



Reiz- und Riechstoffe im Innenraum

Literaturstudie zu Vorkommen und gesundheitlicher Bedeutung von Feinstaub in Innenräumen

Schlagworte: Feinstaub, Partikel, Innenraum, Bronchitis, Halskratzen, Hustenreiz

Verfasser: Herbert Obenland, ARGUK-Umweltlabor GmbH, Oberursel
Thilo Kerber, IfAU - Institut für Angewandte Umweltforschung e.V., Oberursel
Kontakt: Herbert Obenland - obenland@arguk.de

Im November 2005

Inhalt

- | | |
|--------------------------------------------|--------------------|
| 1. Überblick | 6. Toxikologie |
| 2. Definitionen | 7. Regulation |
| 3. Vorkommen | 8. Zusammenfassung |
| 4. Zusammensetzung von Feinstaub-Partikeln | 9. Literatur |
| 5. Epidemiologie | |

1 Überblick

Unter Feinstaub - auch Aerosol genannt - versteht man luftgetragene Partikel oder Teilchen fester oder flüssiger Art. Die festen Partikel bestehen sowohl aus anorganischen und organischen Stoffen wie Salzen, Metallen, Ruß, Fetten und Ölen als auch aus biologischem Material wie Viren, Bakterien, Sporen, Pollen und Pilzen. Flüssige Partikel sind feine Tröpfchen. Feste Partikel können mit einer Flüssigkeitshaut überzogen sein.

Aufgrund seiner hohen spezifischen Oberfläche besitzt Feinstaub ein großes Adsorptionspotenzial für gasförmige Spurenstoffe in der Umgebungsluft der Partikel. Insbesondere Schadstoffe mit relativ hohen Siedepunkten wie Pestizide, Weichmacher und Flammschutzmittel reichern sich nach ihrem Austritt aus Innenraumquellen am Feinstaub an und verschärfen dessen per se bestehende Gefährlichkeit für Gesundheit und Wohlbefinden.

Zu den wichtigsten Eigenschaften der Partikel zählen neben deren chemischer Zusammensetzung deren Größe und Form. Von letzteren ist abhängig, wie weit die Partikel in den Atemtrakt einzudringen und welche Prozesse sie dort auszulösen vermögen.

Wir haben eine Literaturstudie zu Vorkommen und gesundheitlicher Relevanz von Feinstaub in Innenräumen wie Wohnungen, Schulen und Büros angefertigt, die wir hier vorstellen. Die Überprüfung der Feinstaubbelastung in Innenräumen beim Vorliegen entsprechender Beschwerdebilder gehört zu unserem Leistungsangebot, ebenso die Bewertung der Befunde und Empfehlungen zur Abhilfe.

2 Definitionen

Feinstaub lässt sich sowohl als Partikelanzahl pro Luftvolumen ("Anzahlkonzentration") als auch als Partikelmasse pro Luftvolumen ("Massenkonzentration") definieren und quantifizieren. Qualitativ wird Feinstaub nach Partikelgrößen und deren Abscheideverhalten im menschlichen Atemtrakt charakterisiert.

Im Einzelnen unterscheidet man

- **ultrafeine Partikel (UP)** mit einem Durchmesser von 0,001 - 0,1 μm . UP haben im Feinstaub einen Anteil an der Anzahlkonzentration von 80 - 90 Prozent, während ihr Anteil an der Massenkonzentration in der Regel unter 5 Prozent liegt. UP sind alveolengängig und werden zu mehr als 50 Prozent in der Lunge abgeschieden.
- **Feinstaub PM 2,5** mit einem Durchmesser von 2,5 μm . PM 2,5 deckt in der Anzahl- wie in der Massenkonzentration den größten Teil des atmosphärischen Feinstaubes ab. Er ist alveolengängig und wird deshalb auch als "**alveolengängiger Feinstaub**" bezeichnet. Er wird zu 50 Prozent in der Lunge abgeschieden.
- **Feinstaub PM 10** mit einem Durchmesser bis 10 μm . PM 10 wird zu 50 Prozent im thorakalen Atemtrakt abgeschieden und deshalb auch als "**inhalierbarer Feinstaub**" bezeichnet.
- **Grobstaub** mit einer Partikelgröße > 10 μm bis maximal 50 μm . Partikel mit größerem Durchmesser können nur noch sehr kurz oder gar nicht in der Schwebelage gehalten werden. Die Grobstaubklasse wird auch als **Total Suspended Particulates (TSP)** oder Gesamtstaub bezeichnet.

