



## **Austrian Project on Health Effects of Particulates**

Zusammenfassung

Wien 2004

AUPHEP ist ein Forschungsprojekt der Kommission für Reinhaltung der Luft der Österreichischen Akademie der Wissenschaften in Zusammenarbeit mit den folgenden Institutionen: Institut für Experimentalphysik der Universität Wien, Institut für Umwelthygiene und Universitätsklinik für Kinder- und Jugendheilkunde der Medizinischen Universität Wien; Institut für chemische Technologien und Analytik der Technischen Universität Wien; Institut für Meteorologie der Universität für Bodenkultur; Pulmologisches Zentrum der Stadt Wien, Amt für Jugend und Familie, Magistrat Linz, Umweltbundesamt Wien, Immissionsmeßabteilungen der Österreichischen Bundesländer, Stadt Wien - MA-22 (chemisches Labor). Das Projekt begann im Jahr 1998 und wurde 2004 abgeschlossen.

Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, dem Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften finanziert. Weitere Beiträge kamen von den Umweltmeßabteilungen der Österreichischen Bundesländer, dem Umweltbundesamt und einigen Firmen.

Partikelförmige Luftverunreinigungen (PM-particulate matter) in hohen Konzentrationen waren in der Mitte des vergangenen Jahrhunderts ein gravierendes gesundheitliches Problem (z.B. Londoner Smogkatastrophen). Massive technische und legistische Maßnahmen in der industrialisierten Welt führten zu einer drastischen Abnahme der Staubkonzentration. Trotzdem zeigten epidemiologische Studien (z.B. "Six Cities Study" in den USA) auch bei relativ niedrigen Staubkonzentrationen (etwa im Bereich der Immissionsgrenzwerte) statistische Zusammenhänge zwischen Staubkonzentration und gesundheitlichen Beeinträchtigungen. Insbesondere die feinen Anteile mit Partikelgrößen unter 2,5 µm erwiesen sich als problematisch. Betroffen sind die Atmungsorgane und das Herz-Kreislaufsystem, wobei insbesondere Risikogruppen wie Kinder und ältere sowie vorgeschädigte Menschen empfindlich reagieren. Auch intensive Forschungen in den vergangenen 25 Jahren konnten die kausalen Zusammenhänge zwischen Staubbelastung und ihren gesundheitsschädigenden Wirkungen nicht restlos aufklären. Nach dem derzeitigen Wissensstand gibt es allerdings auch schon bei sehr niedrigen Konzentrationen gesicherte Zusammenhänge zwischen einer Erhöhung der Sterblichkeit und vermehrten Erkrankungen der Atmungsorgane und des Kreislaufsystems mit der Feinstaubbelastung. Der kausale Parameter (Massenkonzentration, Anzahlkonzentration, Oberfläche, Inhaltsstoffe, etc.) konnte bisher nicht eindeutig bestimmt werden.

Ziel des österreichischen Projektes war es, die Immissionssituation insbesondere bezüglich Staub

möglichst repräsentativ für Österreich an ausgewählten Standorten zu erfassen. Aus diesen Daten wurde die Relation der einzelnen PM-Parameter zueinander und die charakteristische chemische Zusammensetzung des Aerosols - auch in Abhängigkeit von den jeweiligen Großwetterlagen - abgeschätzt. An vier bestehenden Immissionsmeßstellen, an denen bereits die Schadstoffe  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}/\text{NO}_2$ , TSP und  $\text{O}_3$  sowie die wichtigsten meteorologischen Komponenten erfaßt wurden, wurden TSP (Gesamtschwebstaub),  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ ,  $\text{PM}_{1,0}$  und Partikelzahl kontinuierlich gemessen. Die einjährigen Meßserien zeigen bei der Massenkonzentration aller Fraktionen in Wien und Streithofen (NÖ) nur geringe Unterschiede für Sommer und Winter, die Stationen in Linz und Graz hingegen zeigen bei generell höheren Konzentrationen ein deutliches Maximum im Winter. Die Partikelzahlkonzentrationen zeigen an allen städtischen Stationen höhere Werte mit einem Maximum im Winter, die ländliche Station in NÖ (Tullnerfeld) liegt in den beiden Jahreshälften ziemlich gleich. Meteorologische Herkunftsanalysen haben ergeben, daß diese Station in vielen (aber nicht allen) Fällen als Hintergrundstation für Wien herangezogen werden kann. Höhere Konzentrationen (Grenzwertüberschreitungen) der PM-Konzentration treten aufgrund von ungünstigen meteorologischen Bedingungen (z.B. niedrige Mischungshöhen) generell eher im Winter auf.

