanzen, vor allem SO₂, NOx, NH₃ und NMVOC. Zu den wichtigsten primären Quellen in Österreich gehören der Verkehr, der Hausbrand und die Industrie. Die Gesamtemissionen in Österreich betrugen 2003 etwa 47.000 t, wobei etwas mehr als 2.000 t dem Offroadbereich zuzuschreiben waren. Baumaschinen verursachten knapp 1.000 t PM10-Emissionen, während diffuse Baustellenemissionen in der Höhe von 3.000 t zu verzeichnen waren.

Vorgaben über Abgasemissionen von Offroadmaschinen sind in einer EU-Richtlinie geregelt. Die Einhaltung dieser Emissionsgrenzwerte wird in der Typenprüfung überprüft. Die derzeit geltenden Werte sind i.A. ohne den Einsatz von Nachbehandlungssystemen wie Partikelfilter erreichbar, allerdings kommt es in den nächsten Jahren zu einer sukzessiven Absenkung der Grenzwerte. Die Grenzwerte gelten allerdings nur für Neugeräte, eine regelmäßige Überprüfung der Einhaltung von in Gebrauch befindlichen Geräten ist nicht vorgeschrieben. Dies kann auch in Hinblick auf die oft lange Lebensdauer der eingesetzten Maschinen problematisch sein.

Detaillierte Auswertungen über die Ursachen der Grenzwert-Überschreitungen gemäß IG-L konnten in einigen Fällen Emissionen aus Baustellen als wesentliche Quelle identifizieren. Einige Landesregierungen haben folglich bereits Verordnungen zur Verminderung der Emissionen aus Baumaschinen erlassen bzw. es sind derartige Verordnungen in Vorbereitung. Diese Verordnungen schreiben die Ausrüstung von Baumaschinen ab einer bestimmten Leistung mit Nachbehandlungssystemen vor. Derartige Vorschriften wurden aus meh-

reren Gründen als zweckmäßig angesehen. So sind Abgasemissionen aus Dieselmotoren aus gesundheitlicher Sicht als besonders kritisch anzusehen. Auch ist der Schutz von ArbeitnehmerInnen ein wesentlicher Aspekt.

1.7 Literatur

- **BUWAL** (2002): Richtlinie Luftreinhaltung auf Baustellen. Baurichtlinie Luft. Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. Bern, 2002.
- **BUWAL** (2003): Nachrüstung von Baumaschinen mit Partikelfiltern. Kosten/Nutzen-Betrachtung. Umwelt-Materialien Nr. 148. Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. Bern, 2003.
- **BUWAL** (2005). Feinstaub macht krank. Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. Bern, 2005.
- **BUWAL-SUVA** (2004): VERT Filterliste. Geprüfte und erprobte Partikelfilter-Systeme für die Nachrüstung von Dieselmotoren. Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. Bern, März 2004.
- **PISCHINGER, R**. (2000), Emissionen des Off-Road-Verkehrs im Bundesgebiet Österreich für die Bezugsjahre 1990 bis 1999, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, TU-Graz, Bericht Nr. Pi-67/2000 Haus-10/679.
- UMWELTBUNDESAMT (2004): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 2.1.
- **UMWELTBUNDESAMT** (2005): Schwebestaub in Österreich. Fachgrundlagen für eine kohärente österreichische Strategie zur Verminderung der Schwebestaubbelastung. Umweltbundesamt Wien, 2005.
- **UMWELTBUNDESAMT** (2005a): Statuserhebung betreffend NO2-Grenzwertüberschreitungen in Imst im Jahr 2004. Umweltbundesamt Wien, 2005.
- **UMWELTBUNDESAMT** (2005b): Österreichische Luftschadstoffinventur 2003. WHO (2003): Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. Kopenhagen, WHO Europe.
- **WHO** (2003): Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. Kopenhagen, WHO Europe.
- **WHO** (2004): Health Aspects of Air Pollution answers to follow-up questions from CAFE, Report on a WHO working group meeting, Bonn, Germany, 15–16 January 2004.
- WINIWARTER, W., TRENKER, C., HÖFLINGER, W., (2001): Österreichische Emissionsinventur für Staub; Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, ARC-S-0151.

2. Klein, aber nicht fein

Alexander Graff, Österreichische Staub (-Silikose-) Bekämpfungsstelle (ÖSBS)

Feinstaub ist ein Problem. Er kommt auch auf der Straße vor, ist aber nicht der übliche Straßenstaub. Man kann ihn nicht sehen, aber er ist da. Die Rede ist von den ultrafeinen Dieselmotoremissionen. Hier gibt es massive Hinweise auf Gesundheitsgefährdungen. Beim Straßenverkehr rückt das schon ins öffentliche Bewusstsein. Fast unbeachtet blieb bisher der so genannte Off-Road-Sektor, also etwa Land-, Forst- oder Bauwirtschaft. Was schon im Freien belastend ist, dürfte erst recht für Arbeitnehmer in geschlossenen Räumen, zum Beispiel im Tunnelbau, belastend sein. Wie es darum tatsächlich steht, zeigt eine Studie von ÖSBS und AUVA im Plabutschtunnel in Graz.

Bei der Ermittlung der Gefahrstoffexposition von Arbeitnehmern stehen beim Tunnelbau üblicherweise die Belastung durch A-Staub (Feinstaub), Quarz und DME (Dieselmotoremissionen) im Vordergrund. In dieser Arbeit wurde das Hauptaugenmerk aber auf die Belastung der Tunnelarbeiter durch ultrafeine Aerosole (Durchmesser der Teilchen zwischen ca. 10 und 500 nm) gelegt.

Da zu erwarten ist, dass ultrafeine Partikel im Tunnelbau überwiegend durch den Einsatz von dieselbetriebenen Fahrzeugen entstehen, wurde in Hinblick auf diese Aerosolteilchen besonders der Betonausbau untersucht. Der Innenausbau mit Beton kommt im Regelfall bei der Expositionsbeurteilung zu kurz, da angenommen wird, dass die Hauptbelastung der Mineure im Vortrieb besteht. Als Untersuchungsobjekt bot sich der im Süden der Steiermark gelegene, zehn Kilometer lange Plabutschtunnel an. Wegen des stark gestiegenen Verkehrsaufkommens wurde 1999 mit dem Bau der zweiten Röhre, der Weströhre, begonnen.

Motivation

Ziel der Untersuchungen war die Feststellung der Exposition durch Aerosole mit Schwergewicht auf ultrafeine Partikel und die medizinische Auswirkung dieser Expositionen auf die Tunnelarbeiter.

Von April 2001 bis Juni 2002 wurden die Betonarbeiten der Weströhre des Plabutschtunnels durchgeführt, im selben Zeitraum fanden die Messungen in mehreren Serien statt.

