

FEINSTAUBBELASTUNG IN LUXEMBURG - VERHALTEN UND EIGENSCHAFTEN IN DER BODENNAHEN ATMOSPHERE

ANDREAS KREIN¹, JEAN-FRANÇOIS IFFLY¹, JÜRGEN JUNK¹,
JEAN-NICOLAS AUDINOT², LAURENT PFISTER¹, LUCIEN HOFFMANN¹

¹Centre de Recherche Public - Gabriel Lippmann, Département Environnement
et Agro-Biotechnologies, 41 rue du Brill, L-4422 Belvaux, Großherzogtum
Luxemburg, krein@lippmann.lu

²Centre de Recherche Public - Gabriel Lippmann, Département Science et Analyse
de Matériaux, 41, rue du Brill, L-4422 Belvaux, Großherzogtum Luxemburg

Abstract: In the last years, the measures of air pollution control concentrated primarily on the reduction of gaseous air pollutants, in particular nitrogen oxides and ozone. However, in the field of air hygiene in Central Europe, especially the load of near-surface atmospheric dust particles becomes threatening to human health. Continuous dust measurements, carried out by the Centre de Recherche Public - Gabriel Lippmann at selected stations, show that also in Luxembourg the threshold values set by the European Union are exceeded. The measured concentrations exhibit typical yearly, monthly and diurnal variations determined by anthropogenic activities (e.g. amount of traffic) and meteorological parameters. In particular wind velocity, wind direction, precipitation, relative air humidity, atmospheric stability and air temperature influence the behaviour of fine airborne particles. These are washed from the atmosphere by precipitation and bound by the water surface's film found on objects such as plants or buildings. The reduction of fine dust loading depends on the duration of the rain event and the rainfall amount. Investigations of WICHMANN (2000) or HEINRICH (2000) showed that the PM₁₀ are posing a risk to health. Microscopic-chemical investigations of the particles in the CRP - Gabriel Lippmann confirm this hazard potential. Particularly, the particles adhering heavy metals represent a potential threat to the human organism.

Zusammenfassung: Die Maßnahmen der Luftreinhaltung haben sich in den letzten Jahren primär auf die Reduktion der gasförmigen Luftschadstoffe, insbesondere Stickoxide und Ozon konzentriert. In Mitteleuropa hat sich im Bereich der Lufthygiene aber vor allem die Belastung der bodennahen Atmosphäre mit Staubpartikeln als problematisch für die menschliche Gesundheit herausgestellt. Kontinuierliche Staubmessungen des Centre de Recherche Public - Gabriel Lippmann zeigen, dass auch in Luxemburg an ausgewählten Stationen die Grenzwerte der Europäischen Union überschritten werden. Die gemessenen Konzentrationen weisen typische Jahres-, Monats- und Tagesgänge auf, die sowohl auf anthropogene Ursachen, wie das Verkehrsaufkommen als auch auf nicht anthropogene Ursachen, wie den Jahresgang meteorologischer Parameter zurückzuführen sind. Insbesondere Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Niederschlag, relative Luftfeuchtigkeit, Stabilität der Atmosphäre und Lufttemperatur haben einen Einfluss auf das Verhalten der luftgetragenen Feinpartikel. Durch Niederschlag werden diese aus der Atmosphäre gewaschen und durch den Wasserfilm auf Objekten wie Pflanzen oder Gebäuden gebunden. Die Abnahme der Feinstaubkonzentration hängt von der Dauer und der Höhe des Niederschlages ab. Untersuchungen von WICHMANN (2000) oder HEINRICH (2000) haben gezeigt, dass die PM₁₀ Immissionen über ein erhebliches

gesundheitsgefährdendes Potential verfügen. Mikroskopisch-chemische Untersuchungen der Partikel im CRP - Gabriel Lippmann bestätigen dieses Gefährdungspotential. Vor allem an den Partikeln anhaftende Schwermetalle stellen eine potentielle Bedrohung für den menschlichen Organismus dar.

Keywords: Feinstaub, PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_1 , Verkehrsimmissionen, Gesundheit

Einleitung und Problemstellung

Ein wesentlicher Parameter zur Beschreibung von Staubemissionen ist die Korngröße der Partikel. Im Umweltbereich wird zwischen inhalierbarem Feinstaub PM_{10} (Durchmesser kleiner $10\ \mu\text{m}$), lungengängigem Feinstaub $PM_{2.5}$ (Durchmesser kleiner $2.5\ \mu\text{m}$) sowie ultrafeinen Partikeln (Durchmesser kleiner $0.1\ \mu\text{m}$) unterschieden. Partikel der Fraktionen PM_{10} , $PM_{2.5}$ und PM_1 (Durchmesser kleiner $1\ \mu\text{m}$) werden in einem Messnetz des Centre de Recherche Public - Gabriel Lippmann erfasst. Die toxikologischen und epidemiologischen Wirkungen von feinen und ultrafeinen Partikeln auf den Menschen sind derzeit in vielen Ländern Gegenstand intensiver Forschung und führten zur Einführung gesetzlicher Grenzwerte. So wurden in der Schweiz bereits mit Wirkung vom März 1998 Immissionsgrenzwerte für den Feinstaub PM_{10} festgelegt. Um den Menschen vor zu hohen Belastungen durch Partikel zu schützen, existieren zwei gesetzliche Grenzwerte zu PM_{10} -Immissionskonzentrationen. Diese Grenzwerte sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Der Tagesgrenzwert von $50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} wird öfter überschritten als der Jahresgrenzwert von $40\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} und spielt daher im öffentlichen Interesse eine wichtigere Rolle.