Die  $\text{PM}_{10}$ - und  $\text{PM}_{2,5}$ -Fraktion wurden auch als Tagesprobe mittels High-Volume-Sammler erfaßt und einer ausführlichen chemischen Analyse zugeführt. Das analytische Meßprogramm umfaßte die Bestimmung der Ionen, der Spurenmetalle, des Rußes und des organischen Kohlenstoffs. Aufgrund der chemischen Analyse war es möglich, Rückschlüsse über den Einfluß von Aerosolquellen zu erhalten. Aufgrund der dualen Probennahme im Raum Wien (AKH - Streithofen) war auch ein Rückschluß auf den Stadteinfluß auf das Aerosolgeschehen möglich. So lag der Einfluß der Stadt auf die  $\text{PM}_{10}$  Konzentration am AKH im Jahresmittel bei 22%. Im Rahmen von Meßkampagnen (Sommer, Winter) wurden mittels eigens für derartige Fragestellungen entwickelter hochauflösender Impaktoren neben der Masse des Aerosols die löslichen Ionen und verschiedene Schwermetalle in mehreren Korngrößenbereichen bestimmt.

Die Daten dieser Meßserien bilden die Basis für die angeschlossenen Studien über die Wirkung von Partikeln. Sie sind in einer Datenbank zusammengefaßt und als CD erhältlich.

Der Einfluß von partikelförmigen Luftschadstoffen auf die Lungenfunktion von Kindern wurde durch epidemiologische Untersuchungen an zwei Kohorten untersucht (Einfluß von PM auf die Lungenfunktion ein bis zweijähriger Kleinkinder, Einfluß von PM auf die Lungenfunktion von Grundschulkindern). In einer weiteren Teilstudie wurden Zeitreihenanalysen der Gesundheitsdaten aus Wien, Tullnerfeld, Linz und Graz unter Einbeziehung der verfügbaren Belastungsdaten dieser Bereiche durchgeführt. Morbiditätsdaten (Spitalsentlassungsdiagnosen aus dem Umfeld der Meßstationen) sowie Mortalitätsdaten respiratorischer und kardiovaskulärer Ursachen wurden mit den Expositions- und Wetterdaten verknüpft.

Die früher bei Zeitreihenstudien in Wien nachgewiesenen Zusammenhänge zwischen  $\text{SO}_2$  und Schwebstaub einerseits und vorzeitigen Sterbefällen durch Bronchitis/Asthma andererseits, konnten 1999-2001 nicht mehr gefunden werden, was auf Verbesserungen der Luftqualität (Sanierung von Industrie und Hausbrand) zurückführbar ist. Ein Anstieg von Feinstaub ( $\text{PM}_{2,5}$ ) um  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ist aber immer gefolgt von einem Anstieg der Spitalsaufnahmen über 65-Jähriger wegen Bronchitis/Asthma von 5,5% bei Männern und 5,6% bei Frauen. Neben älteren Personen kommt es auch bei den Hospitalisierungen von Kindern zu einem entsprechenden Anstieg, der bei Mädchen im Vorschulalter 8% und im Schulalter 6% erreicht. Ein Anstieg kohlenstoffhaltiger

Feinstäube (wie sie z.B. durch Dieselfahrzeuge entstehen) war in Wien von Beeinträchtigungen der Atmung bei Kindergartenkindern begleitet. Diskrete, subklinische Lungenfunktionsbeeinträchtigungen bei Kindern waren das erste Zeichen ansteigender Feinstaubbelastung, gefolgt von Symptomen bei Risikogruppen im größeren Umkreis und einer Zunahme von Spitalsaufnahmen mit entsprechender Diagnose im gesamten Stadtgebiet. Bereits Stunden nach einer Zunahme der aktiven Stauboberfläche an einer Linzer Meßstation konnten bei Kindern einer benachbarten Volksschule leichte Zunahmen des Atemwiderstandes und Abnahmen des Atemstoßwertes nachgewiesen werden. Dagegen dauerte es im gesamten Stadtgebiet von Wien einige Tage, bis nach einem Anstieg der  $PM_{2,5}$ -Konzentration die Spitalseinweisungen wegen Bronchitis/Asthma signifikant anstiegen, und zwar bei den über 65-jährigen Männern 2 Tage, bei den über 65-jährigen Frauen 3 Tage, bei Kindern (Mädchen) im Schulalter 2 Tage und im Vorschulalter 4 Tage. Ein zweiter Gipfel der Spitalsaufnahmen fand sich bei den über 65-Jährigen 10 Tage nach dem Anstieg der Feinstaubkonzentration. Bereits am Tag nach diesem Anstieg zeigten sich auch bei der spezifischen Mortalität signifikante Zunahmen, die unabhängig von Temperatureinflüssen nachweisbar waren, und zwar bei ischämischen Herzkrankheiten (Herzinfarkt) bei einem Alter von über 65 Jahren. Während für Lungenerkrankungen nicht nur bei  $PM_{2,5}$  sondern auch bei  $PM_{10}$  Zusammenhänge erkennbar waren, trat die Zunahme ischämischer Herzkrankheiten nur nach Anstiegen der Feinstaubkonzentration ( $PM_{1,0}$ ,  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{2,5} - PM_{1,0}$ ) auf. Wegen der kurzen Latenz muß für die vorzeitigen Herztodesfälle angenommen werden, daß sie eine direkte Auswirkung des über die Lunge ins Blut gelangten Feinstaubes auf das Blutgerinnungssystem und das Herz sind.