Diese Arbeiten wurden deshalb für die Untersuchungen als besonders geeignet angesehen, da erst nach dem Tunneldurchschlag eine relativ gleichmäßige Belastung durch Dieselrauch und daher durch ultrafeine Partikel zu erwarten war. Die Baufahrzeuge (Euro III),

insbesondere die Betonmisch- und -transportfahrzeuge, benötigen auf Grund ihrer Straßenzulassung nach derzeit geltendem österreichischen Recht im Gegensatz zu den Maschinen, welche im Vortrieb zum Einsatz kommen, keine Partikelfilter. Mit Hilfe eines Schalwagens wird in ca. vier Stunden ein Block von zwölf Meter Länge betoniert, anschließend erfolgt die Aushärtung. Für einen Block werden je nach Tunnelprofil an die 160 m3 Beton benötigt, die wiederum mittels der Betonmischfahrzeuge von außerhalb eingebracht werden müssen. Auf Grund dieser Situation (16 – 20 Fahrten pro Schalwagen und Block) sowie der Tatsache, dass bei Vollbetrieb drei Schalwagen im Einsatz sind, ergibt sich eine nicht unerhebliche Belastung der Arbeitnehmer durch ultrafeine Partikel. Ein weiterer gewichtiger Aspekt war auch der Umstand, dass beim Endausbau mit Beton wesentlich mehr Tunnelarbeiter ähnlich exponiert sind wie beim Vortrieb.

Expositionsmessungen

Um nun die Höhe der Exposition im Tunnel zu ermitteln, wurden vier Messserien zu je 24 Stunden festgelegt. Es wurden jeweils drei Messstellen pro Messserie vorgesehen, wobei die Messung der ultrafeinen Partikel beim letzten Schalwagen in Wetterrichtung vorgenommen wurde. Zur Absicherung der Ergebnisse wurden jeweils an der östlichen und westlichen Ulme ein Laserstreulichtphotometer sowie ein Infrarotstreulichtphotometer positioniert; für die Rußbestimmung und zur Kalibrierung der Photometer wurden zusätzlich gravimetrische Probenahmegeräte eingesetzt.

Um die Ergebnisse der SMPS-Messungen (Scanning Mobility Particle Sizer) für die ultrafeinen Partikel auch mit den übrigen Aerosolkonzentrationen besser vergleichen zu können, wurde von jeweils vier Laserstreulichtaufnahmen nur jene Aufnahme beim SMPS-Standpunkt als Referenzmessung dargestellt. Im Gegensatz zu Expositionsmessungen in Arbeitsräumen kann nämlich in einem Tunnel nach erfolgtem Durchschlag wegen der gerichteten Wetterströmung von wesentlich homogeneren Aerosolkonzentrationen ausgegangen werden.

Medizinische Untersuchungen

Da die Zahl von Arbeitnehmern, die definierten ultrafeinen Aerosolkonzentrationen ausgesetzt sind, begrenzt war, musste die Anzahl von möglichen Probanden auf 19 Betonarbeiter beschränkt werden. Die Untersuchung kann daher nur als Fallstudie angesehen werden. Die 19 Arbeitnehmer wurden zu Beginn der Betonarbeiten im Rehabilitationszentrum und Krankenhaus der AUVA in Tobelbad untersucht. Nach einem Jahr standen immerhin noch 17 Arbeitnehmer (Durchschnittsalter 38,6 Jahre) für eine Nachuntersuchung zur Verfügung. Es war geplant, zur Hälfte Nichtraucher einzubeziehen. Mit großer Anstrengung konnte unter einem Kollektiv von in Summe 30 Arbeitern sieben Nichtraucher gefunden werden, die alle ins Untersuchungsprogramm aufgenommen werden konnten. Die medizinischen Untersuchungen beinhalteten die allgemeine Anamnese (Krankheiten, Rauchgewohnheiten, etc.) sowie einige ambulante Methoden zur Überprüfung der Lungenfunktionen.

Zu Beginn der Betonierarbeiten wurde eine "Nullmessung" durchgeführt, die zusätzlich auch der Überprüfung der Tunneltauglichkeit der Mess- und Probenahmegeräte, insbesondere des Partikelmessgerätes (SMPS), dienen sollte.

Probenahme und Ergebnisse

Neben den arbeitsplatzbezogenen Messungen, um die Exposition der Mineure ermitteln zu können, konnten im Zuge der Partikelmessungen über einen Zeitraum von bis zu jeweils acht Stunden an die 200 Scans aufgezeichnet werden. Durch mehrere solcher Scanserien konnte somit eine lückenlose Erfassung der jeweiligen arbeitsbedingten Situation über 24 Stunden erfasst werden. Die Ergebnisse der Messungen zeigen deutlich, dass in dem untersuchten Umfeld die Konzentrationen der ultrafeinen Teilchen (Durchmesser 14 bis 673 nm) sehr stark variieren. Insgesamt wurden 130 gravimetrische Filterproben mit Probenahmezeiten von meist vier bis acht Stunden genommen, wobei überwiegend der alveolengängige Anteil (Feinstaub) bestimmt wurde. Weiters wurde elementarer (EC) und organischer Kohlenstoff (OC) coulometrisch ermittelt. Zusätzlich wurden an den gesammelten Staubproben noch chemische Übersichtsanalysen durchgeführt. Die Tabelle auf Seite 26 zeigt die Ergebnisse der durchgeführten Gefahrstoffmessungen, wobei sowohl die Mittelwerte für einen Zeitraum von 24 Stunden als auch die Schadstoffkonzentrationen bezogen auf eine achtstündige Tätigkeit dargestellt sind. Abgesehen von den ultrafeinen Teilchen, die bis zum jetzigen Zeitpunkt ausschließlich Gegenstand wissenschaftlicher Forschung sind und somit noch über keine Normvorschriften am Arbeitsplatz verfügen, werden die gesetzlich festgelegten Grenzwerte (Grenzwerteverordnung 2003) basierend auf Tagesmittelwerten (acht Stunden), bei den vorgefundenen Rahmenbedingungen eingehalten.

Während der vier Messserien wurden die unterschiedlichsten Arbeiten in der Weströhre durchgeführt. Diese reichen von einem eingesetzten Schalwagen zu Beginn mit parallel verlaufenden Profilierarbeiten (Bohren, Aufbringen von Spritzbeton, etc.) bis zum Vollbetrieb beim Betonausbau. Die bei Vollbetrieb ermittelte Exposition der Arbeitnehmer entsprach in etwa der in den letzten drei bis vier Monaten der Betonarbeiten üblichen Belastung. Es waren praktisch alle Betonvorbereitungsarbeiten fertig gestellt und als Hauptarbeit wurden drei Innenschalbetonabschnitte (Schalwagen Nord, ein Vorläufer und ein Nachläufer), weiters zwei Zwischendecken sowie zwei Trennwände gleichzeitig betoniert.

Weder die niedrige Anzahl der Probanden noch die geringen Daten auf Grund der sporadischen Messungen lassen eine wissenschaftlich exakte Interpretation zu. Zusammenfassend kann man sagen, dass keine eindeutige Veränderung der unspezifischen Hyperreagibilität, das heißt der Überempfindlichkeit der Schleimhaut gegenüber Stoffen wie zum Beispiel Pollen, Stäuben, etc. zu beobachten war.

