

Darmstadt, 10.01.2007

Feinstaubmessung in Darmstadt



Von Thorsten Sender und Patrick Zobel

Weird Science Club
Darmstadt

An der Lichtenbergschule

Inhalt

	Seite
Inhaltsangabe	2
Der Weg zum Projekt	3
Einführung in die Feinstaubdiskussion	4-6
Was ist Feinstaub?	4
Messmethoden	5
Regionaler Bezug	6
Durchführung	6-8
Idee	6
Konzept	6
Beispiel Ablauf einer Messung	8
Interpretation der Messdaten	9-10
Quellen	10
Danksagung	11

Der Weg zum Projekt:

Mit dem Jahr 2005 häuften sich die Meldungen über erhöhte Feinstaubbelastungen. Im Darmstädter Echo wurde dieses Thema angesprochen und weckte unser Interesse. In Darmstadt überschritten die Feinstaubwerte nämlich häufig die von der Europäischen Union festgelegten Grenzwerte.

Nach der EU-Richtlinie dürfen im Tagesdurchschnitt höchstens 50 Mikrogramm Feinstaubpartikel pro Kubikmeter Luft gemessen werden. Überschreitungen sind lediglich an 35 Tagen pro Jahr erlaubt.

Darmstadt erreichte diese Grenze im Jahr 2005 schon am 9. Oktober. Am Ende des Jahres waren es insgesamt schon 42 Überschreitungen. Die Reaktion der Stadt war unter anderem ein Fahrverbot für den Lkw-Fernverkehr in der Innenstadt.

Parallel zur Aufmerksamkeit, die dieses Thema in den Medien erhielt stieg auch unser Interesse für diesen Sachverhalt. So informierten wir uns genauer darüber und erfuhren, dass es in Darmstadt zwei Feinstaubmessstationen gibt. Diese stationären Messpunkte befinden sich in der Hängelstraße und am Woog. Alle 30 Minuten wird dort die Feinstaubbelastung in vier Meter Höhe gemessen. Diese Messung ist dann ausschlaggebend für die offizielle Statistik.

Inwieweit sich anhand dieser Statistik aussagekräftige Beobachtungen über die gesundheitliche Belastung eines Bürgers in Darmstadt machen lassen, erscheint fragwürdig. Unserer Meinung nach können halbstündige Werte an stationären Messpunkten - noch dazu in vier Metern Höhe - keine ausreichende Aussage darüber zulassen, wie viel Feinstaub der Mensch schließlich einatmet. Wir wollten es genauer wissen und entschieden uns für die Teilnahme an diesem Jugend Forscht Projekt.

Einführung in die Feinstaubdiskussion

Was ist Feinstaub?

Die Luft ist ein Aerosol, das heißt sie ist eine Suspension von festen und flüssigen Partikeln in Gas. Diese Partikel variieren in ihrer Größe; ihre Durchmesser schwanken von wenigen Nanometern ($1 \cdot 10^{-9}$) bis zu etwa 100 Mikrometern ($1 \cdot 10^{-5}$).

Man klassifiziert die Partikel meistens nach zwei Kriterien: ihrem Ursprung und ihrer Größe.

Neben den aus medizinischer Sicht risikoarmen geogenen (vom Erdboden aufgewirbelten) und marinen (aus dem Meer stammenden) Aerosolpartikeln gibt es noch Partikel natürlichen Ursprungs (Bioaerosolpartikel; z.B. Pollen, Pilzsporen, Bakterien, mikroskopische Pflanzenreste, abgefallene Schuppen von Insekten) mit Wirkung auf allergisch sensible Menschen. Eine andere große Gruppe ist die der anthropogenen Partikel.

Chemisch betrachtet finden sich hier Silikate, Carbonate, Calciumsulfate, Ammoniumsulfate, Nitrat-/ Carbonatmischungen, Übergangsmetalloxide / -hydroxide, Ruß (kohlenstoffhaltige Partikel), andere organische Partikel und komplexe sekundäre Aerosolpartikel¹ (hauptsächlich Ammoniumsulfate, Natriumsulfat, Natriumnitrat und Ammoniumnitrat).