In einer Längsschnittuntersuchung an Schulkindern in Wien, Tullnerfeld und Linz wurden insgesamt 2913 Kinder der zweiten und dritten Schulstufe aus je sieben Schulen in Wien und dem Tullner Feld und aus 10 Schulen in Linz einbezogen. Die Eltern der Kinder wurden viermal (einmal pro Jahreszeit) mit Fragebogen und die Kinder in persönlichem Interview befragt. Dabei wurden aktuelle und frühere respiratorische Beschwerden sowie allergische und andere chronische Erkrankungen des Kindes und in der Familie, die Lebensumstände des Kindes und demographische Merkmale erhoben. Als zentrale Endpunkte der Untersuchung wurden die Gesamteinstufung der respiratorischen Gesundheit durch die Eltern und ein aus Symptomen und Medikationen errechneter Asthma-Score herangezogen. Der Einfluß der Feinstaubbelastung wurde mit einem gemischten Regressionsmodell analysiert, wobei als zeitabhängige Größen die Feinstaubfraktionen und Klimadaten der letzten vier Wochen vor Beantwortung des Fragebogens analysiert wurden. Als fixe Größen wurden das Alter des Kindes zu Beginn der Untersuchung, das Geschlecht, Allergie des Kindes und anderer Familienmitglieder, Asthma in der Familie, Passivrauchen, LKW-Verkehr in der Wohnstraße, die allgemeine Verkehrsbelastung in der Wohnstraße, Kochen oder Heizen mit Gas sowie sichtbare Schimmelbildung in der Wohnung einbezogen.

Keine oder nur geringe Zusammenhänge fanden sich mit dem Asthma-Score. Die Variation der längerfristigen Feinstaubbelastung läßt im Allgemeinen keinen Schluß auf die Variation der Asthma-Symptomatik zu. Die Fraktionen  $PM_{1,0}$  und in geringerem Ausmaß  $PM_{2,5}$  waren allerdings im Tullnerfeld systematisch mit der Stärke der Symptomatik verbunden. Klare Zusammenhänge zeigten sich zwischen Feinstaubkonzentration im Referenzzeitraum und Gesamteinstufung der Lungengesundheit. Hohe  $PM_{2,5}$  Werte waren mit einem erhöhten Risiko für eine Beeinträchtigung der Lungengesundheit verbunden. Die Analyse zeigte ferner, daß diese Erhöhung überwiegend auf die Feinstaubfraktion im Bereich zwischen 1,0 und 2,5  $\mu m$  zurückgeht. Die beiden Impaktorkampagnen im Sommer und Winter zeigen eindeutig, daß die

Massenkonzentration in diesem Bereich die Verschiebungen zwischen Fein- und Grobfraction anzeigt und daher einen Indikator für die aerosolphysikalischen Prozesse darstellt, die in der Akkumulation und Fraktionierung von Partikeln ihren Niederschlag finden. Da auch die Stärke des LKW-Verkehrs in der Wohnstraße der Kinder eine bedeutende Rolle für die Erklärung der Unterschiede in der respiratorischen Symptomatik spielt, kann man annehmen, daß Dieselruß eine der Ursachen für das Auftreten bzw. die Stärke der Symptome ist.

Zusammenfassend lassen diese Zeitreihenstudien zwar Verbesserungen der Luftqualität gegenüber früheren Jahren erkennen, zeigen aber weiterhin, daß die Feinstaubproblematik immer noch aktuell ist. Sie begründen dringenden Handlungsbedarf im Hinblick auf die Reduktion der Feinstaubkonzentration zum Schutz der menschlichen Gesundheit, insbesondere von Risikogruppen.