Bundesarbeitskammer 19

Medizinische Beurteilung

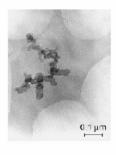
Von Interesse ist aber der Umstand, dass sich die Werte der Raucher von einem niedrigeren Ausgangsniveau nicht wesentlich verschlechtert haben, dass aber die besseren Durchschnittswerte der kleineren Atemwege, das heißt von den Bronchien abwärts, bei Nichtrauchern sich merkbar, im Schnitt um zwölf Prozent, verschlechtert haben und somit besonderer Aufmerksamkeit bedürfen.

Die vorliegende Arbeit stellt somit einen ersten Versuch dar, eine mögliche Gesundheitsgefährdung durch ultrafeine Aerosole aufzuzeigen. Im Gegensatz zur Asbestproblematik ist man aber bemüht, eventuelle Gesundheitsrisiken am Arbeitsplatz (Nanotechnologie) schon vorzeitig herauszufiltern, um nicht erst nach zehn bis 20 Jahren mit der Problematik konfrontiert zu werden. Abschließend sei erwähnt, dass auf Grund der noch fehlenden medizinischen Zusammenhänge bei der Inhalation von ultrafeinen Aerosolen eine Bewertung, wie sie auf Grund der Grenzwerteverordnung durchgeführt wird, noch nicht möglich ist. Weitere Studien zu diesem Thema sind daher unumgänglich und zurzeit in Bearbeitung bzw. für die Zukunft in Planung.

2.1 Dieselmotoremissionen und ultrafeine Partikel

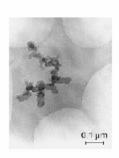
Feinstaub am Arbeitsplatz

Dieselmotoremissionen und ultrafeine Partikel



A. Graff

Österreichische Staub-(Silikose-) Bekämpfungsstelle Einödmayergasse 12 8700 Leoben

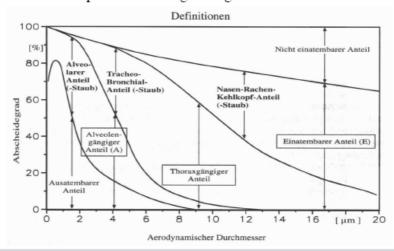


29.11.2005 Wien, Veranstaltung "Feinstaub am Arbeitsplatz" der AK Wien



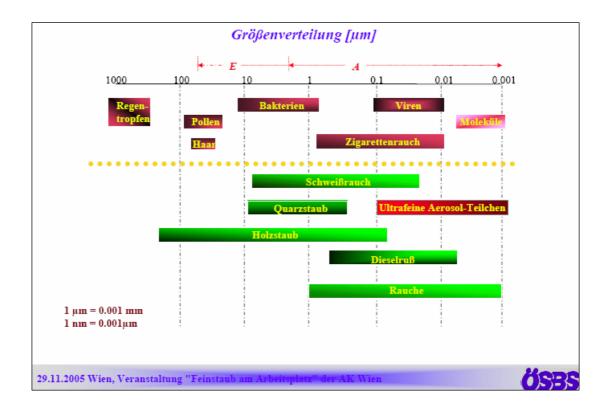
Inhalative Schwebstoffe

- · Schwebstoffe sind Staub, Rauch und Nebel
- · Staub ist eine disperse Verteilung fester Stoff in Luft
- · Rauch ist eine disperse Verteilung feinster fester Stoff in Luft
- · Nebel ist eine disperse Verteilung flüssiger Stoffe in Luft



29.11.2005 Wien, Veranstaltung "Feinstaub am Arbeitsplatz" der AK Wien

ÖSBS



Definitionen von Feinstaub

 Im Bereich Umwelt (Emissions- und Immissionsbeurteilung) spricht man von PM (Particluate Matter), d. h. 50 % eine Teilchenkollektivs sind kleiner als ein bestimmter Durchmesser (angegeben in μm).

PM 10; PM 2,5; PM 1,0

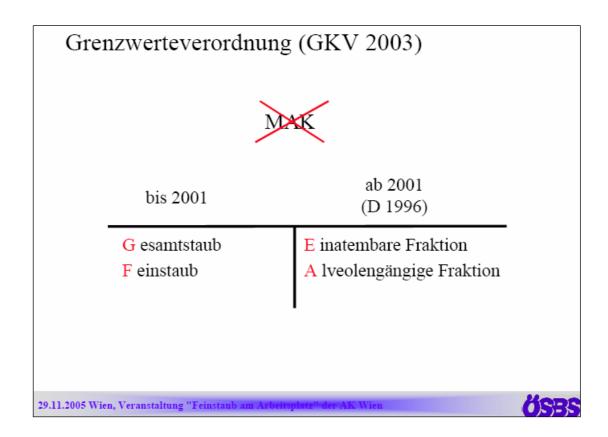
- PM 10 ist definitionsgemäß "Feinstaub"
- Im Bereich Arbeitsplatzatmosphären und der Beurteilung der Exposition von Arbeitnehmern spricht man nach obiger Definition aber von

PM 4,0

• PM 4 ist definitionsgemäß alveolengängiger Staub ("Feinstaub")

29.11.2005 Wien, Veranstaltung "Feinstaub am Arbeitsplatz" der AK Wien





Dieselmotoremission

- Komplexes Substanzgemisch, bestehend aus gas- und partikelförmigen Anteilen
- · Rußkern mit adsorbierten organischen Verbindungen

$$TC = EC + OC$$

(Total Carbon = Elemental Carbon + Organic Carbon)

- · Ultrafeine Partikel
- Sulfate, Additive, Metallabrieb Benzol, Aldehyde
- · Schmieröl und Kraftstoffreste
- CO, CO₂, NO, NO₂, SO₂

29.11.2005 Wien, Veranstaltung "Feinstaub am Arbeitsplatz" der AK Wien

ÖSBS

Grenzwerteverordnung (GKV 2003)

- Neue Grenzwerte f
 ür Dieselmotoremissionen (DME) seit 2003
- Gemessen als A-Staub
- Analyse auf elementaren Kohlenstoff (EC) im coulometrischen Verfahren
- Untertageberbau bzw. Bauarbeiten unter Tage: 0.3 mg/m^3
- im übrigen: 0,1 mg/m3
- 15-Minuten-Kurzeitwerte: 4-fache Konzentration
- DME-Grenzwerte sind TRK-Werte (Technische Richtkonzentrationen) TRK: Nach dem Stand der Wissenschaft gibt es keine als unbedenklich anzusehende Konzentration!