Um ihre Wirkung abzuwägen unterteilt man die Partikel auch nach ihren physikalischen Merkmalen, wie z.B. ihrer Masse oder ihrer Oberfläche. Besonders wichtig ist jedoch die Einteilung nach ihrer Größe, da Aerosolpartikel abhängig von ihrer Größe in ihrer Wirkung variieren. Man unterscheidet:

Durchmesser	Bezeichnung	
< 0,1 µm	ultrafein	
0,1 – 1,0 µm	fein	PM ₁
1,0 – 2,5 µm	fein	PM _{2,5}
2,5 – 10 µm	grob	PM ₁₀

PM₁₀-Partikel (PM: Particulate Matter) werden in Deutschland auch als Feinstaub bezeichnet. Sie sind es auch, deren Grenzwert im Zuge der in den letzten Jahren aufgekommenen Feinstaubdiskussion verschärft wurde. So darf der Tagesmittelwert der gemessenen PM₁₀ von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ maximal 35 mal im Jahr überschritten werden.

Dass Partikel anthropogenen Ursprungs ein gesundheitliches Risiko bergen, gilt als sicher, die genauen Quellbeiträge müssen jedoch erst noch ermittelt werden, um gezielt dagegen zu arbeiten. So lassen sich die bisherigen Maßnahmen zur Minderung der Feinstaubbelastung doch als fragwürdig einstufen.

In Darmstadt wurde mit dem LKW-Fahrverbot eine Quelle scheinbar ausgeschaltet, es verbleiben jedoch zahlreiche weitere Quellen: Diesel-PKW's emittieren Aerosolpartikel in Form von Ruß in die Luft, beim Abrieb von Bremsen, Autoreifen und Straßenbelag gelangen weitere in die Luft. Zwei weitere bedeutende Quellen bilden Industrieanlagen und Wohnungen, besonders im Winter, wenn dort viel geheizt wird.

Auch ist die Belastung durch LKWs nur verlagert, so kann der Wind besonders kleinen Partikel über weite Strecken tragen. Gelegentlich zeigen sich auch Beispiele, die denen Luftströmungen Partikel über Landesgrenzen und Kontinente tragen (so geschehen mit Sand aus der Sahara oder Staub von Vulkanausbrüchen).

¹ unter sekundären Aerosolpartikeln versteht man Partikel, die aus der Gasphase entstehen

Eine Rechtfertigung für die Sperrung der Innenstadt für den Fernverkehr bietet sich jedoch, betrachtet man die Tatsache, dass die Belastung der städtischen Bevölkerung etwa dreimal höher ist als für in Vororten lebende Personen und sogar 18 mal höher als für die Landbevölkerung.

Die höchste Belastung in den Ballungsräumen lässt sich an verkehrsnahen und industriellen Standorten (Hot-Spots) finden.

Die Notwendigkeit dazu zeigt sich auf, betrachtet man die gesundheitliche Wirkung von Aerosolpartikeln.

Einmal eingeatmet können sich bestimmte Teile der Partikel in den Atemwegen anlagern, in das Lungengewebe oder die Blutbahn gelangen; diese können nur zum Teil wieder ausgeatmet werden.

Für Deutschland ergibt sich so durch Aerosolbelastung eine durchschnittliche Verkürzung der Lebenserwartung um zehn Monate.

Messmethoden

Zur Messung von Partikelkonzentrationen wurde ein optischer Partikelzähler (OPC) verwendet. Das portable Gerät (Maße 8cm X 30cm X 20cm) verfügt über einen Saugstutzen (5cm lang), der die umgebende Luft aus allen Richtungen einsaugt. Durch ein optisches Messverfahren wird die Größe der Partikel ermittelt, die der OPC sogleich auf die Masse umrechnet. Hieraus lässt sich die Massekonzentration der verschiedenen Partikel (PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀) ermitteln. Der OPC kann – im kleinsten Zeitintervall – alle sechs Sekunden Messdaten liefern

Ein Filter fängt die gemessenen Partikel auf, sodass sie später im Elektronenmikroskop auf ihre Eigenschaften untersucht werden können. Hier lassen sich dann Aussagen über ihre Oberflächenmorphologie, chemische und mineralogische Zusammensetzung, Mischungszustand und Realbau der Aerosolpartikel treffen.



Bild 1: Grimm OPC



Bild 2: Seitenansicht

Regionaler Bezug

In Darmstadt gibt es zwei Messstationen (Messstation „Darmstadt“ am Woog und Messstation „Darmstadt-Hügelstraße“), die halbstündig PM₁₀-Werte ermitteln.