Bezüglich der Entstehung von Feinstaub erkennen wir anthropogene Quellen wie Verbrennungsprozesse von fossilen Energieträgern und Biomasse, industrielle Produktionsprozesse (Metallherstellung und -bearbeitung, Herstellung von Glas, Keramik und Zement), die Lagerung und der Umschlag staubender Güter (Getreide, Düngemittel, Futtermittel, Baustoffe, Kohle oder Erze) und den Reifen- und Bremsabrieb beim Betrieb von Fahrzeugen sowie das Aufwirbeln von Staub bei Fahrten auf unbefestigten oder beschädigten Straßen. Darüber hinaus sind natürliche Quellen wie Blütenpollen, die Winderosion von Böden, die Freisetzung von Salzen an der Meeresoberfläche oder vulkanische Eruptionen bekannt. Neben diesen primären Partikelquellen ist auch die Bildung sekundärer Partikel aus gas- bzw. dampfförmigen Luftverunreinigungen zu berücksichtigen. Analysen in Deutschland und der Schweiz zeigen, dass die Quellgruppen Straßenverkehr und Industrie / Gewerbe zusammen je nach Standort für 60% bis 80% der PM_{10} -Belastung verantwortlich sind. Als dritte Gruppe liefert die Landwirtschaft einen nicht unerheblichen Beitrag. Die verbleibenden anthropogenen Quellgruppen Haushalte und die aus natürlichen Quellen stammenden Partikel sind hingegen mit einem Anteil von weniger als 10% für die auftretenden PM_{10} -Immissionen von untergeordneter Bedeutung (BUWAL 2001). Durch technische Veränderungen und besonders durch den Wechsel von Kohle hin zu Öl und Gas hat sich in den letzten Jahrzehnten das Verteilungsmuster

zwischen groben und feinen Partikeln verschoben. Während die Partikelanzahl grober Partikel kontinuierlich zurückgingen, blieb die Anzahl der feinen und ultrafeinen Partikel konstant bzw. stieg bezogen auf die Masse noch an (KREYLING *et al.* 2003). Durch WORDLEY *et al.* (1997) wurden signifikant erhöhte Einweisungsraten in Krankenhäuser während Episoden mit erhöhten Feinstaubkonzentrationen in England nachgewiesen. Direkte Zusammenhänge zwischen erhöhten täglichen Mortalitätsraten und Feinstaubbelastungen wurden in den USA durch KLEMM *et al.* (2000) sowie SAMET *et al.* (2000) untersucht und bewiesen. Vergleichbare Ergebnisse präsentieren HOEK *et al.* (2000) für die Niederlande, HELBIG & JUNK (2006) zeigen Ergebnisse für die Region Trier / Luxemburg. Nur mit einer aufeinander abgestimmten Kombination von gesetzlichen Regeln und Vorgaben, Förderungen sowie gezielter Aufklärungsarbeit kann das Ziel der Reduktion der Feinstaub Emissionen und Immissionen im Sinne der EU-Richtlinie erreicht werden. Dafür müssen wir die lokalen Hauptquellen kennen und über Konzentrationen an repräsentativen Standorten Bescheid wissen. Vor diesem Hintergrund möchten wir einige Ergebnisse für das Großherzogtum Luxemburg präsentieren.

Beobachtungsperiode	Grenzwert	Toleranzwert	Gültigkeit ab
PM₁₀			
24 Stunden	50 µg/m ³ dürfen nicht öfter als 35-mal im Kalenderjahr überschritten werden	50 %	1. Januar 2005
Kalenderjahr	40 µg/m ³	20%	1. Januar 2005
PM_{2,5}			
Kalenderjahr (Phase 1)	25 µg/m ³	20 % am 11. Juni 2008, Reduzierung am folgenden 1. Januar und danach alle 12 Monate um einen jährlich gleichen Prozentsatz bis auf 0 % am 1. Januar 2015	1. Januar 2015
Kalenderjahr (Phase 2)	20 µg/m ³		1. Januar 2020

Feinstaubgrenzwerte für PM₁₀ und PM_{2,5} zum Schutz der menschlichen Gesundheit in Anlehnung an die Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa

MATERIAL UND METHODEN

Die Höhe der Schadstoffbelastung eines Ortes hängt primär von der Menge der lokal in die Atmosphäre emittierten Schadstoffe ab. Die Ausbreitungsbedingungen in der atmosphärischen Grenzschicht bestimmen die Immissionskonzentrationen der Schadstoffe in der Umgebung der Quelle. Dazu kommt der Schadstoffeintrag durch Ferntransporte, der von der meteorologischen Situation gesteuert wird. Besonders während windschwacher, autochthoner Wetterlagen modifizieren lokale Strömungen das Wind- und Temperaturfeld. Das durch die Geländestruktur geprägte Windfeld, der vertikale turbulente Austausch sowie die Mächtigkeit der Mischungsschicht bestimmen im Wesentlichen die Immissionskonzentrationen der Luftverunreinigungen. Die Intensität der vertikalen Durchmischung hängt von der thermischen Schichtung der Atmosphäre ab. Dies kann besonders bei dem Auftreten von Temperaturinversionen zu erhöhten Schadstoffkonzentrationen führen (JUNK *et al.* 2003).