UP, PM 2,5 und PM 10 haben Aufenthaltszeiten in der Schwebelage von Wochen bis Tagen, TSP sedimentiert in Stunden bis Minuten.

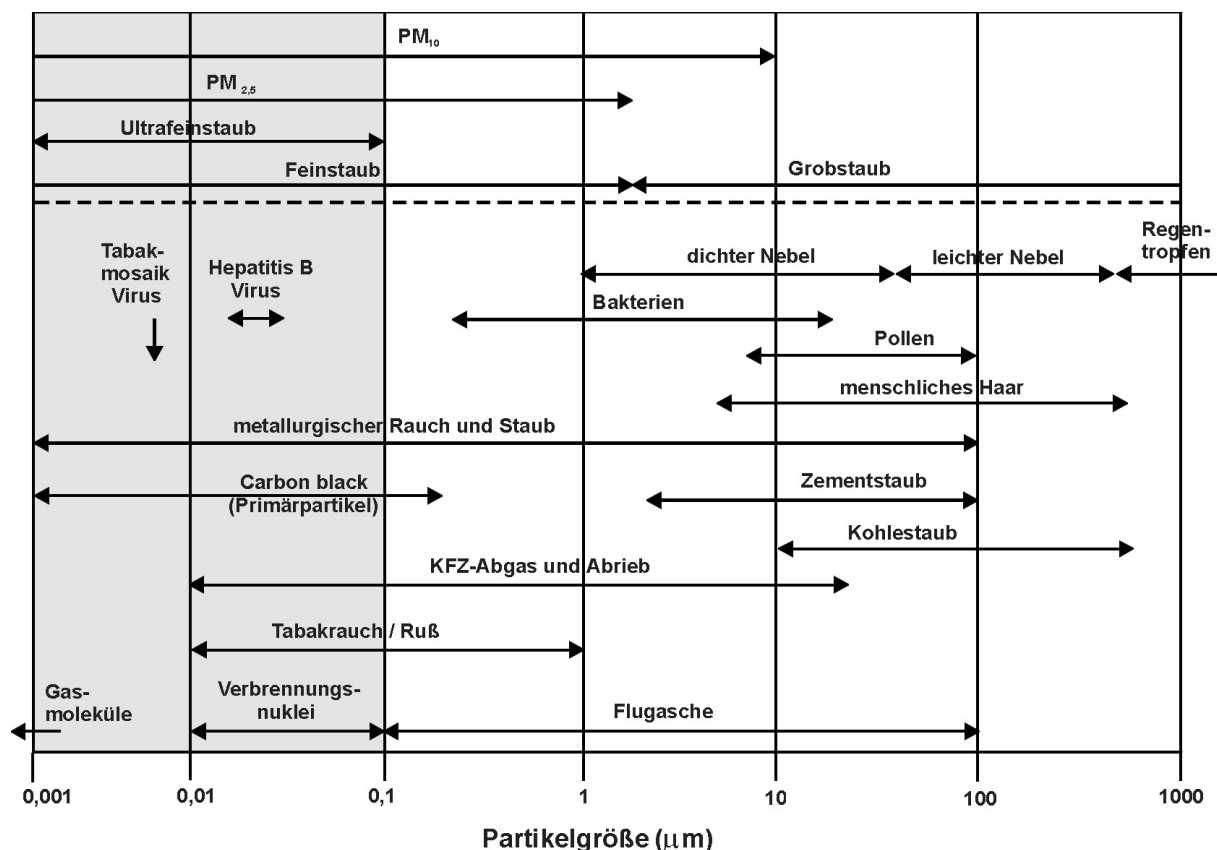


Abb.1: Partikeldefinitionen und Größenbereiche umweltschädlicher Partikel [Krug 2003]