Wie konkret diese Werte etwas über das gesundheitliche Risiko aussagen können, lässt sich nicht einfach festmachen, da diese Messstationen ihre Saugstutzen in etwa vier Metern Höhe besitzen und diese untersuchte Luft nicht allzu typisch für die Menschen eingeatmete Luft ist.

Es stellt sich nun die Frage, wie dies angesichts der Wichtigkeit der Messung der Feinstaubbelastung für die Bevölkerung sein kann, denn erwiesenermaßen hat der Feinstaub große Auswirkungen auf unsere Gesundheit und speziell auf das Lungenkrebsrisiko. Da sich Darmstadts Bevölkerung nicht alle 30 Minuten an den beiden Messstationen in vier Meter Höhe aufhält, sind die bestehenden Messdaten unzureichend.

Mit dem OPC hingegen lässt sich Luft aus Kopfhöhe sammeln und so kann vielleicht eine realistischere Aussage zur Aerosolbelastung für Menschen getroffen werden.

Durchführung

Idee

Die Idee unseres Projektes war es nun, die Lücken zu füllen – die durch die in unseren Augen - unzureichenden Messungen entstanden sind und Licht ins Dunkel zu bringen. Mit Hilfe der Fakultät für angewandte Geowissenschaften der Technischen Universität Darmstadt entwickelten wir ein Konzept, das wir dank der Bereitstellung des optischen Partikelzählers der TU Darmstadt durchführen und so der Belastung selbst auf die Spur gehen konnten.

Auf einer festgelegten Strecke vom Darmstädter Hauptbahnhof, über den Luisenplatz bis zur TU Lichtwiese maßen wir die Feinstaubbelastung im Auto, in öffentlichen Linienbussen sowie per Fahrrad. Diese Strecke ist zur Messzeit besonders stark frequentiert. Messdaten lieferte das Gerät alle 6 Sekunden. Die Messungen fanden alle morgens zur gleichen Zeit und zu gleichen Wetterbedingungen während der Rushhour statt. Das Messgerät wurde auf Nasenhöhe transportiert und wir protokollierten unsere Messdaten genau im Bezug auf Zeit und Standort.

Diese Messmethode ermöglichte es uns eine Aussage über eine Durchschnittsbelastung eines Bürgers beispielsweise auf dem Weg zur Arbeit zu treffen.

Konzept

Für uns war es wichtig herauszufinden welchen Feinstaubkonzentrationen ein Bürger in Darmstadt durchschnittlich ausgesetzt ist. Mit dieser Vorgabe erstellten wir ein Konzept für den Messvorgang.

Wir begannen damit eine für den in Darmstadt verlaufenden Gesamtverkehr repräsentative Strecke auszusuchen. Die Feinstaubbelastung auf diesem Wegabschnitt sollte in Abhängigkeit mit dem verwendeten Verkehrsmittel gestellt werden.

Als Strecke wählten wir folgende:

Start der Messroute ist der Darmstädter Hauptbahnhof. Über den Platz der Deutschen Einheit geht es dann auf die Rheinstraße in Richtung Innenstadt. Weiter geht es über den Luisenplatz und am Schloss und Marktplatz vorbei. Die Route folgt nun in südlicher Richtung der Holzstraße und Kirchstraße entlang bis zur Kreuzung Nieder-Ramstädter Straße. An der Kreuzung Teichhäuser Straße folgen wir dann der Rossdörfer Straße bis zur Kreuzung Heinrichstraße. Entlang der Petersenstraße endete die Route dann an der Lichtwiese.

Dieser Streckenverlauf entspricht den Buslinien H und K.

Da Teilstücke dieser Strecke für PKW gesperrt sind, änderten wir die Route mit dem Auto geringfügig.

Der gesamte Streckenverlauf ist auch auf dem Stadtplan nachzuvollziehen. Die Länge der Messstrecke ist etwa 4,9 Kilometer.