## Austrian Project on Health Effects of Particulates



### Summary

Vienna 2004

AUPHEP is a research project carried out by the Clean Air Commission of the Austrian Academy of Sciences in cooperation with the following institutions: Institute of Experimental Physics of the University of Vienna, Institute of Environmental Health and University Children's Hospital of the Medical University of Vienna, Institute for Chemical Technology and Analytics of the Vienna University of Technology, Institute for Meteorology of the University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Pulmonary Center of the city of Vienna, Office for Youth and Family Affairs of the City of Linz, Federal Environment Agency, Vienna, Air Quality Departments of the Federal Austrian States, City of Vienna - MA-22 (chemical laboratory). The project was started in 1998 and was completed in 2004.

The project was funded by the Federal Ministry for Science and Traffic, the Federal Ministry of Environment, Youth and Family Affairs, and the Austrian Academy of Sciences. Additional financial support came from the Ambient Air Monitoring Networks of the Federal Austrian States, the Federal Environment Agency, as well as several companies.

In the middle of the last century high concentrations of particulate air pollution (PM - particulate matter) were a serious menace to human health (e.g. London smog episodes). Extensive technical and regulatory measures taken in the industrialized countries led to a considerable reduction of PM concentration. Nevertheless, epidemiological studies (e.g. "Six Cities Studies" in the USA) demonstrated that even at relatively low PM concentrations (varying around air quality standards) there is a positive statistical association between PM concentrations and adverse health effects. Especially the fine fractions with diameters smaller than 2.5  $\mu\text{m}$  proved critical; they affect the respiratory tract and the cardiovascular system particularly in susceptible groups such as children, the elderly, and individuals with pre-existing diseases. Although intense research was carried out in this field during the last 25 years, the causal links between PM burden and adverse health effects could not be determined unambiguously. The latest research findings provide convincing evidence that even at very low PM concentrations there is a relationship between health effects (increased mortality and more frequent disorders of the respiratory tract and the circulation system) and PM-burdens. The causal agent (mass concentration, number concentration, surface, composition etc.) could not be identified with certainty to date.

The purpose of the Austrian project was to give an overview on the ambient air quality situation with special emphasis on PM; the monitoring sites were selected in an effort to reflect the typical Austrian situation. The interaction of the different PM-parameters and the characteristic chemical composition of the aerosol with respect to the current meteorological situation could thus be

evaluated. At four sampling sites where SO<sub>2</sub>, NO/NO<sub>2</sub>, TSP, and O<sub>3</sub> and the most important meteorological parameters were already being monitored, continuous measurements were carried out for TSP (total suspended particles) PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1.0</sub>, and particle number concentration. The 12 months monitoring series demonstrate only a weak variability between summer and winter in the mass concentrations of all fractions in Vienna and Streithofen (NÖ), the sites in Linz and Graz - having higher concentrations in general - indicate a clear maximum in winter. At all urban sites the particle number concentrations are higher, peaking in winter; the rural site at Tullnerfeld has nearly equal concentrations in both seasons. Trajectory analyses revealed that these sites are well suited in most (but not all) cases to serve as background stations for Vienna. In general, higher PM concentrations above the current standards are more common in winter due to the unfavorable weather conditions (e.g. low mixing layer).

The PM<sub>10</sub>- and PM<sub>2.5</sub>- fractions were also collected as diurnal sample by means of a high volume sampler and underwent thorough chemical analysis. The analytical measurement program included ions, trace metals, soot, and organic carbon. The chemical analysis revealed the influence of aerosol sources. Due to the parallel sampling at the urban station in Vienna (AKH) and the background station at Streithofen it was possible to detect metropolitan influences in the aerosol formation processes. The metropolitan contribution to the PM<sub>10</sub> concentration at the AKH site showed an annual mean of 22%. During monitoring campaigns (in summer and winter) using specially designed high resolution impactors soluble ions and a number of heavy metals within different size-modes could be identified.

The data derived from these monitoring series are the basis for the subsequent studies on health effects of particulates. They are compiled in a database and are collected on a CD-Rom, thus made available.

The effects of particulate air pollution on the lung function of children were investigated in an epidemiological survey conducted with two cohorts (PM effects on the lung function of one- and two-year old children, PM effects on the lung function of elementary school children). In another study, time-series analyses were carried out using health data from Vienna, Tullnerfeld, Linz, and Graz including exposure data collected in these areas. Morbidity data (hospital discharges with relevant diagnosis recorded around the monitoring stations) and mortality data due to respiratory and cardiovascular diseases were linked with the exposure and weather data.