29.11.2005 Wien, Veranstaltung "Feinstaul



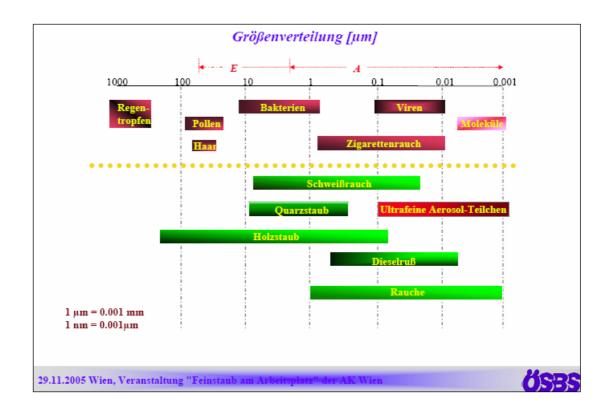
Partikelemissionen

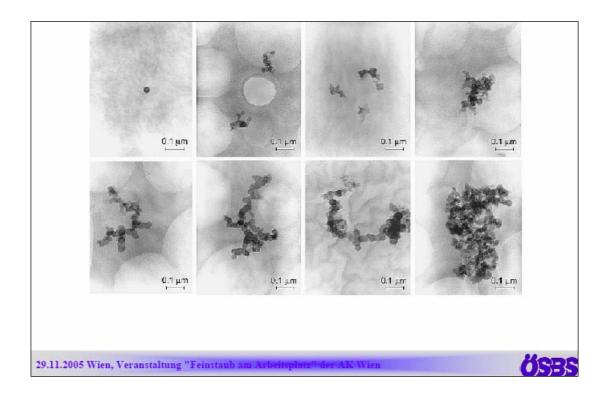
- Aerosole (= partikelbeladene Gase bzw. Mehrphasengemische) jeglicher Größe sind in der Atmosphäre bzw. Luft verteilt.
- Entstehung: natürlich (Erosion, Vulkan, etc.) künstlich (Industrie, Verbrennungsprozessen, etc.).
- Größe (lt. DFG): Partikeldurchmesser < 100 nm (= 10⁻⁷ m).
- Teilchenzahl (N/cm³) ist die entscheidende Einflussgröße, nicht die Masse bzw. Konzentration (mg/m³).
 - (80 % der gesamten Teilchenzahl einer Partikelgrößenverteilung kleiner als 100 nm ⇒ so entsprechen diese weniger als 1 % der gesamten Teilchenmasse).
- Exorbitante Zunahme der Partikelzahlen.
- Ab bestimmten Teilchenkonzentrationen ist eine Gesundheitsgefährdung (Tierversuche) gegeben.
- Epidemiologische Studien: höhere Konz. ⇒ höhere Sterblichkeit.

29.11.2005 Wien, Veranstaltung "Feinstaul



	Durchmesser in [mm]	Sinkgeschwindigkeit [mm/s]	Sinkzeit [Std./m]	Diffusisonsweg [mm/s]	Oberfläche pro Einheitsgewicht	Zahl pro Einheitsgewicht
Sandkorn grob	1					
Alveole (Lungenbläschen)	0.1					
Schwebestaub (TSP)	0.057	100	0.003			
PM10 (feinstes Haar	0.01	3	0.09	1.7 x 10 ⁻³	1	1
PM1 (kleine Zellen)	0.001	0.035	7.9	5.9 x 10 ⁻³	10	1'000
Licht (untere Sichtbarkeitsgrenze)	0.0004					
Dieselpartikel (mittlere Grösse)	0.0001	8.6 x 10 ⁻⁴	322.9	0.03	100	1 x 10 ⁶
Virus (kleiner)	0.00001					
Gasmolekül (gross)	0.000001					





Messgerät

SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer), Fa. TSI

Geräteeinstellungen: Impaktor: 0,0457 cm

Ansaugrate des Probengases: 3 l/min

Ansaugrate des Aerosols am CPC: 0,3 l/min

64 Kanäle

Charge Correction Upscanzeit: 120 s Downscanzeit: 30 s

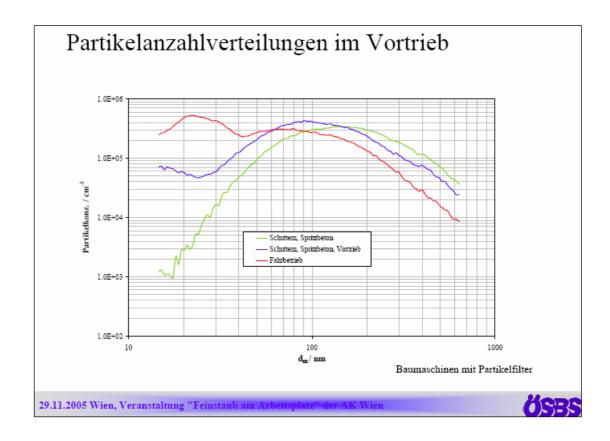
Messbereich: (14 - 673) nm

Software-Version 3.2



29.11.2005 Wien, Veranstaltung "Feinstaub am Arbeitsplatz" der AK Wien





Projekt Plabutschtunnel 2001/2002

Feststellung der Exposition durch Aerosole mit Schwerpunkt ultrafeiner Partikel sowie Untersuchung der medizinischen Auswirkung auf die Arbeitnehmer

- Gesamtdauer 2 Jahren
- 4 Messserien á 24 Stunden während der Betonarbeiten in der Weströhre des Plabutschtunnels von April 2001 bis Juli 2002
- Medizinische Untersuchungen vor und nach den Arbeiten
- Krankenhaus für interne Berufskrankheiten, Tobelbad bei Graz
- ARGE Plabutschtunnel II, ARGE-Partner ÖSTU/STETTIN
- Arbeitsmedizinisches Zentrum, Leoben-Donawitz
- Österreichische Staub-(Silikose-)Bekämpfungsstelle, Leoben