3 Vorkommen

3.1 Vorkommen Aussen

Die Arbeitsgruppe "Wirkungen von Feinstaub auf die menschliche Gesundheit" der Kommission "Reinhaltung der Luft im VDI und DIN" nennt in ihrem Statusbericht "Bewertung des aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstandes zur gesundheitlichen Wirkung von Partikeln in der Luft" (Kappos et al., 2003) folgende typischen Konzentrationsbereiche von PM 10 für 2001 an deutschen Messstationen:

Tab. 1: Konzentrationsbereiche von Feinstaub (PM10) an deutschen Messstationen

Stationskategorie	ländlich	städtischer Hintergrund	verkehrsnahe	Nähe Schwerindustrie (mit diffusen Quellen)
Jahresmittel [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	10 - 18	20 - 30	30 - 45	30 - 40
Anzahl der Tage mit Tagesmittel $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0 - 5	5 - 20	15 - 100	50 - 90
Spitzenwerte, Tagesmittel [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	50 - 70	60 - 100	70 - 150	100 - 200

Quelle: Kappos et al., 2003

Hinweise auf die zeitliche Entwicklung der Feinstaubbelastung in Deutschland sowie auf die Unterschiede zwischen ländlicher und städtischer Besiedlung gibt Abb. 2.

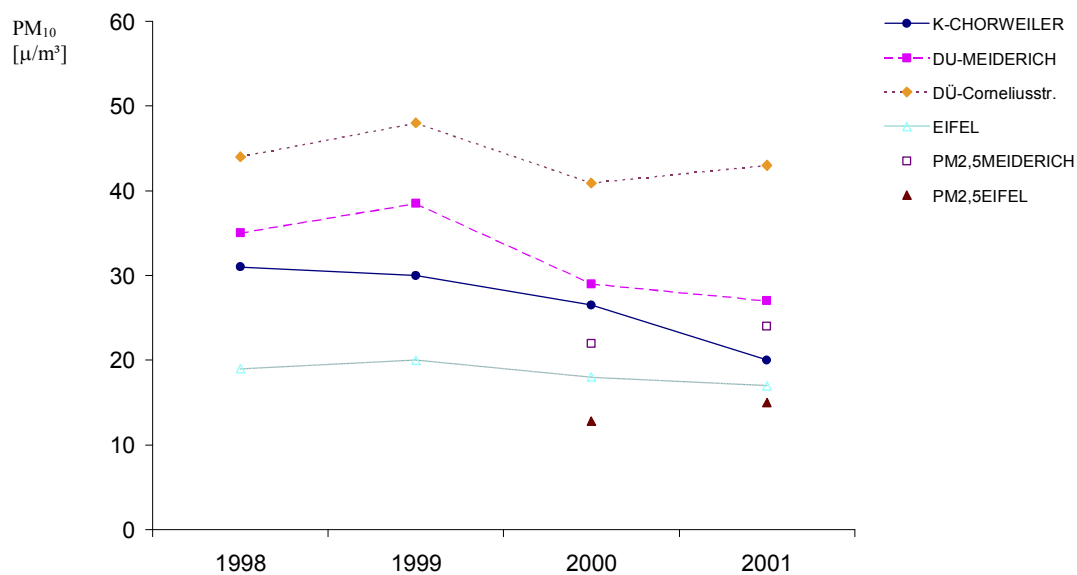


Abb 2: Entwicklung der PM₁₀-Immissionen seit 1997 an verschiedenen Messstationen in Nordrhein-Westfalen - Trend der gravimetrisch bestimmten Jahresmittelwerte. Für zwei Messstationen (Meidrich und Eifel) sind für 2000 und 2001 auch die entsprechenden PM_{2,5}-Werte in die Grafik eingetragen. Für die Vorjahre liegen keine PM_{2,5}-Messwerte vor. [Quelle: Kappos et al., 2003]

3.2 Vorkommen Innen

Für die Feinstaubbelastung in Innenräumen liegt aus den letzten 15 Jahren eine Vielzahl von Arbeiten vor, von denen wir die uns am aussagekräftigsten erscheinenden in Tab. 2 zusammengestellt haben.