The relationship between the two causal pollutants SO<sub>2</sub> and suspended particles on the one side and premature deaths due to bronchitis/asthma on the other observed in previous time-series studies in Vienna, could no longer be found in the years 1999-2001, a benefit from improved air quality (emission control in industry and domestic heating). A rise in fine mode concentrations (PM<sub>2.5</sub>) of 10 µm/m<sup>3</sup> is commonly linked to an increase in hospitalization of persons older than 65 years for bronchitis/asthma, i.e. 5.5% in men, and 5.6% in women. But not only the elderly are affected, hospitalization of children goes up too, of preschool girls by 8%, of school girls by 6%. A rise in carbonaceous fine particles (e.g. as caused by diesel-powered vehicles) in Vienna was associated with adverse respiratory effects in kindergarten children. First responses to a rise in fine particles burden are characterized by discrete, subclinical lung function disorders in children followed by symptoms of adverse effects in susceptible subpopulations living near the monitoring site and increased hospital admissions with attributable diagnosis in the whole metropolitan area. Some hours after an increase in active surface recorded at a monitoring station in Linz, an examination of children of a nearby primary school revealed

a slight increase in respiratory resistance and a slight decrease in peak flow. In the city of Vienna, however, a significant increase in hospital admissions for bronchitis/asthma triggered by a rise in  $PM_{2.5}$  occurred two or more days after the event: in men over 65 years after 2 days, in women over 65 years after 3 days, in schoolgirls after 2 days, in pre-schoolgirls after 4 days. A second peak in hospitalizations was observed in persons over 65 years 10 days after a rise in fine dust concentration. One day after the event, a significant increase in specific mortality due to ischemic heart disease (myocardial infarction) in persons older than 65 years - independent of temperature - could be observed. Lung disorders occurred after an increase in  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$ , but an increase in ischemic heart disorders could only be found after a rise in fine particle concentration ( $PM_{1.0}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{2.5}-PM_{1.0}$ ). Due to the short latency interval it must be supposed that premature deaths due to heart disease are a direct consequence of the penetration of fine particles into the blood via the lung, impairing the coagulation mechanism and interacting directly with the heart.

In a longitudinal PM exposure study carried out with schoolchildren in Vienna, Tullnerfeld, and Linz a total of 2913 children of the second and third grade from seven schools in Vienna and Tullnerfeld respectively and from 10 schools in Linz was examined. The children's parents filled out a questionnaire four times (one per season), the children were directly interviewed. Current and previous respiratory disorders along with allergic responses and chronic diseases of the child and his family, the life style of the child, and demographic features were recorded. The main points of the examination were the overall evaluation of the respiratory health as judged by the parents together with an asthma score derived from the present symptoms and the medication. The influence of the PM burden was analyzed using a mixed regression model, with the time-activity parameters being the PM fraction and the climate data of the last four weeks preceding the personal interviews. The age of the child at the beginning of the inquiry, gender, allergies of the child and his family, asthma of the family, passive smoking, truck traffic in the residential area, general traffic density in the residential area, domestic cooking or heating with gas and the presence of moulds in the home were included as fixed variables.

Associations with the asthma score proved weak or non-existent. The variability of medium-term PM burden is generally not linked with the variability of asthma symptoms. In Tullnerfeld however, the findings showed a systematic correlation between the  $PM_{1.0}$  fraction, to a certain extent also the  $PM_{2.5}$  fraction, and the severity of the symptoms. A clear relationship was found between the fine dust concentration during the reference period and the overall evaluation of the lung condition. High  $PM_{2.5}$  concentrations were linked with an aggravated risk for impending lung injuries. The analysis strongly suggested that this increase was due to the PM fraction ranging from 1.0 to 2.5  $\mu m$ . The two impactor campaigns carried out in summer and winter clearly demonstrate that the mass concentration in this area varies with the fine and coarse fraction and is therefore an indicator of the physical aerosol processes which play an active role in the accumulation and fractioning of particles. Since truck frequency in the residential area of the children is an important factor of the incidence of respiratory disorders, diesel soot seems to be one of the causal agents of occurrence and severity of the symptoms.

In summary, compared to former years, these time-series studies indicate an improvement in air quality but still give evidence of a prevailing high fine dust concentration. This is a serious hint that further research is urgently needed for the protection of human health in general and of susceptible subpopulations in particular.