29.11.2005 Wien, Veranstaltung "Feinstaub am Arbeitsplatz" der AK Wien

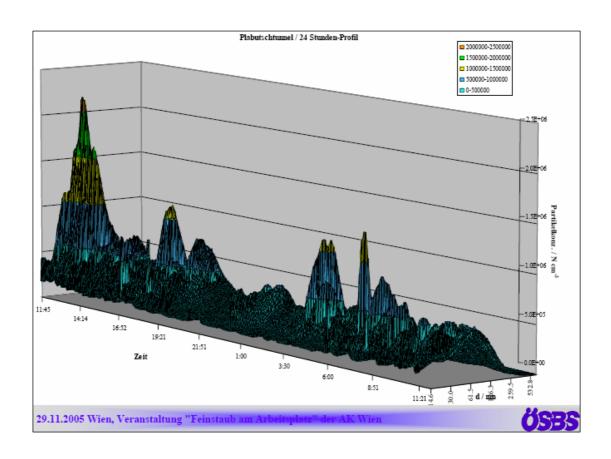
ÖSBS

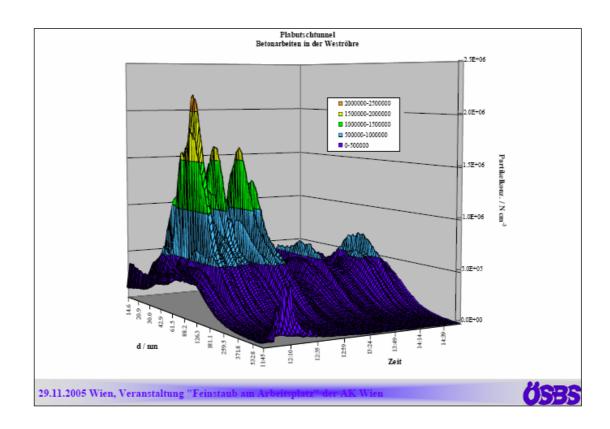
Ausgangslage

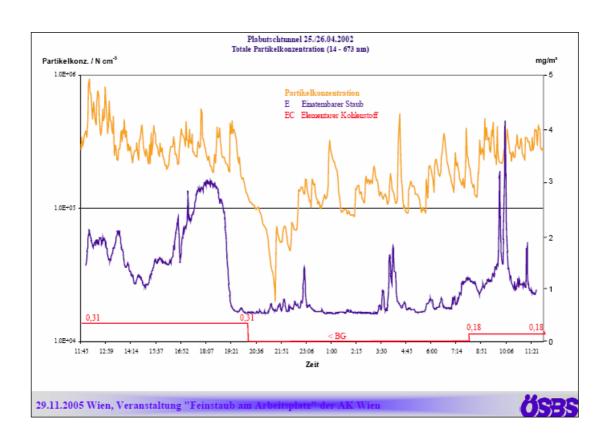
- · Annahme, daß die Hauptbelastung der Mineure vorwiegend im Vortrieb besteht. Betonausbau kommt zu kurz, obwohl mehr Arbeitnehmer exponiert sind.
- · Nach Tunneldurchschlag relativ gleichmäßige Belastung durch Dieselmotoremissionen.
- · Nicht unerhebliche Belastung durch ultrafeine Aerosole, da die Betonmischfahrzeuge (Euro III) nicht mit Partikelfilter ausgerüstet werden müssen.
- · Betonarbeiter weisen wesentlich geringere Fluktuationen auf als Vortriebsmineure. Von 19 zu Beginn untersuchten AN waren nach einem Jahr noch 17 für die medizinischen Untersuchungen verfügbar.

29.11.2005 Wien, Veranstaltung "Feinstaub:









Gefahrstoffbelastung der Betonarbeiter bei Vollbetrieb

3 Ringbetonschalwagen, 2 Zwischendecken, ca. 25 Mann

Partikelkonzentration 3,3 x 105 N/cm3

E - Staub $1,5 \text{ mg/m}^3$ A - Staub $1,0 \text{ mg/m}^3$ EC $0,3 \text{ mg/m}^3$ OC 0.1 mg/m^3

29.11.2005 Wien, Veranstaltung "Feinstaub am A



Medizinische Untersuchungen

- · Auf Grund der geringen Anzahl von Probanden kann nur von einer Fallstudie ausgegangen werden.
- · Sowohl Raucher als auch Nichtraucher wurden untersucht.
- · Lungenfunktionstest (Vitalkapazität, forcierte Ausatmung, Plethysmographie)
- · Ergebnis:

Gegenüber den Rauchern haben sich die Durchschnittswerte der kleineren Atemwege bei den Nichtrauchern um mehr als 12 % verschlechtert.

Hyperreagibilität zeigte keinen eindeutigen Trend auf.

29.11.2005 Wien, Veranstaltung "Feinstaub an



3. Die gesundheitlichen Belastungen durch Feinstaub und Dieselruß – eine Risikoabschätzung

Wilfried Bursch, Medizinische Universität Wien, Klinik für Innere Medizin I

3.1 Einleitung: Grundlagen der toxikologischen Risikobewertung

Die Toxikologie hat die Aufgabe, schädliche Wirkungen chemischer Stoffe auf Mensch, Tier und Umwelt (Natur) zu erkennen, qualitativ und quantitativ zu beschreiben. Die Wirkungsweise von Chemikalien soll aufgeklärt werden, um geeignete Maßnahmen zur Vorbeugung und Behandlung vorschlagen zu können. Für die Beurteilung einer Gefährdung von Mensch und Natur durch chemische Substanzen interessiert weniger die Giftwirkung selbst (Schaden, hazard), sondern vielmehr die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Schädigung eintritt, sowie Art und Größe der betroffenen Population (Risiko). Eine toxikologische Risikoanalyse verknüpft naturwissenschaftliche und gesellschaftspolitische Prozesse:

auf naturwissenschaftlicher Ebene

Ermittlung der Exposition von Mensch und Umwelt

(Chemische Analyse, Bioindikation, Modellrechnungen)

• Wirkungsanalyse (hazard identification)

Identifikation der Schadwirkung einer Substanz (qualitativ) Ermittlung einer Dosis-Wirkungsbeziehung (Wirkungsstärke, -schwelle)

• Extrapolation des Risikos (risk assessment)

Verknüpfung von Expositions- und Wirkungsdaten zur Abschätzung der der Wahrscheinlichkeit des Eintritts einer Schädigung (Risiko), sowie Art und Größe der betroffenen Population (Mensch) bzw. Umweltkompartimente.

auf gesellschaftspolitischer Ebene

- Risiko-Nutzen-Vergleich
- Risikomanagement

Risikokommunikation

Das mit naturwissenschaftlichen Methoden ermittelte Risiko wird auf gesellschaftspolitischer Ebene mit dem Nutzen verglichen. Je größer der Nutzen einer Substanz (oder eines technischen Prozesses), desto eher werden gewisse Risiken in Kauf genommen. Bei dieser Nutzen-Risiko-Abwägung wird das Risiko mit ökonomischen und ökologischen u.a. Aspekten verglichen, hierbei erfolgt auch die Abstimmung mit ethisch oder sozial vorgegebenen Normen, die ihrer Natur nach nicht nur auf wissenschaftlicher Basis entstehen und die den Stellenwert verschiedener Schutzgüter bestimmen, z.B. Leben, Gesundheit, ausreichende Ernährung, Umweltschutz, Artenschutz, Bequemlichkeit etc. Durch diese Abstimmung erfolgt die Kontrolle der wissenschaftlich-technischen Entwicklung durch die Gesellschaft. Die Risikoanalyse ermöglicht auch, die geeigneten Hilfsmittel zur Schadensabwehr einzusetzen. Diese reichen von Warnhinweisen und Festsetzung von Grenzwerten bis zu teilweisen oder vollständigen Herstellungs- und Anwendungsverboten.

3.2 Luftschadstoffe

Was ist Feinstaub? Wo kommt (Fein)staub her?

In der Luft treten Schadstoffe entweder als **Gase** oder als **Feststoffteilchen (Partikel)** auf. Unter **Staub** verstehen wir in Gasen fein verteilte Partikel, die vorwiegend durch mechanische Zerkleinerungsprozesse oder durch Aufwirbelung entstanden sind. Als **Feinstaub** werden Teilchen mit einem aerodynamischen Durchmesser von 10 Mikrometern (10 µm; PM10; PM = particulate matter) und kleiner bezeichnet (DFG 2005). Feinstaub ist ein physikalisch-chemisch komplexes Gemisch aus primären, direkt emittierten sowie sekundär -in der Atmosphäre aus gasförmigen Luftverunreinigungen - gebildeten Bestandteilen. Da kleine Partikel eine relativ große Oberfläche besitzen, können diese leicht andere Schadstoffe aus der Luft anlagern (Beispiel Dieselruß-polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe). Insgesamt setzt sich Feinstaub aus organischem Kohlenstoff, mineralischen Substanzen (z.B. Asbest), Sulfaten, Nitraten (sekundäre Partikel bestehen im Wesentlichen aus Ammoniumsulfat und Ammoniumnitrat), polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, Dioxinen, Schwermetallen, u.a.m. zusammen.