Tab. 2: Konzentrationsbereiche von Feinstaub in Innenräumen

Konzentrations-Bereich [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Partikelklasse	Gebäudetyp	Autor
15 - 300	n.d.	"older building"	Kemp et al., 1998
18 - 367	PM 10	Schule	Shaghnessy et al., 1995
3 - 26	PM 10	13 US-Gebäude	Girman et al., 1995
12 - 211	n.d.	4 Bürogebäude	Menzies et al., 1993
90 - 950	n.d.	Bürogebäude	Skov et al., 1990
14 - 42	TSP	3 NR-Wohnungen	Kamens et al., 1991
24 - 70	PM 10	55 amerik. Wohnungen	Spengler et al., 1981

Die Feinstaubbelastungen in Innenräumen reichen demnach von ca. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Nichtraucher-Wohnungen bis zu ca. $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an Büroarbeitsplätzen. Eine in 2005 vom Deutschen Allergie- und Asthmabund (DAAB) in Auftrag gegebenen Studie nennt für die Feinstaubbelastungen in Wohnungen Werte zwischen 5 und $280 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Grob geschätzt übersteigen also die Feinstaubbelastungen im Innenraum die Feinstaubbelastungen im Aussenbereich um den Faktor 1,5 bis 2. Da der Mensch erheblich mehr Zeit in Innenräumen als im Freien verbringt, ist die Feinstaubbelastung in Innenräumen von weit größerer gesundheitlicher Bedeutung als die Feinstaubbelastung im Aussenbereich. Verschärft wird diese Gewichtung noch durch Hinweise darauf, dass Innenraum-Feinstaub über ein höheres toxisches Potenzial verfügt als der ausserhäusige Feinstaub (vgl. Punkt 5: Toxikologie).

4 Zusammensetzung von Feinstaub-Partikeln

In Tab. 3 sind die wichtigsten Bestandteile des atmosphärischen Feinstaubes (PM 10) aufgeführt.

Tab. 3: Bestandteile des atmosphärischen Feinstaubes (PM10)

Inhaltsstoff	Städtische Messstelle	Ländliche Messstelle
Bleioxid	0,1	0,1
Cadmiumoxid (CdO)	0,04	0,08
Nickeloxid (NiO)	/	/
Arsenoxid (As_2O_3)	/	/
Zinnoxid (ZnO)	0,5	0,7
Eisenoxid (Fe_2O_3)	4,9	2,3
Magnesiumoxid (MgO)	0,1	0,6
Calciumoxid (CaO)	1,9	1,8
Kaliumoxid (K_2O)	0,4	0,7
Natriumoxid (Na_2O)	1,7	2,6
Ammonium (NH_4^+)	7,9	7,4
Sulfat (SO_4^{2-})	13	17
Nitrat (NO_3^-)	14	11
Chlorid (Cl^-)	2,6	1,4
El.Kohlenstoff/Ruß	15	9
Schwerfl.Org. Verb	23	12
PAK	0,02	0,001
Rest (H_2O , Silicate)	18	34

Quelle: Kappos et al., 2003

Im Vergleich wird deutlich, dass die städtische Verdichtung menschlicher Aktivitäten wie Gewerbe und Verkehr vorrangig zu einer Erhöhung des organischen Anteils am atmosphärischen Feinstaub führt. Bei der Betrachtung der Zusammensetzung des Innenraum-Feinstaub im Vergleich mit der Zusammensetzung des atmosphärischen Feinstaub ergibt sich eine weitere Verschiebung zugunsten des organischen Anteils.

Die Feinstaubbelastung in Innenräumen speist sich zu ca. 50 Prozent aus atmosphärischem Feinstaub, der beim Luftaustausch mit der Aussenluft in den Innenraum transportiert wird. Weitere ca. 50 Prozent speisen sich aus Koch- und Verbrennungsaktivitäten, aus Tabakrauch und kondensierten Emissionen schwerflüchtiger Chemikalien aus Bau- und Einrichtungsmaterialien. In Büroräumen sind überdies die Emissionen von Kopierern, Druckern u.ä. bedeutende Feinstaub-Quellen.

5 Epidemiologie

Epidemiologische Untersuchungen zum Einfluss der Feinstaub-Belastung der Luft auf die menschliche Gesundheit sind sehr zahlreich und von hoher Qualität. Sie beziehen sich bislang allerdings ausschließlich auf die Feinstaub-Belastung der Aussenluft.