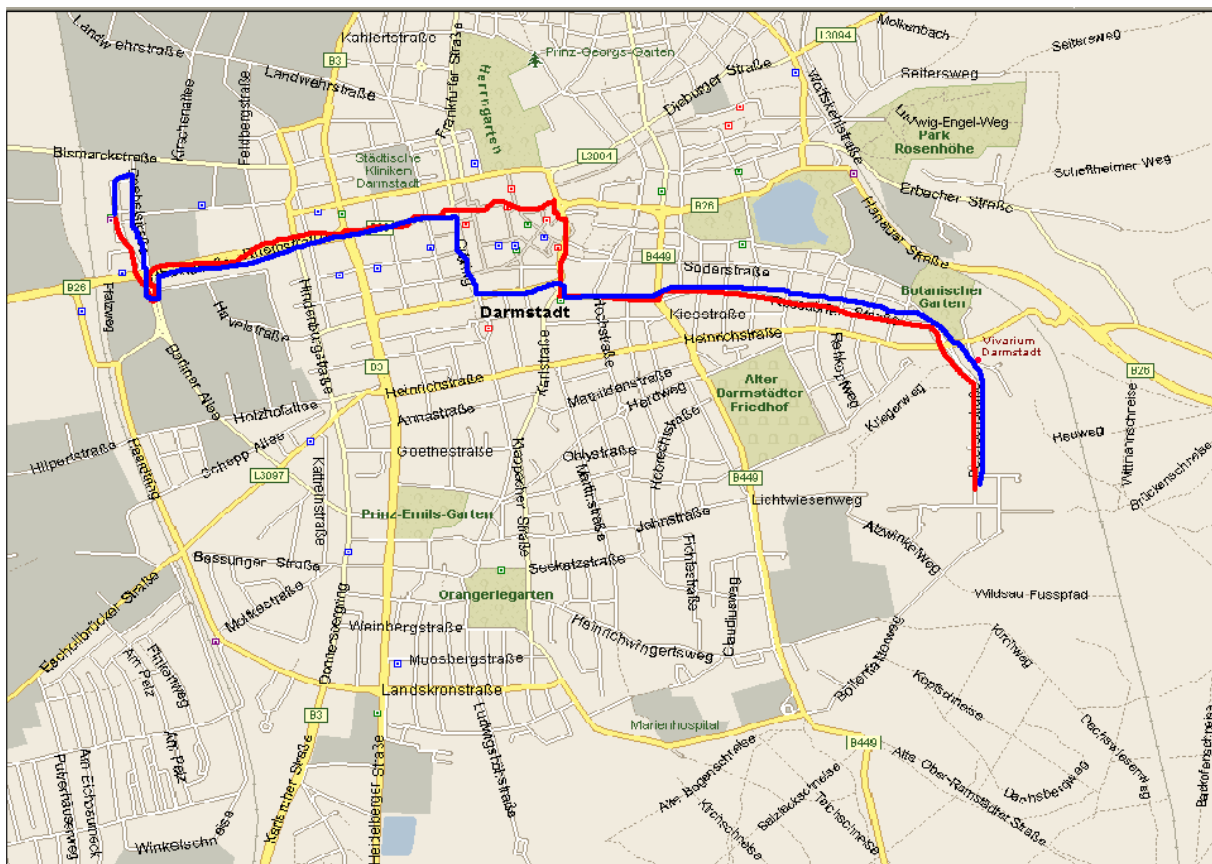


Bild 3: Straßenkarte von Darmstadt

Als Verkehrsmittel wählten wir die öffentlichen Linienbusse sowie das Auto und das Fahrrad. Im Vorfeld der Messungen hatten wir keine Vorstellung welche Ergebnisse uns erwarteten. Deshalb behielten wir uns Variationen der Messmethodik, wie zum Beispiel ein geöffnetes Autofenster.

Die Messergebnisse sollten uns dann die Festlegung auf einen Schwerpunkt der Untersuchungen ermöglichen.

Bei den verschiedenen Messungen haben wir besonderen Wert auf repräsentative und vergleichbare Messdaten gelegt.

Unsere Messstrecke ist von dem allgemeinen Verkehr hoch frequentiert. Das heißt, dass sich viele Bürger täglich zumindest auf einem Teilstück dieser Strecke kurzzeitig aufhalten. Die Messung mit dem PKW verläuft auch direkt an der offiziellen, stationären Messstation

Darmstadt Hugelstrae entlang und erlaubt so – zumindest ansatzweise - einen Datenvergleich.

Alle Messungen fanden innerhalb eines immer gleichen Zeitfensters statt. Wir wählten die Zeit der morgendlichen Rushhour zwischen 7.30 Uhr und 9.30 Uhr.