Luftschadstoffe können natürlichen (z.B. Saharastaub) oder anthropogenen Ursprungs sein. Zur Feinstaubbelastung tragen nach derzeitigen Erkenntnissen im wesentlichen Industrie, Landwirtschaft, Verkehr und Hausbrand bei. Die Belastung der Luft mit Schadstoffen infolge menschlicher Aktivitäten ist allerdings kein Problem, dass erst im 19./20. Jahrhundert mit der industriellen Entwicklung in den Vordergrund trat. In England (London) hat es bereits im 13. Jahrhundert Bemühungen gegeben, den Abbrand von Kohle zu verhindern. Man hatte erkannt, dass hierin die Ursache für eine starke Luftverschmutzung in den Städten lag.

3.3 Beobachtungen am Menschen (Epidemiologie)

Welche Schäden löst Staub im Menschen aus?

Zahlreiche epidemiologische Studien zu Kurzzeit- (bis 5 Tage nach Exposition) als auch Langzeitwirkungen von Partikeln auf die menschliche Gesundheit erwiesen eine Beeinträchtigung der Lungenfunktion, Atembeschwerden, bronchitische Symptome bei Kindern, Asthmatikern und Nicht-Asthmatikern bis zu einem Anstieg von Krankenhauseinweisungen sowie der Sterblichkeit infolge von Herz-Kreislauf-Erkrankungen (Englert 2004, Heinrich et al 2002, Künzli et al. 2000, Martuzzi et al. 2003, Maynard 2004, Neuberger et al. 2005, Peters et al 2002, Vineis et al. 2004, von Klot et al. 2005, WHO 2001). Umgekehrt kann, wie Studien an Kindern zeigten, eine Luftverbesserung zu einem Rückgang der Häufigkeit der Bronchitis und infektiöser Atemwegssymptome führen (Heinrich et al. 2002).

3.4 Mechanismen der Schadwirkung von Stäuben

Wie tief dringt Staub in die Lunge ein? Wie wird die Lunge von Staub gereinigt? Was passiert mit den eingeatmeten Partikeln, die wir nicht aushusten? Wie schädigt Staub Atemwege und Lunge?

Die Atemwege dienen nicht nur der Zuleitung von Frischluft während der Einatmung und der Ableitung von "Alveolarluft" während des Ausatmens, sondern erfüllen auch eine Reihe von Hilfsfunktionen für die Atmung. Hierzu gehören die Reinigung, Erwärmung und Befeuchtung der eingeatmeten Luft. Die Aufnahme und Eindringtiefe von Stäuben in die Atemwege und die Lunge hängt in erster Linie von Form und Größe der Partikel ab: je kleiner die Partikel, desto tiefer gelangen sie in die Lunge [5-30 μm: Nasen-Rachenraum; 1-10 μm: tracheo-bonchiale Region; <1μm: Lungenbläschen(Alveolen) (DFG 2005)]. Das Verteidigungssystem der Lunge gegen Partikel umfasst physikalische und immunologische Mechanismen. Die eingeatmete Luft wird zum Teil bereits in der Nase gereinigt, hier werden größere Partikel, Staub und Bakterien von den Schleimhäuten abgefangen. Das für die Lungenreinigung wichtigste Element im oberen Tracheobronchialbereich ist das Flimmerepithel: die Zellen sind mit Flimmerhaaren (Zilien) ausgestattet, andere spezialisierte Zellen bilden den Schleim. Die Zilien haben die Aufgabe, Schleim und eingedrungene Partikel wie Staub und Bakterien mundwärts zu transportieren. Der Schleimtransport sorgt also dafür, dass Fremdpartikel und Bakterien aus dem Atmungstrakt entfernt werden; letztlich werden diese entweder ausgespuckt oder verschluckt. Bei einer chronischen Überbelastung versagt die Selbstreinigung der Lunge (z.B. bei Staublungenerkrankungen an hochbelasteten Arbeitsplätzen). Auch bei Vorschäden der Bronchialschleimhaut kann der Reinigungsmechanismus ausfallen (z.B. Kombinationswirkung mit Zigarettenrauch, vorübergehende Beeinträchtigung bei Virusinfektionen). Dadurch können einfache Atemwegsinfekte bei erhöhter Schadstoffbelastung und unter bestimmten klimatischen Bedingungen schwerer verlaufen.

Der Gasaustausch, d.h. die Sauerstoffaufnahme aus der Atemluft in die roten Blutkörperchen und umgekehrt, die Kohlendoxidabgabe aus dem Blut findet in den Lungenbläschchen (Alveolen) statt. Die Alveolen sind von einem dichten Netz von Blutgefäßen (Kapillarnetz) umgeben. Voraussetzung für einen effektiven Gasaustausch ist nicht nur eine große Oberfläche, sondern auch ein kleiner Abstand zwischen dem Gasraum und dem Blut. Deshalb sind Blut und Gasraum nur durch eine dünne Gewebeschicht voneinander getrennt. Zur Reinigung der Alveolenoberfläche können die Zellen, damit der Austauschweg (Diffusionsstrecke) für Sauerstoff und Kohlendioxid möglichst kurz ist, nicht mit Flimmerhaaren ausgestattet sein. In den Lungenbläschen abgelagerte Staubpartikel werden deshalb durch spezialisierte Fresszellen (Makrophagen) aufgenommen (phagozytiert) und gelangen durch die Atembewegung und Hustenstöße zurück in die oberen Abschnitte der Atemwege; von hier aus können sie auf dem Bronchialwege abtransportiert zu werden. Schließlich kann in den tieferen Lungenabschnitten der Staubanteil, der nicht auf dem Bronchialwege entfernt wurde, auf dem Lymphwege beseitigt werden. Von den Lymphknoten der Lunge können Partikel über das Lymphsystem auch in andere Organe gelangen. Darüber hinaus können nicht-phagozytierte ultrafeine Partikel (Nanopartikel, <100 nm) in die Blutgefäße gelangen; Nanopartikel wurden u.a. in Leber, Gehirn nachgewiesen (Oberdörster 2001, Oberdörster et al. 2004)

Partikelgröße und Toxizität. Fein- und Ultrafeinstaub-Partikel (<100 nm) weisen im Vergleich zu größeren Partikeln bei gleicher Masse ein wesentlich höheres Gefährdungspotential für die menschliche Gesundheit (Bronchitis, Asthma, Förderung von Lungenkrebs, Herz-Kreislauferkrankungen) auf; bei gleicher Masse können kleinere Partikel nämlich einen größeren Anteil der Lungenoberfläche bedecken als größere Teilchen. Für die Ausbildung der Erkrankungen ist die Aufnahme (Phagozytose) der Staubpartikel durch Makrophagen (Fresszellen) von entscheidender Bedeutung. Bei der Phagozytose werden die Makrophagen "aktiviert" und setzen Sauerstoffradikale, Entzündungsbotenstoffe und Wachstumsfaktoren frei. Erfolgt eine hohe Partikelbelastung kontinuierlich über einen längeren Zeitraum, kommt es zu chronischen Entzündungen, die zu Fibrosen und der Entstehung von Lungentumoren führen können. Tierversuche zeigen, das Lungentumore um so häufiger auftreten, je mehr von der Lungenoberfläche mit Partikeln bedeckt ist; die Masse der in der Lunge deponierten Partikel zeigt keinen Zusammenhang mit der Häufigkeit von Lungentumoren (Oberdörster 2001). Hieraus ist u.a. abzuleiten, dass bei Messung der Luftbelastung die Partikelzahl pro m³ ein im Vergleich zur Partikelmasse besser geeigneter Parameter zur toxikologischen Bewertung von Feinstaubbelastungen sowie zur Ableitung von Grenzwerten ist.