Kurzzeitige Anstiege der Feinstaubbelastung (PM_{2,5}/PM₁₀) um 10 µg/m³ führen demnach zu einem Anstieg der Mortalität in der Gesamtbevölkerung von 0,3 - 1,6% (WHO, 1996). Besonders gefährdet sind Menschen mit Asthma und chronischer Bronchitis sowie Kleinkinder und ältere Menschen.

In der Langzeitbelastung sind erhöhte Belastungen im Jahresmittel mit erhöhter Prävalenz der Bronchitis verbunden. Heinrich et al (2002) berichten, dass ein Anstieg der Feinstaub-Belastung um 10 µg/m³ im Jahresmittel zu einer Erhöhung der Bronchitis-Prävalenz bei Kindern um etwa 20 - 40 Prozent führt.

Übereinstimmend herrscht die Ansicht vor, dass ein Schwellenwert, unterhalb dessen eine Feinstaub-Belastung als gesundheitlich unbedenklich betrachtet werden könnte, nicht angegeben werden kann.

6 Toxikologie

Untersuchungen zum toxischen Potenzial von Feinstaub wurden sowohl mit atmosphärischem Feinstaub als auch mit Feinstaub aus Innenräumen durchgeführt. Sie zeigen neben zytotoxischen und neurotoxischen Wirkungen insbesondere ausgeprägte Reizwirkungen auf die oberen und unteren Atemwege.

Mücke et al (1999) haben in 51 Münchener Haushalten und als Referenz zeitgleich im Freien Feinstaub-Sammlungen vorgenommen und die Proben mittels biologischer Testsysteme auf zytotoxische und mutagene Wirkungen untersucht. Die Zytotoxizität der Aussenluft war in der Münchener Innenstadt am höchsten und nahm zu den Vororten hin ab. In zwei Dritteln der untersuchten Haushalte war der Innenraum-Feinstaub toxischer als der atmosphärische Feinstaub. Die Erhöhung betrug im Mittel 33 Prozent. Raucherhaushalte unterschieden sich extrem von Nichtraucherhaushalten. In Raucherhaushalten war die Toxizität des Feinstaub gegenüber Nichtraucherhaushalten um das Dreifache erhöht. Im Mutagenitätstest war der Feinstaub in 11 von 51 Haushalten positiv, während von 51 atmosphärischen Referenzproben lediglich 5 positiv waren.

Pan et al. (2000) haben in einem Kammertest Versuchspersonen einer Feinstaub-Belastung (PM 20/Bürostaub) von $394 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ausgesetzt, deren Partikelspektrum bei 1 - 2 μm ein Maximum aufwies. Dabei beobachteten sie die folgenden signifikanten Effekte:

- Halskratzen
- Hustenreiz
- trockene Nase
- feuchte Gesichtshaut
- Konzentrationsschwäche
- Kopfschmerz

Molhave et al (2000) haben ebenfalls in einem Kammertest Versuchspersonen Feinstaub (TSP/Bürostaub) ausgesetzt und mit verschiedenen Feinstaub-Konzentrationen gearbeitet ($7 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $136 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $390 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Diese Arbeitsgruppe nennt folgende signifikanten und dosisabhängigen Effekte:

- Geruchsbelästigung; Wahrnehmung der Luft als "schlecht"
- Augenreizungen
- Nasenreizungen
- Kopfschwere, über die Exposition hinaus anhaltend
- Schwitzen

Von den Autoren dieser Studie wird für die genannten Effekte eine Schwellenkonzentration von $< 140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vermutet.

7 Regulation

Die TA Luft nennt in Vollzug einer entsprechenden EU-Richtlinie für atmosphärischen Feinstaub (PM 10) einen Grenzwert für von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel, wobei im Tagesmittel $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht überschritten werden sollen. Ab 2010 sollen im Jahresmittel $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht mehr überschritten werden.

Die amerikanische Umweltbehörde EPA nennt für PM 2,5 im Aussenbereich einen Grenzwert von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel.

Für die Feinstaub-Belastung in Innenräumen ist uns gegenwärtig nur eine amtliche Empfehlung aus Norwegen bekannt. Sie weist für PM 2,5 im 24h-Mittel eine Konzentration von $< 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aus.