Mit dem Ziel der Erfassung der aktuellen Feinstaubbelastung in Luxemburg, dem Bewerten der gesundheitlichen Relevanz, dem Berechnen von Prognosen und dem Erstellen von Szenarien unter besonderer Berücksichtigung des Straßenverkehrs, wurde ein engmaschiges Messnetz an repräsentativen Standorten erstellt. In Abbildung 1 sind einige ausgewählte Standorte dargestellt. Die Station Waldhaff liegt mitten im Forst nordöstlich der Stadt Luxemburg und fungiert als Hintergrundstation mit einem nur geringen anthropogenen Einfluss. Wir messen am Boden in 80 cm Höhe in einem alten Buchenbestand. Die Station im Roeserbann wurde direkt neben einer Baustelle errichtet, um diese Staubquelle besser bewerten zu können. Das Messgerät steht ungefähr 10 Meter neben einem neu zu errichtenden Appartementgebäude mit ca. 10 Parteien. Die Messstelle Krakelshaff repräsentiert einen Standort neben der Autobahn A3 von Frankreich kommend in Fahrtrichtung Luxemburg. Hier soll der Einfluss der täglichen Pendlerströme aus dem Nachbarland bezüglich der Entstehung von Feinstaubpartikeln näher beschrieben werden. Abbildung 2 illustriert diesen Messpunkt. Parallel zu dieser Messstelle existiert eine Einrichtung zur Verkehrszählung für beide Fahrtrichtungen auf der A3, so dass wir unsere Ergebnisse direkt mit diesen Daten in Beziehung setzen können. Ein weiterer Ort der Feinstaubmessungen ist das Dach des Centre de Recherche Public - Gabriel Lippmann im Ort Belvaux. Die Messhöhen der offiziellen Stationen im Messnetz der Länder in der Europäischen Union arbeiten in unterschiedlichen Höhen zwischen 0.5 und 22 Metern, die meisten zwischen 2.5 und 3.5 Metern. Es ist sinnvoll, die Probenahme im Einatmungsbereich der betroffenen Bevölkerung durchzuführen. Unsere Messungen sind demnach – mit Ausnahme des Daches des CRP - Gabriel Lippmann - auf 80 cm festgelegt.

An den beschriebenen Standorten messen wir mit einem GRIMM 107 Spektrometer. Es wurde speziell zur kontinuierlichen Feinstaubmessung der Immissionswerte für PM_{10} , $PM_{2.5}$ und PM_1 entwickelt. Die Auflösung der

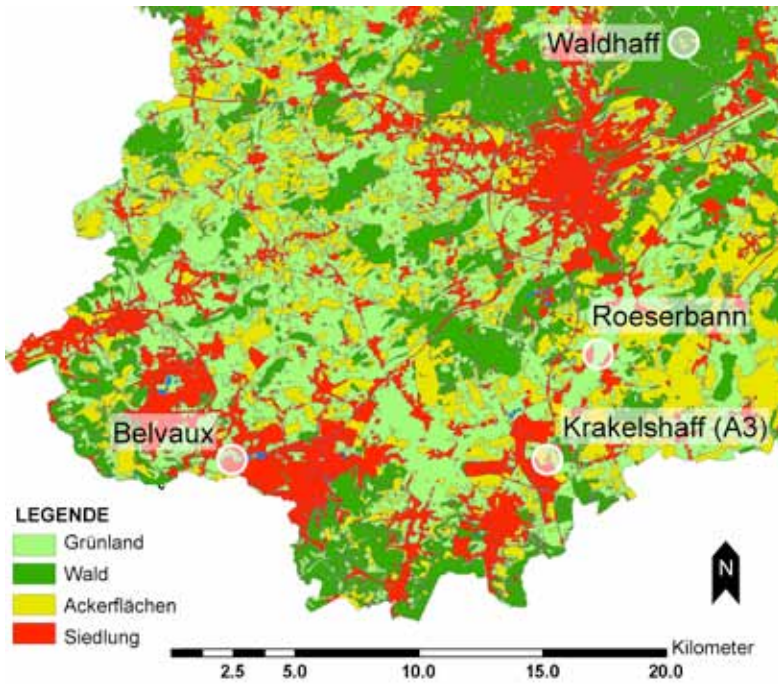


Abb. 1. Ausgewählte Feinstaubmesspunkte des CRP - Gabriel Lippmann.



Abb. 2. Messstation Krakelshaff an der A3 in Fahrtrichtung Luxemburg Stadt.

Masseberechnung beträgt $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, zeitlich haben wir in Intervallen von 6 Sekunden (Baustelle Roeserbann) bis zu 5 Minuten (Waldhaff) aufgezeichnet. Das Gerät entnimmt der Atmosphäre über eine volumenstromregulierte Sammelpumpe eine Luftprobe, die durch eine Lasermesskammer geführt wird. Enthaltene Partikel erzeugen ein Streulicht. Die Streulichtsignale werden in einem Winkel von 90° auf einer Photodiode aufgenommen und an einen Pulshöhenanalysator weitergeleitet. Die daraus resultierende Größenverteilung wird im Feinstaub-Messgerät in eine Masseverteilung umgewandelt und das Messergebnis gespeichert. Die gesamte Staubmenge wird auf einem Teflonfilter (Durchmesser 47 mm) für eine spätere gravimetrische, mikroskopische und chemische Analyse in unseren Laboreinrichtungen gesammelt.

Die Stäube auf den Filtern werden mit einem Sekundärionenmassenspektrometer des Département Science et Analyse de Matériaux des CRP – Gabriel Lippmann näher charakterisiert. Zum Einsatz kommt das NanoSIMS50, ein Spektrometer, mit welchem es möglich ist, Bilder der Element- und Isotopenzusammensetzungen auf der Oberfläche der Partikel mit einer räumlichen Auflösung kleiner als 100 Nanometer zu gewinnen. Bei der Sekundärionenmassenspektrometrie wird der Partikel mit einem Primärionenstrahl, z.B. mit Cäsium- oder Sauerstoffionen, beschossen. Die dabei erzeugten Sekundärionen werden massenspektrometrisch analysiert, wobei ein Bild der Element- und Isotopenzusammensetzungen einer Probe gewonnen wird. Für uns von Interesse sind dabei vor allem die Schwermetalle wie Kupfer, Blei oder Cadmium, aber auch Arsen.