Außerdem achteten wir bei den Messungen auf ähnliche Wetterbedingungen da die Feinstaubkonzentration auch wesentlich von den atmosphärischen Bedingungen abhängt. Dies ist besonders bei starkem Wind, Regen und Nebel der Fall. Bei diesen Wetterlagen verzichteten wir auf Messungen, da zum Beispiel nach Regen die Luft „reingewaschen“ ist und so typische Messungen für uns nicht möglich waren.

Es wurden pro motorisiertem Verkehrsmittel etwa zehn Messungen durchgeführt, die Messung mit dem Fahrrad haben sich auf eine beschränkt.

Beispiel Ablauf einer Messung:

Um 8 Uhr morgens starteten wir das Messgerät am Darmstädter Hauptbahnhof. Dann stiegen wir in den H Bus in Richtung Luisenplatz ein. Dieser war fast immer voll besetzt (etwa 100 – 130 Fahrgäste). Während der Fahrt hielten wir den Lufteinlass des Feinstaubmessgerates stets auf Nasenhohe.

Das Feinstaubmessgerat lieferte alle 6 Sekunden neue Daten und speicherte diese automatisch. Zusätzlich protokollierten wir fortlaufend unseren Standort im Bezug auf die Zeit. Dies ermöglichte es uns im Nachhinein, bei der Auswertung der Messdaten, die Werte im Bezug auf Zeit und Ort zu stellen.

Außerdem protokollierten wir sonstige besondere Vorkommnisse wie lange Standzeiten an Haltestellen, geschätzte Fahrgastzahl, geöffnete Fenster oder eine veränderte Wetterlage.

Zusammen mit diesen Zusatzinformationen ließen sich die Messergebnisse besser interpretieren und vergleichen.

Am Luisenplatz verließen wir den H Bus und warteten etwa 4 Minuten auf den K Bus in Richtung Lichtwiese. Das Messgerät lief während dieser Wartezeit weiter.

Anschließend stiegen wir wieder in den meist voll besetzten K Bus ein und fuhren die genannte Strecke bis zur Endstation TU-Lichtwiese. Dort stiegen wir aus, ließen das Messgerät noch circa ein bis zwei Minuten laufen und beendeten dann die Messung. Das Messgerät war dann etwa 25 Minuten in Betrieb.

Die Messung mit dem Auto verlief ähnlich. Hier haben wir Messungen mit offenem und geschlossenem Autofenster durchgeführt. Auch hier protokollierten wir Zeit und Ort sowie besondere Vorkommnisse. Messungen im Auto dauerten je nach Verkehrslage etwa 5 Minuten weniger als die in öffentlichen Linienbussen.