Die Schadwirkungen von Fein- und Ultrafeinstaub hängen aber nicht nur von der Teilchengröße (Lungengängigkeit), sondern auch von der chemischen Natur der Teilchen ab. Beispielsweise zeigen jüngste Inhalationsstudien mit ultrafeinen Partikeln (Nanopartikel) an Mäusen, dass Kohlenstoff-Nanopartikel die Lungen der Tiere stärker schädigen als solche

aus Quartz; enthielten die Partikel darüber hinaus Nickel anstatt Eisen, starben die Tiere rasch (Lam et al. 2004). Diese Befunde an Mäusen werden durch entsprechende Untersuchungen an Ratten gestützt (Warheit et al. 2004). Die **Oberflächeneigenschaft** von Partikeln hat ebenfalls großen Einfluss auf ihre Toxizität: beispielsweise verursachen silanbeschichtete ultrafeine TiO₂-Partikel, also solche mit einer hydrophoben Oberfläche, in der Lunge von Versuchstieren eine wesentlich schwächere Entzündungsreaktion als unbeschichtete TiO₂-Partikel (Oberdörster 2001). Ingesamt steht die Untersuchung der Wirkungen von Fein- und Ultrafeinstäuben aber erst am Anfang, es gibt noch viele ungeklärte Fragen und erheblichen Forschungsbedarf.

3.5 Risikobewertung

Wie groß ist das Gesundheitsrisiko durch Staub? Wie gefährlich sind die am Staub anhaftenden chemischen Verbindungen (Beispiel: Dieselruß-polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe)?

Welche Herausforderungen ergeben sich für Toxikologie und Gesellschaft?

Praktisch alle genannten Gesundheitsschäden treten bereits bei den durchschnittlich in der Außenluft auftretenden Staubkonzentrationen auf. Ein besonders bedenklicher Umstand ist, dass bisher sowohl für Kurzzeit- als auch für Langzeiteffekte keine Wirkungsschwelle für Feinstaub nachgewiesen werden konnte (Künzli et al. 2000, Martuzzi et al. 2003, WHO 2001). Nach derzeitigem Kenntnisstand ist somit für die Risikoanalyse von einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung auszugehen (Künzli et al. 2000, Martuzzi et al. 2003, WHO 2001). Hochrechnungen der WHO ergaben, dass bei einer 3-tägigen Episode mit 50 μg/m³ (derzeitiger Grenzwert) pro 1 Million Menschen mit ca. 3,5 Todesfällen und 3 Krankenhauseinweisungen zu rechnen ist; ca. 4800 Personen würden vermehrt Medikamente (z.B. Asthmasprays) verwenden (WHO 2001).

Im Rahmen des Austrian Project on Health Effects of Particulates (AUPHEP) verfolgten Neuberger et al. (2005) in drei österreichischen Städten über ein Jahr tägliche Sterbefälle und Krankenhausaufnahmen in Relation zu Änderungen der Außenluftbelastung (PM₁, PM_{2.5} PM₁₀ und anderen Indikatoren, z.B. NO₂, SO₂, O₃, CO). In Wien zeigte sich an Tagen nach einem Anstieg der PM₁ und PM_{2,5}-Feinstaubfraktion (mittlere/maximale Tagesmittelwerte PM₁: 14,9/75,1 μ g/m³; PM_{2,5} 18,6/96,4 μ g/m³) ein signifikanter Anstieg von Sterbefällen an ischämischen Herzerkrankungen bei über 65-Jährigen; bezogen auf die PM₁₀-Fraktion (26,5/104,6 μ g/m³) erwies sich der Mortalitätsanstieg im Beobachtungsjahr als nicht signifikant (Neuberger et al. 2005). Darüber hinaus stellten Neuberger et al. im Beobachtungszeitraum 2000-2004 einen signifikanten Zusammenhang zwischen Episoden mit ansteigender Gesamt-Schwebstaubkonzentration und Sterblichkeit in der Wiener Allgemeinbevölkerung fest: pro 10 μ g/m³ und nach jeweils bis zu 7 Tagen nahm die Gesamt-

Sterblichkeit um 1,1%, die Sterblichkeit infolge ischämischer Herzerkrankungen um 2,8% und diejenige infolge chronisch obstruktiver Lungenerkrankungen um 9,9% zu.

Partikel können andere Schadstoffe aus der Luft adsorbieren; ein Beispiel ist Dieselruß mit anhaftenden polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK). Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe entstehen bei unvollständiger Verbrennung, das heißt unter Sauerstoffmangel, von organischem Material (z.B. Holz, Kohle, Mineralöl). PAK leiten sich von der chemischen Grundstruktur des Benzols ab; durch Kondensierung mehrerer Untereinheiten entsteht eine Vielzahl von möglichen Verbindungen. Bei entsprechenden Bildungsbedingungen liegen stets komplexe Gemische von PAK vor, in der Luft sind bislang etwa 500 PAK-Verbindungen nachgewiesen. Ein Teil hiervon besitzt kanzerogene Eigenschaften, im Wesentlichen 4-6 kernige Substanzen wie z.B. Benz(a)anthracen, Benz(a)pyren (IARC 1973, 1983); Benz(a)pyren wird üblicherweise als Leitsubstanz angesehen.

Epidemiologische Studien lassen einen Zusammenhang zwischen Exposition gegenüber Dieselabgasen, inbes. am Arbeitsplatz, und der Häufigkeit von Lungenkrebs erkennen (Vineis et al. 2004). Die Rolle einzelner Stoffe des komplexen Dieselabgas-Gemisches aus Partikeln, anorganischen und organischen Stoffen für die Krebsentstehung kann anhand von epidemiologischen Daten nicht beurteilt werden. Tierexperimentelle Befunde lassen allerdings erkennen, dass ein eigener Partikeleffekt -unabhängig von den daran anhaftenden chemischen Stoffen- einen wesentlichen Anteil an der Krebsentstehung hat. Inhalationsstudien mit Ratten ergaben, dass künstlicher Ruß, der nahezu keine PAK enthielt, Lungentumore induzierte; Rußpartikel und Benz(a)pyren zeigten eine überadditive (synkanzerogene) Wirkung (Pott 1991). Es wurde geschätzt, dass weniger als 1% des Krebsrisikos auf Benz(a)pyren entfällt (Pott 1991, 1997); allerdings sind viele Fragen zur krebserzeugenden Wirkung von Dieselruß im Menschen, beispielsweise zum Dieselruß-Krebsrisiko der Allgemeinbevölkerung oder zur Kombinationswirkung mit anderen chemischen Substanzen, nicht geklärt (Vineis et al. 2004, 2006).