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Verhalten der Feinstäube in einem natürlichen Waldgebiet – Station Waldhaff

Abbildung 3 verdeutlicht den Konzentrationsgang der drei Feinstaubfraktionen in der Woche von Sonntag, dem 9. Juli 2006 bis Samstag, dem 15. Juli. In dieser Woche war es trocken und heiß, was an den Tagesgängen der Lufttemperatur im Wald nachvollzogen werden kann. Die Staubkonzentrationen sind mit ca. $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ insgesamt gering, nehmen aber von Montag bis Freitagnachmittag zu, um Samstags wieder zu fallen. An diesem entlegenen Standort ist demnach der Einfluss menschlicher Aktivitäten trotz des geringen Niveaus der Stäube nachzuweisen. Diese werden überwiegend durch Ferntransport an die Messstelle transportiert. Auf dieser Transportstrecke werden die größeren Fraktionen zwischen $\text{PM}_{2,5}$ und PM_{10} weitgehend sedimentiert, was den größeren Anteil der Fraktion kleiner $1 \mu\text{m}$ erklärt.

Verhalten der Feinstäube in einer dicht besiedelten Umgebung – Station Belvaux

Bei niedrigen Lufttemperaturen ist der anthropogene Einfluss in Folge von gesteigerten Heizaktivitäten größer, somit sind die registrierten PM_{10} - Immissionskonzentrationen höher. Des Weiteren treten in den Wintermonaten vermehrt Inversionslagen auf.

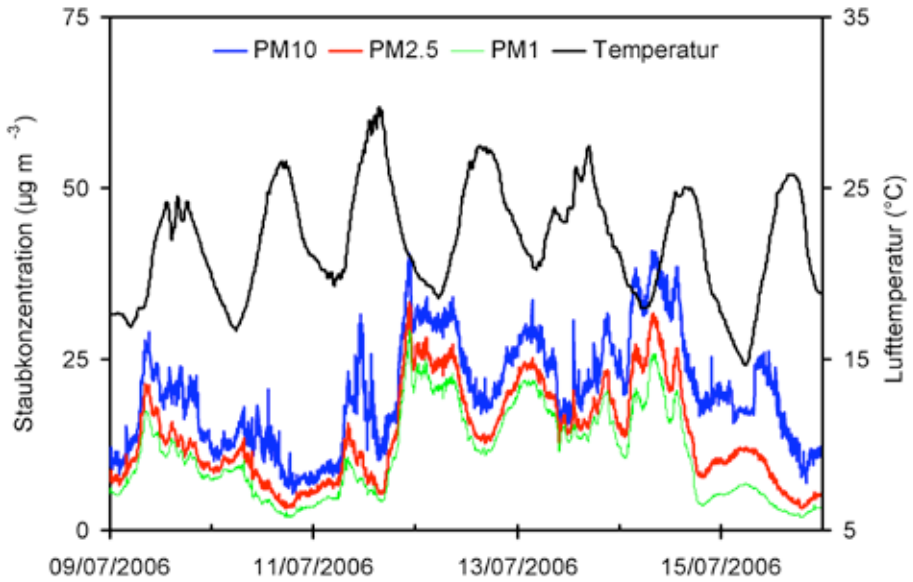


Abb. 3. Feinstaubmessungen an der Station Waldhaff im Juli 2006.