Interpretation der Messdaten

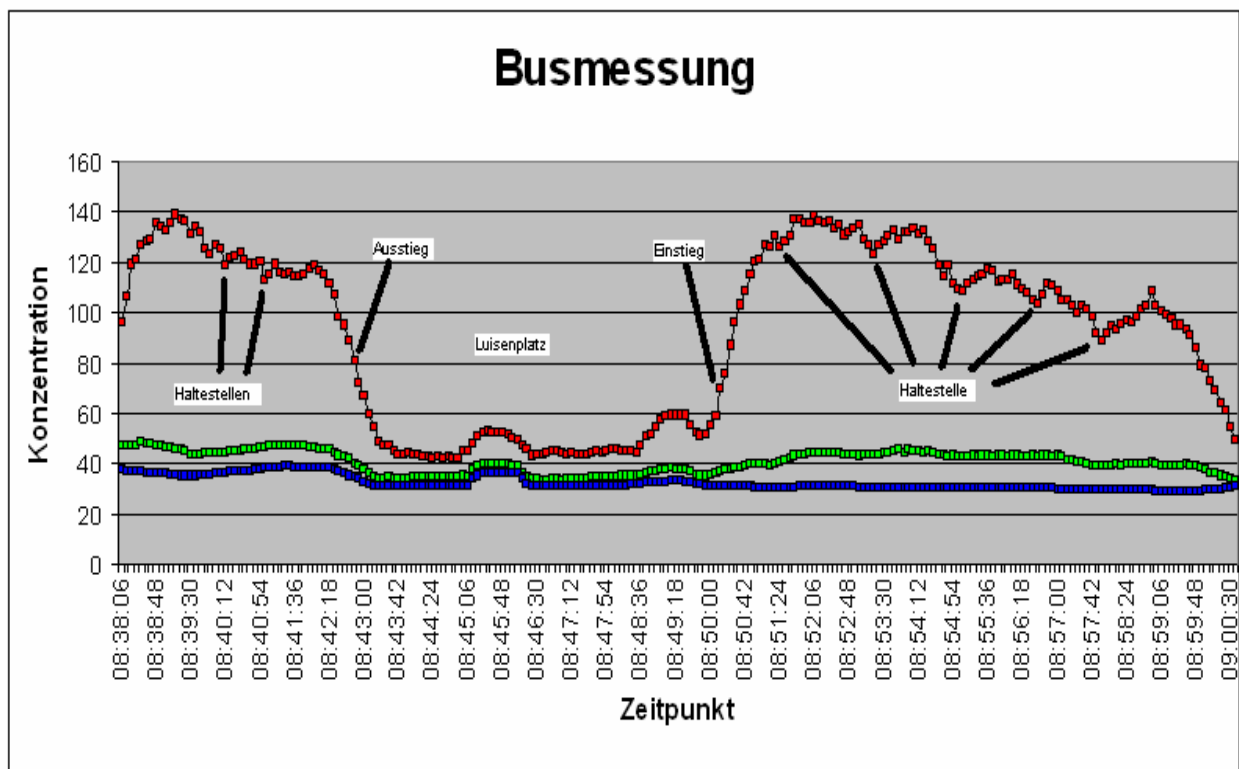
Die im Messgerät gespeicherten Daten wurden auf einen Computer überspielt und graphisch veranschaulicht. Kurvenverlauf und Schwankungen wurden dann der Zeit, dem Ort und Besonderheiten zugeordnet. Anschließend wurden die Daten mit den anderen Messungen verglichen. Anhand dieser Methodik konnten wir dann die Daten interpretieren und Aussagen über Belastungsschwerpunkte treffen.

Unsere Messungen ergaben folgendes Ergebnis:

1. Die Feinstaubbelastung für die Insassen eines Autos während der Rushhour ist konstant und gering. Es wurden keine Überschreitungen des gesetzlichen Grenzwertes gemessen.
2. Die Feinstaubbelastung für Fahrgäste in öffentlichen Linienbussen auf der gleichen Strecke zur gleichen Zeit überschreitet den gesetzlichen Grenzwert während der gesamten Fahrtdauer. Auffällig ist, dass nicht nur die gesetzrelevanten PM₁₀ Konzentration zu hoch ist, sondern auch viele kleinere Partikel, wie Ruß, gemessen werden. Die Belastung ist abschnittsweise und abhängig von der Fahrgastanzahl zehn Mal höher als der Grenzwert. Keine einzige Messung zeigte ein davon abweichendes Ergebnis. Hier beeinflussen viele Faktoren, die nicht alle eindeutig zu bestimmen sind, die Feinstaubkonzentration (z.B. vorbeifahrende Autos, offene Türen).
3. Die Messungen per Fahrrad lieferten nur eingeschränkt Ergebnisse, da der optische Partikelzähler nur bis zu einer maximalen Windgeschwindigkeit von 2 m/s korrekte Daten liefern kann.

Jedoch hat sich gezeigt, dass an der „frischen“ Luft die Feinstaubbelastung gering ist.

Erwähnenswert ist eine hohe Feinstaubkonzentration während Standzeiten wie zum Beispiel an Ampeln. Bei der gesundheitlichen Belastung eines Radfahrers ist in jedem Fall auch die veränderte Atmung (bei sportlicher Aktivität) zu beachten.