8 Zusammenfassung

Feinstaubbelastungen im Innenraum sind von hoher Bedeutung für Gesundheit und Wohlbefinden von RaumnutzerInnen insbesondere dort, wo diese sich für viele Stunden täglich in den selben Räumen aufhalten. In Kindergärten, Schulen und Büros sollte beim Auftreten der vorgenannten Beschwerden aus dem Atemwegs- und neurologischen Bereich, die häufig auch als "Sick-Bulding-Syndrom" (SBS) zusammengefasst werden, die Feinstaubbelastung kontrolliert und ggf. Abhilfe geschaffen werden.

Das IfAU - Institut für Angewandte Umweltforschung e.V. hilft Ihnen hierbei ebenso wie bei allen sonstigen innenraumhygienischen Fragestellungen gerne weiter.

9 Literatur

Girman JR, Womble SE, Ronca EL (1995) Developing baseline information on buildings and indoor air quality (BASE '94) In: Maroni M (Ed) Part II. Environment Pollutant Measurements and Occupant Perceptions. Proceedings of Healthy Buildings '95, Milan, Italy, pp 1311-1316.

Heinrich J, Grote V, Peters A, Wichmann HE (2002) Gesundheitliche Wirkungen von Feinstaub: Epidemiologie der Langzeiteffekte. *Umweltmed Forsch Prax*, 7 (2), pp 91-99.

Kamens R, Lee, CL, Wiener R, Leith D (1991) A study to characterize indoor particles in three non-smoking homes. *Atmospheric Environment* 25 A, pp 939-948.

Kappos A, Bruckmann P, Eikmann T, Englert N, Heinrich U, Höpfe P, Koch E, Metz, N, Rauchfuss K, Rombout P, Schabronath J, Schulz-Klemp V, Spallek MF, Wichmann HE, Kreylink WG, Krause GHM (2003) Bewertung des aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstandes zur gesundheitlichen Wirkung von Partikeln in der Luft. *Umweltmed Forsch Prax* 8 (5), pp 257-278.

Kemp PI, Dingler P, Nerumeister HG (1998) Particulate matter intervention study: a casual factor of building related symptoms in an older building. *Indoor Air* 8, pp 153-171.

Krug HF (2003) Nanopartikel: Gesundheitsrisiko, Therapiechance? *Nachrichten aus der Chemie*, 51, Dezember 2003.

Menzies R, Tamblyn RM, Hanley J, Nunes F, Tambyl RT (1993) Impact of exposure to multiple contaminants on symptoms of sick building syndrome. In: Ilmarinen R, Jaakola J, Seppanen O (Eds), Proceedings of Indoor Air '93, Vol 1, pp 363-368.

Møhlhave L, Kjaergard SK, Attermann J (2000) Sensory and other neurogenic effects of exposures to airborne office dust. *Atmosphere Environment*, 34, pp 4755-4766.

Mücke W, Blum M, Hunstein R, Ritter U (1999) Toxikologische Untersuchungen des Luftstaubs in Innenräumen bei gleichzeitiger Erfassung der Außenluft. *Gefahrstoffe / Reinhaltung der Luft* 08/1999.

Pan Z, Møhlhave L, Kjaergard SK (2000) Effects on Eyes and Nose in Humans after Experimental Exposure to Airborne Office Dust. *Indoor Air*, 10, pp 237-245.

Shaughnessy RJ, Brennan T, Ligman BK, Fischer EJ, Turk BH, Harrison J (1995) Indoor and outdoor respirable suspended particles in schools across the United States. In: Maroni M (Ed) Proceedings of Healthy Buildings '95, Milan, Italy, pp 499-506.

Skov B, Valbjørn O, DISG (1990) The Danish Town Hall Study - A one-year follow-up. In: Walkins-haw D (Ed), Proceedings of Indoor Air '90, Ottawa, Canada, Vol 1, pp 787-791.

Spengler JO, Dockury WA, Turner WA, Wobson JM, Ferris BG (1981) Long term measurements of respirable sulfates and particles inside and outside homes. *Atmospheric Environment* 15, pp 23-30.

WHO (World Health Organisation) (1996) Update and revision of the WHO air quality guidelines for Europe - European Center for Environment and Health, Bilthoven, The Netherlands Vol 6 Classical.