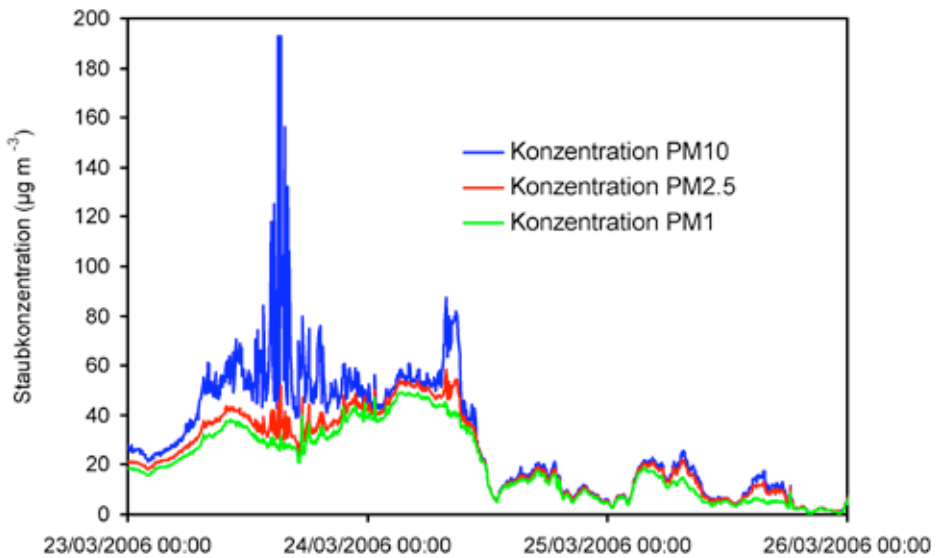


Abb. 4. Feinstaubmessungen an der Station in Belvaux im März 2006

Bei diesen Wetterlagen ist der Luftmassenaustausch eingeschränkt, und es kann zu hohen Feinstaubkonzentrationen kommen. Dieser Effekt wird für den März 2006 eindrucksvoll in Abbildung 4 für die Station in der Gemeinde Belvaux illustriert. Dargestellt sind 1.5 Tage mit Inversionswetterlage (Hochdruck, Bodeninversion, Nebel) mit darauf folgenden 1.5 Tagen mit ungehindertem Luftaustausch (leichter Regen). Während Inversionswetterlagen sammeln sich die Stäube in der bodennahen Atmosphäre und die Grenzwerte werden überschritten. Die höchsten Konzentrationen werden zu diesem Zeitpunkt durch die größeren Fraktionen zwischen $PM_{2,5}$ und PM_{10} aufgebaut. Es handelt sich um Stäube aus lokalen Quellen, wie Hausbrandanlagen, Verkehr oder der Stahlproduktion. Die Stäube werden nicht weit transportiert, was den größeren Anteil der größeren Fraktion erklärt. Nach einsetzenden Niederschlägen und dem Wechsel der Windrichtung von Ost nach Südwest gehen die Partikelkonzentrationen in der Atmosphäre zurück. Wie Abbildung 4 illustriert, besteht der Feinstaub jetzt überwiegend aus der feineren Fraktion kleiner $1 \mu m$, der weniger gut aus der Atmosphäre gewaschen wird.

Verhalten der Feinstäube an einer Autobahn – Station Krakelshaff A3

Abbildung 5 zeigt einen typischen Verlauf der Staubkonzentrationen an den viel befahrenen Strassen in Luxemburg. Der Grenzwert für das Tagesmittel von $50 \mu g/m^3$ Luft wird an diesem 26. Juli 2006 überschritten. Der Verlauf der Feinstaubimmissionskonzentrationen folgt dem Tagesgang der Verkehrsemissionen. Da unsere Messstation auf der Seite des in Richtung der Stadt Luxemburg laufenden Verkehrs steht gibt es eine gute Übereinstimmung mit den Verkehrszählungen in diese Fahrtrichtung. Insbesondere der vormittägliche Verkehrsanstieg wird nachgebildet. Die abendliche Rückreisewelle auf der benachbarten Bahn Richtung Frankreich spiegelt sich nur wenig in den Staubkonzentrationen wider. Vermutlich handelt es sich überwiegend um Material, das aufgewirbelt worden ist und wieder im direkten Umfeld der Fahrbahn sedimentiert. Genau wie in der Region Belvaux ist die Staubverteilung zu den größeren Fraktionen verschoben und der Ferntransport weniger entscheidend.

Um den Einfluss des Verkehrs näher zu identifizieren wurde für den Zeitraum vom 25. Juli bis zum 1. August 2006 eine Autokorrelation der Zeitreihen durchgeführt. Die Autokorrelation ist eine Korrelation zwischen aufeinander folgenden Werten innerhalb einer Serie von Messwerten. Sie tritt zum Beispiel auf, wenn die Messwerte zeitabhängig aufgenommen werden und die Werte nicht voneinander unabhängig sind. Die Autokorrelation wird auf dieselbe Weise wie die Korrelation zwischen zwei Variablen berechnet (nur dass dabei dieselbe Variable zweimal verwendet wird). Wenn wir Zeitsignale betrachten, können die Werte für die Autokorrelation durch Verschieben einer der zwei formalen Variablen um einen bestimmten Betrag (Lag Nummer) berechnet werden. Wenn wir die Ergebnisse dieser Berechnung gegen die Zeitverschiebung darstellen, erhalten wir eine Autokorrelationsfunktion oder ein Autokorrelogramm. Abbildung 6 zeigt dieses