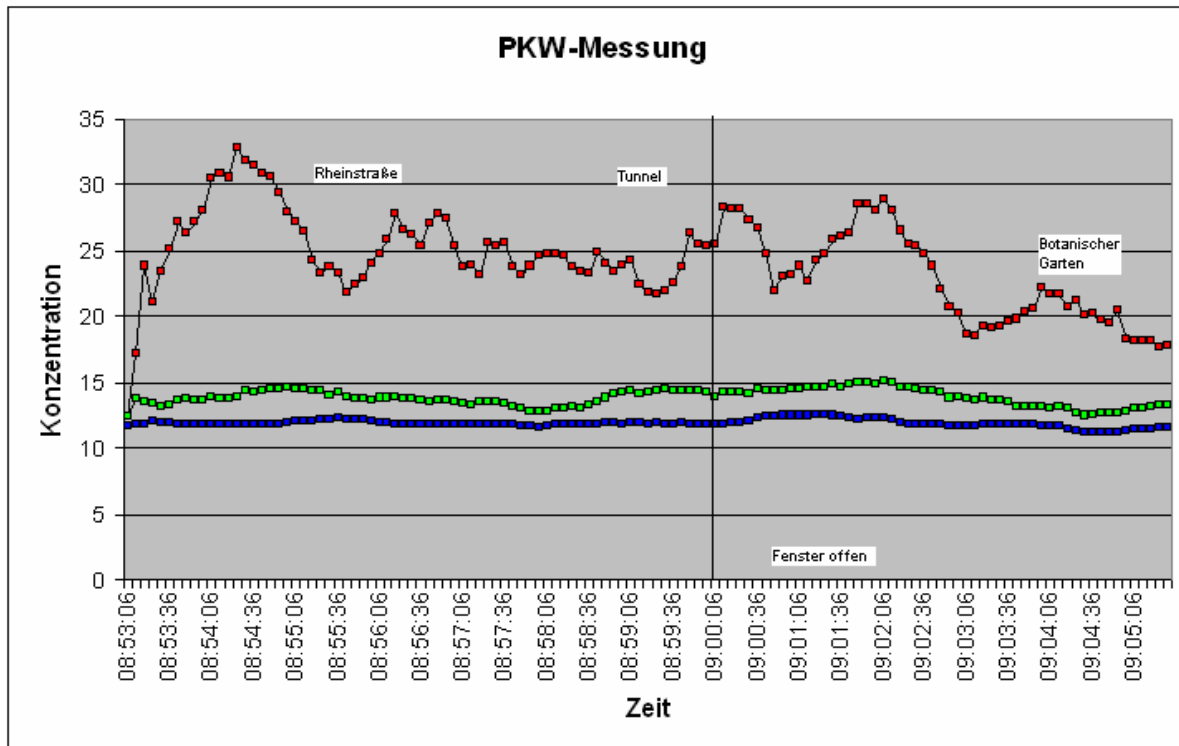


Bild 4 und 5: Rote Messpunkte – PM10; Grüne Messpunkte – PM2,5; Blaue Messpunkte – PM1

Quellen

- 1.) Stephan Weinbruch, Martin Ebert, Barbara Vester: „Feinstaubdiskussion in urbanen Ballungsräumen: Ergebnisse der Elektronenmikroskopie“; veröffentlicht in GMT Nr. 24, Juni 2006, S. 8f, 12
- 2.) GSF: „Großes Netzwerk für kleine Teilchen: Aerosolforschung in der GSF“; wahrscheinlich veröffentlicht am 06.10.2005, S.3f, 9-13

Bilderverzeichnis

- 1.) Bild „Feinstaub – Innenstadt-Sperrung“ (S. 1) von Thomas Dirsch
- 2.) Bilder „OPC“ (S. 5) von Fa. Grimm; veröffentlicht als Tutorialfotographien auf der Software zu „Grimm: Dust Monitor“ als „Tutorial-04“ und „Tutorial-05“
- 3.) Stadtkarte Darmstadt (S. 8) Microsoft Auto Router
- 4.) Diagramme der PM-Konzentrationen (S. 10) von Thorsten Sender und Jan Patrick Zobel

Danksagung

Wir möchten uns an dieser Stelle bei allen bedanken, die uns bei unserer Arbeit geholfen haben.

Unser Dank geht im Besonderen an:

Prof. Dr. Stephan Weinbruch und ***Dr. Martin Ebert*** von der Fakultät für angewandte Geowissenschaften der Technischen Universität Darmstadt für fachliche Beratung.

Thomas Dirsch von der Fakultät für angewandte Geowissenschaften der Technischen Universität Darmstadt für die Hilfe bei der Durchführung der Messungen.

Die ***Technische Universität Darmstadt*** für die Bereitstellung eines OPC Messgerätes.

Dr. Dlabal für die Betreuung unseres Projektes.