Zusammenfassend ist festzustellen:

- Stäube sind komplexe Gemische. Der Anteil einzelner Staubbestandteile an der Entstehung von Erkrankungen des Menschen ist nicht hinreichend geklärt (Moolgavkar 2005); es besteht erheblicher Forschungsbedarf.
- 2. Das toxische Potential kleinerer Partikelfraktionen (z.B. PM2,5, PM1) ist größer als das von PM10. Darüber hinaus gibt die übliche Angabe der Massenkonzentration in μg/m3 die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen nicht umfassend wieder. Die Angabe der Konzentration als Anzahl der Teilchen je Volumen ist eine wichtige zusätzliche Information. Diese Umstände sollten für Kontrollen der Luftqualität und gesetzliche Regelungen berücksichtigt werden.

3. Bisherige Befunde lassen keine Schwelle erkennen, unter der mit keiner Wirkung von Feinstaub mehr zu rechnen ist. Gesundheitsschädigungen des Menschen sind bei derzeit in der Außenluft auftretenden Feinstaubkonzentrationen nachgewiesen. Auch ein vergleichsweise geringes Risiko hat hohe gesundheitspolitische Relevanz, weil große Teile der Bevölkerung gegenüber Staub exponiert sind. Auch wenn viele Fragen zur Gefährdung der menschlichen Gesundheit durch Stäube noch nicht geklärt sind, kommt der Verminderung der (Fein)Staubbelastung zweifelsfrei eine entscheidende Bedeutung für Schutz der Gesundheit zu. Entsprechende gesetzliche und technische Maßnahmen sind dringend erforderlich.

3.6 Literatur

- **DFG** (2005). Mitteilung 41 der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe vom 1. Juli 2005 (MAK-Liste). Deutsche Forschungsgemeinschaft, Kennedyallee 40, D-53175 Bonn.
- **Englert N**. (2004). Fine particles and human health--a review of epidemiological studies. Toxicol. Lett. 149(1-3):235-42.
- **Heinrich J., Grote V., Peters A., Wichmann H.E.** (2002). Gesundheitliche Wirkungen von Feinstaub-Epidemiologie der Langzeiteffekte. Umweltmed Forsch Prax 7(2), 91-99.
- **IARC** Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of the Chemical to Man. Certain polycyclic aromatic hydrocarbons and heterocyclic compounds, Vol. 3.Lyon, 1973
- IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of the Chemical to Man. Polynnuclear Aromatic Compounds, Part 1, Chemical, Environmental and Experimental Data. Vol. 32.Lyon, 1983
- Künzli N, Kaiser R, Medina S, Studnicka M, Chanel O, Filliger P, Herry M, Horak F Jr, Puybonnieux-Texier V, Quenel P, Schneider J, Seethaler R, Vergnaud JC, Sommer H. (2000). Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. Lancet. 356(9232):795-801.
- Lam CW., James JT., McCluskey R., Hunter RL (2004). Pulmonary Toxicity of Single-Wall Carbon Nanotubes in Mice 7 and 90 Days After Intratracheal Instillation. TOXI-COLOGICAL SCIENCES 77, 126–134.
- Martuzzi M., Krzyzanowski M., Bertollini R. (2003) Health impact assessment of air pollution: providing further evidence for public health action. Eur Respir J 21: Suppl. 40, 86s–91s.Nanotubes in Rats TOXICOLOGICAL SCIENCES 77, 117-125.
- **Maynard R** (2004). Key airborne pollutants the impact on health. Science Total. Environm. 334/335, 9-13.

- **Moolgavkar S**. (2005). A review and critique of the EPA's rationale for a fine particle standard. Reg. Toxicol. Pharmacol. 42, 123-144.
- Neuberger M, Moshammer, H, Hauck H, Kundi M, Rabczenko D, Schimek MG. (2005). Zeitreihenstudie zur atmosphärischen Feinstaubbelastung und spezifischen Mortalität und Morbidität in Österreich. Österreichisches Forum für Arbeitsmedizin, 03/2005. 5-7.
- **Oberdörster G**. (2001). Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles. Int Arch Occup Environ Health, 74, 1-8.
- Oberdörster G., Sharp Z., Atudorei V., Elder A., Gelein R., Kreyling W., Cox C. (2004) Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain. Inhal. Toxicol. 16(6-7), 437-445.
- Peters, A., Heinrich ,J., Wichmann H.E. (2002). Gesundheitliche Wirkungen von Feinstaub-Epidemiologie der Kurzeiteffekte. Umweltmed Forsch Prax 7(2), 101-115.
- **Pott F.** (1991). Dieselmotorabgas Tierexperimentelle Ergebnisse zur Risikoabschätzung. In: Krebserzeugende Stoffe in der Umwelt. Herkunft, Messung, Risiko, Minimierung. VDI Berichte 888, VDI-Verlag 1991, 211-245.
- **Pott F., Roller M.** (1997). Current data and questions on the carcinogenicity of solid particles of diesel engine exhaust and other sources. Zentralbl. Hyg. Umweltmed. 200(2-3), 223-280.
- Vineis P., Forastiere F., Hoek G., Lipsett M. (2004) Outdoor air pollution and lung cancer: recent epidemiologic evidence. Int J Cancer. 111(5):647-52.
- Vineis P., Hoek G., Krzyzanowski M., Vigna-Taglianti F., Veglia F., Airoldi L., Autrup H., Dunning A, Garte S., Hainaut P., Malaveille C., Matullo G., Overvad K., Raaschou-Nielsen O., Clavel-Chapelon F., Linseisen J., Boeing H., Trichopoulou A., Palli D., Peluso M., Krogh V., Tumino R., Panico S., Bueno-De-Mesquita HB., Peeters PH., Lund EE., Gonzalez CA., Martinez C., Dorronsoro M., Barricarte A., Cirera L., Quiros JR., Berglund G., Forsberg B., Day NE., Key TJ., Saracci R., Kaaks R., Riboli E. (2006). Air pollution and risk of lung cancer in a prospective study in Europe. Int J Cancer. 2006 Feb 6, [Epub ahead of print].
- von Klot S, Peters A, Aalto P, Bellander T, Berglind N, D'Ippoliti D, Elosua R, Hormann A, Kulmala M, Lanki T, Lowel H, Pekkanen J, Picciotto S, Sunyer J, Forastiere F; Health Effects of Particles on Susceptible Subpopulations (HEAPSS)

 Study Group. (2005) Ambient air pollution is associated with increased risk of hospital cardiac readmissions of myocardial infarction survivors in five European cities. Circulation 112(20), 3073-3079.
- Warheit, D., Laurence B., Reed K., Roach D., Reynolds G. Webb T. (2004). Comparative Pulmonary Toxicity Assessment of Single-wall Carbon nanotubes in rats. Toxicol Sci. 2004 Jan;77(1):117-25

World Health Organization (2001). Quantification of the Health Effects of Exposure to Air Pollution. Copenhagen, WHO, Regional Office for Europe.