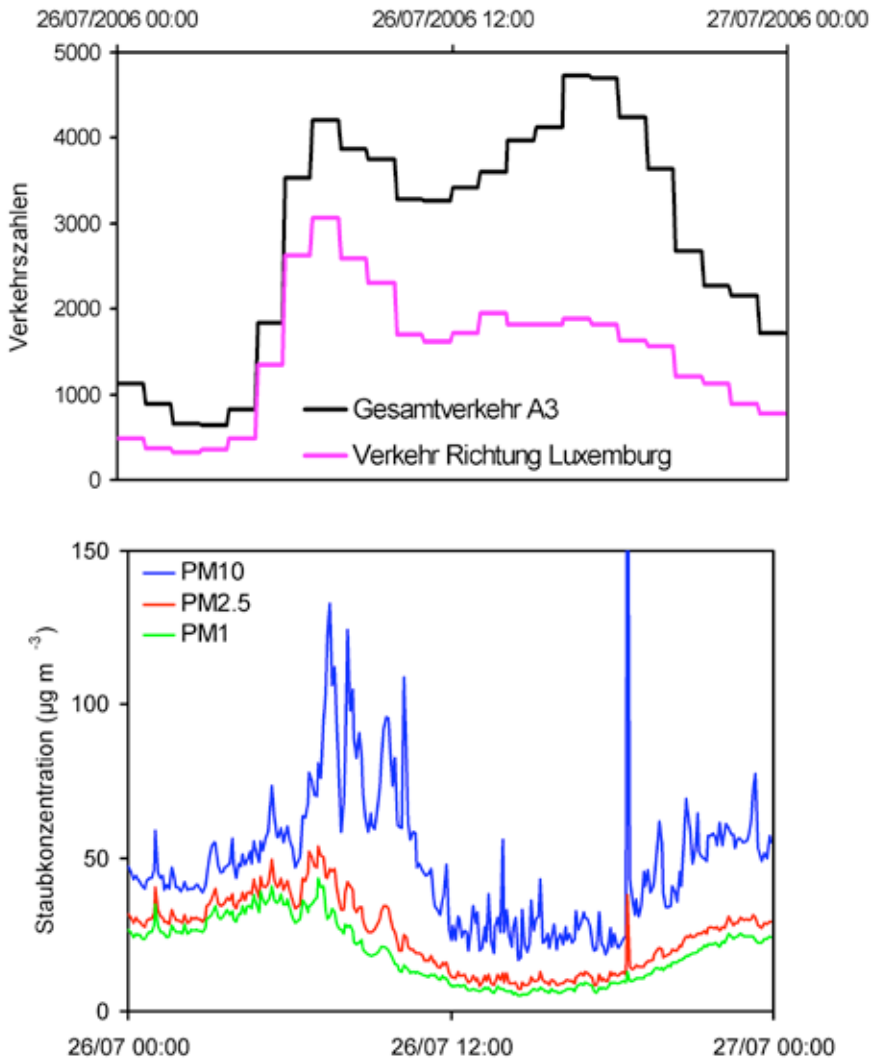


Abb. 5. Feinstaubmessungen und Verkehrszählungen an der Station Krakelshaff an einem ausgewählten Werktag im Juli 2006.

Autokorrelogramm für PM_{10} und $PM_{2,5}$ für die Station Krakelshaff in der Woche vom 9. bis 16. Juli 2006. Die Zeitreihen wurden 576 Positionen gegen sich selbst verschoben, was einer Verschiebung von genau zwei Tagen entspricht, da in Intervallen von 5 Minuten gemessen worden ist. PM_1 zeigt einen typischen Halbtagesgang mit Wendepunkten bei Lag 144, 288 und 432, was 12, 24 und 36 Stunden entspricht. Bei PM_{10} spielen Einzelquellen eine Rolle was das Autokorrelogramm nicht widerspiegelt. So ist der Peak am Nachmittag des 26. Juli beispielsweise auf einen vorbeifahrenden LKW mit staubiger Ladung zurückzuführen.

Verhalten der Feinstäube an Einzelquellen – Station Roeserbann Baustelle

Abbildung 7 illustriert die Staubkonzentrationen am Rand der Baustelle im Roeserbann. Zwei unterschiedliche Aktivitäten sind zu erkennen. Das Mischen von Zement bis ungefähr 10 Uhr führt zu besonders hohen Anteilen der sehr feinen Partikeln in der Umgebungsluft. Diese Ergebnisse sollten die Verantwortlichen darauf hinweisen, dass bei entsprechenden Arbeiten mit Trockenzement und Kalk geeignete Schutzmassnahmen für die Arbeiter zu treffen sind. Das gilt auch für eventuelle Freisetzen in die Umwelt. Der nicht näher zu charakterisierende Baustellenbetrieb nach 10 Uhr produziert eine insgesamt höhere Konzentration an Staubteilchen (bis $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$), wobei der Anteil der PM_1 Fraktion vergleichsweise klein ist.

Chemische Eigenschaften der ultrafeinen Partikel

Für die gesundheitlichen Auswirkungen der Partikel sind sowohl die Größe und die Form der Partikel als auch ihre chemischen Komponenten von Bedeutung, da ihre aerodynamischen Eigenschaften über die Deposition der Partikel und den Depositionsort im Atemtrakt entscheiden, während die chemisch-physikalischen und biologischen Eigenschaften der Partikel ihre Wechselwirkung mit den Zellen und Geweben determinieren. Wichtig ist dabei, dass ultrafeine Partikel zwar eine kleine Masse haben, dass sie aber bezogen auf ihre Massenkonzentration in der Luft durch eine große Anzahl und Oberfläche gekennzeichnet sind. Ultrafeine Partikel werden aufgrund der höheren Anzahlverteilung in der eingeatmeten Luft bei vergleichbaren Massenkonzentrationen gleichmäßiger auf dem Alveolarepithel deponiert als die größeren Partikel. Man muss davon ausgehen, dass sie zu einem erheblichen Teil von Gewebezellen aufgenommen werden. Aufgenommene Partikel können grundsätzlich im Gewebe verbleiben oder weiter in die Blutbahn transportiert werden. Effekte ultrafeiner Partikel sollten von der Anzahl und der Oberfläche der Partikel abhängen. Sie können als Träger für toxische Substanzen dienen und sind in der Lage, das Lungengewebe zu erreichen und auch nach einiger Zeit systemisch zu wirken (HEINRICH *et al.* 2002). Die NanoSIMS50 Aufnahme in Abbildung 8 bringt nähere Informationen. Wir erkennen einen etwa 10 mm langen und 4 mm breiten Partikel, der überwiegend aus Kohlenstoff aufgebaut ist. Die Oberfläche dieses Partikel enthält darüber hinaus Kupfer. Dieses ist nicht

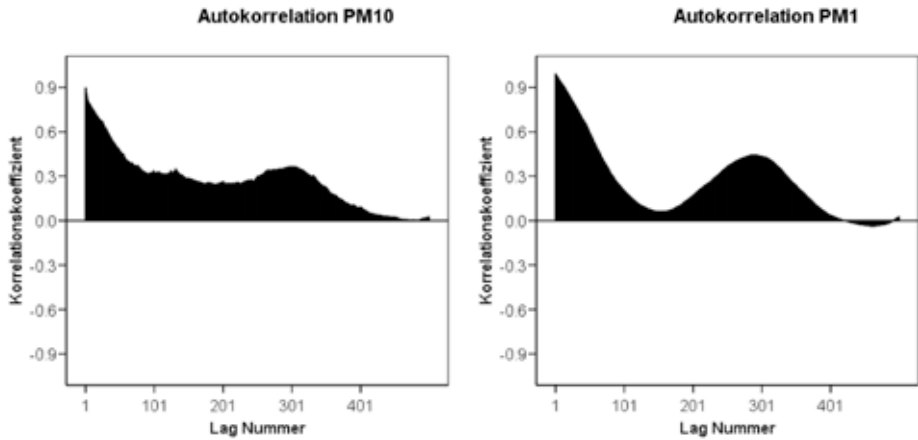


Abb. 6. Autokorrelogramm für PM_{10} und $PM_{2,5}$ für die Station Krakelshaff (A3) in der Woche vom 9. bis 16 Juli 2006.

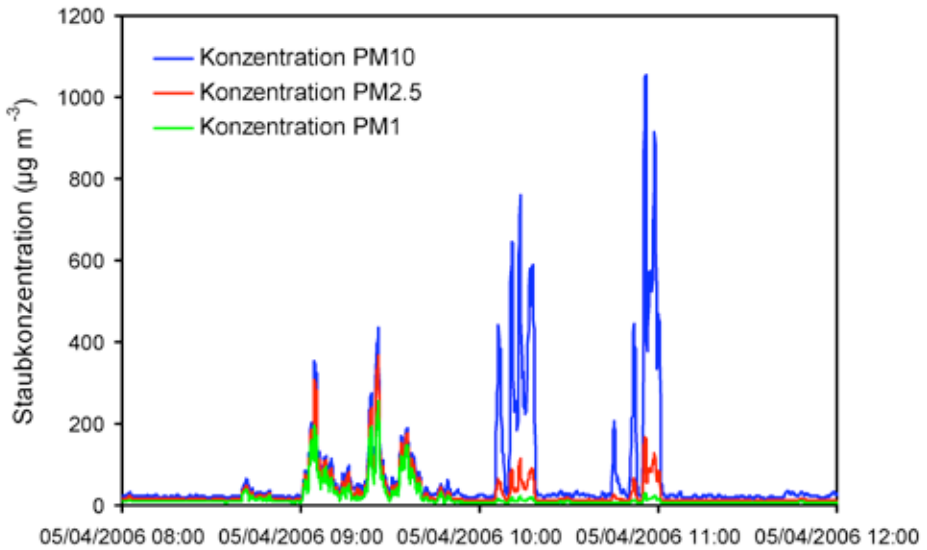


Abb. 7. Feinstaubmessungen an der Station im Roeserbann benachbart einer Gebäudebaustelle.

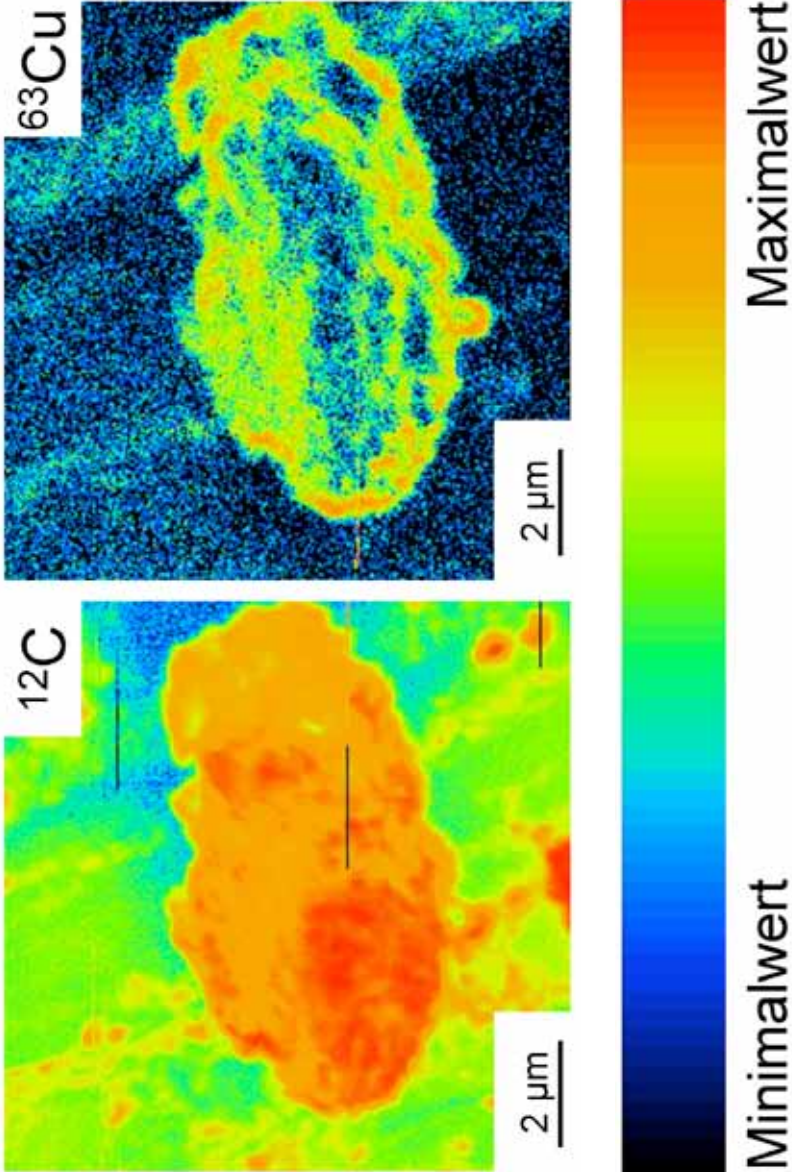


Abb. 8. NanoSIMS50 Aufnahme des Kohlenstoffgehaltes und Kupfergehaltes an der Oberfläche eines Luftstaubpartikels aus der Region Belvaux gesammelt im Frühjahr 2006.

gleichmäßig auf der Oberfläche verteilt, sondern konzentriert sich an manchen Orten im Submikrometerbereich. Diese Konzentrationsschwerpunkte gibt es auch bei einigen anderen Schwermetallen. Sie stellen eine Bedrohung für den menschlichen Organismus dar, wenn die Feinpartikel mit den toxischen Elementen direkt mit dem Lungengewebe in Kontakt treten. Gerade die $PM_{2,5}$ Fraktion hat einen weitaus stärkeren negativen Einfluss auf die menschliche Gesundheit. Aus dieser Sichtweise war es angebracht, die Grenzwerte um einen $PM_{2,5}$ Grenzwert zu erweitern. Darüber hinaus findet derzeit nur hinsichtlich der Quantität eine Bewertung der Partikel statt. Es ist jedoch ersichtlich, dass Partikel unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung gesundheitlich verschieden wirksam sind, beispielsweise weisen Orte mit hohen Salz-Immissionskonzentrationen, die direkt an der See gelegen sind ein sehr gesundes Reizklima auf. Im Gegensatz dazu kann es durch hohe Partikelimmissionskonzentrationen in Verbindung mit Schwermetallen in Großstädten zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen kommen. Hier besteht ebenfalls die Notwendigkeit, die gesetzliche Regelung anzupassen.

SCHLUSSFOLGERUNG

Maßnahmen, wie beispielsweise Straßensperrung, Verbesserung des Straßenzustandes, City-Logistik, Einführung von Tempolimits, Ausbau von Ring-, Ausfall- und Umgehungsstraßen bei Rückbau von Stadtachsen, Ausbau des Öffentlichen Personennahverkehrs und die Umrüstung von Bussen auf schadstoffarme Motorenkonzepte werden in zahlreichen Luftreinhalteplänen genannt. Die Reduktionen von PM_{10} -Immissionen reichen dabei von 3.5% – 30% (NAGEL *et al.* 2004). Die Maßnahmen mit Angaben der Verringerungen der Immissionen sind an die lokalen Verhältnisse angepasst und damit sehr speziell. Sie lassen keine Ableitungen einer Rangliste effektiver Maßnahmen zu, die auf andere Regionen übertragbar wären. Hier besteht Handlungsbedarf, um die einzelnen Prozesse besser verstehen, sie zu verallgemeinern und Weisungen zur Reduktion von Partikeln geben zu können.

DANKSAGUNG

Die Autoren bedanken sich beim Luxemburger Fonds National de la Recherche für die finanzielle Unterstützung. Die Ergebnisse wurden im Rahmen des Projektes „Analyse d'échantillons environnementaux à l'échelle du nanomètre“ gewonnen.

LITERATURVERZEICHNIS

BUWAL - Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (ed 2001). Luft – Maßnahmen zur Reduktion der PM_{10} - Emissionen. Umwelt-Materialien Nr. 136, Eigenverlag, Bern.

HEINRICH U. (2000): Mögliche Wirkungsmechanismen von Dieselruß und anderen Partikeln. - In: Feinstaub - Die Situation in Deutschland nach der EU-Tochter-Richtlinie. WaBoLu Heft 2/00, Umweltbundesamt Eigenverlag, Berlin.

HELBIG A. & JUNK J. (2006). How meteorological parameters and air pollution, especially PM₁₀ concentrations, influence the daily mortality rates between 2000 and 2005 - an example from Western Europe. Proceedings of the 6th International Conference on Urban Climate (ICUC 6), Göteborg, Schweden.

HOEK G., BRUNEKREEF B. & VERHOEFF A. (2000). Daily mortality and air pollution in the Netherlands. *J. Air Waste Manag. Assoc.* **50**: 1380-1389.

JUNK J., HELBIG A. & LÜERS J. (2003). Urban climate and air quality at Trier, Germany. *Int. J. Biometeor.* **47**: 230-238.

KLEMM R.J., MASON R.M. & HEILIG C.M. (2000). Is daily mortality associated specifically with fine particles? Data reconstruction and replication of analyses. *J. Air Waste Manag. Assoc.* **50**: 1215-1222.

KREYLING W.G., TUCH T., PETERS A., PITZ M., HEINRICH J., STÖLZEL M., CYRYS J., HEYDER J. & WICHMANN H.E. (2003). Diverging long-term trends in ambient urban particle mass and number concentrations associated with emission changes by the German unification. *Atmosph. Environ.* **37**: 3841-3848.

NAGEL T., HAUPT S. & VON WEES T. (2004). Maßnahmenbetrachtungen zu PM₁₀ im Zusammenhang mit Luftreinhalteplänen. Ingenieurbüro Lohmeyer, Karlsruhe im Auftrag des Regierungspräsidiums Stuttgart, 69 p.

SAMET J.M., DOMINICI F. & CURRIERO F.C. (2000). Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S. cities, 1987-1994. *New Engl. J. Med.* **343**: 1742-1749.

WICHMANN H.E. (2000). Neue Erkenntnisse der Epidemiologie, Bedeutung von Nanopartikeln. Feinstaub, die Situation in Deutschland nach der EU-Tochter-Richtlinie. WaBoLu Heft 2/00, Umweltbundesamt Eigenverlag, Berlin.

WORDLEY J., WALTERS S. & AYRES J.G. (1997). Short term variations in hospital admissions and mortality and particulate air pollution. *Occupat. Environ. Med.* **54**: 108-116.