2. Hauptbeiträge

Feinstaubemissionen - eine Herausforderung für die Luftreinhaltung

Prof. Dr. Günter Bröker, Dr. Peter Bruckmann, Dr. Karl-Josef Geueke, Volker Hoffmann, Dr. Hans-Ulrich Pfeffer, Werner Schmidt, Dr. Sylke Termath

Feinstaub, das sind Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser ≤ 10 µm (PM10), kann beim Menschen Erkrankungen der Atemwege und des Herz-Kreislaufsystems verursachen. Deshalb wurden in der EU-Richtlinie 1999/30/EG erstmals Immissionsgrenzwerte für PM10 festgelegt. In hochindustrialisierten Regionen, wie den Zentren an Rhein und Ruhr, ist mit Überschreitungen zu rechnen. Als Ursache dafür werden die Emissionen aus Industrie, Kleinfeuerungsanlagen und Verkehr angesehen. Bereits jetzt zeichnet sich Handlungsbedarf bei den Verantwortlichen im administrativen Bereich, in der Industrie und im Gewerbe ab. Um die Betroffenen möglichst frühzeitig in die Erarbeitung staatlicher Regelungen einzubinden, wurde vom Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft (MURL) ein fachtechnischer Arbeitskreis „Feinstaubemissionen aus Anlagen“ eingerichtet, dessen Leitung beim LUA liegt.

Auf Grund einer Betrachtung von Staubemissionen aus Kraftwerken und Abschätzung ihrer Immissionsrelevanz wurde gefolgert, dass der mit dem Rauchgas über hohe Kamine abgeleitete Staub vermutlich nur ubiquitär zur Hintergrundbelastung beiträgt. Der Beitrag des Staubes, der beim Transportieren, Umschlagen und Lagern aus diffusen Quellen freigesetzt wird, kann derzeit nicht abgeschätzt werden, da die Kenntnisse über Emissionsfaktoren, Korngrößenverteilung und Ausbreitung noch unzureichend sind. Um die Korngrößenverteilung besser als bisher routinemäßig erfassen zu können, wurde an der Universität Duisburg im Auftrag des LUA ein Impaktor zu Bestimmung von PM10/2,5 entwickelt.

Fine particles (particles with aerodynamic diameters ≤ 10 µm (PM10)) may cause diseases of the cardio-pulmonary system and of the respiratory tract. Consequently, the ambient air limit values of directive 1999/30 EC for suspended particulate matter refer to the PM10 fraction. In highly industrialized regions such as the agglomerations in the Rhine Ruhr area, exceedances of the limit values have to be anticipated. Releases from industry, small combustion units and traffic can be regarded as causes. Already at present, the need for action by the administration, industry and trade clearly arises. In order to let principal stakeholders participate in drawing up administrative regulations, MURL (Ministry for Environment Regional Planning and Agriculture) has established a technical committee called "Releases of fine particles from industrial installations", which is chaired by LUA.

On the basis of an evaluation of dust emissions from combustion plants and their relevance for ambient air quality, it could be concluded that the dust content of flue gases emitted by high stacks adds to the ubiquitous background level. The share emitted by fugitive sources such as transport, handle and storage processes cannot be quantified at present, the information on emission factors, size distribution and transmission being insufficient. With the aim of routinely determining the size distribution more precisely than in the past, an impactor to measure PM10/2.5 emissions has been developed by the University of Duisburg on behalf of LUA.

1. Einleitung

Durch vielerlei menschliche Aktivitäten, aber auch durch natürliche Prozesse, werden Stäube freigesetzt. Maßnahmen der Luftreinhaltung - vor allem im Bereich von Industrie und Gewerbe - haben in den vergangenen Jahrzehnten zu einem deutlichen Rückgang der Gesamtstaubbelastung geführt, verblieben sind aber Belastungen an feinkörnigen Partikeln, dem sogenannten Feinstaub. **Der Begriff „Feinstaub“ ist nicht eindeutig definiert und wird in der nationalen und internationalen Fachliteratur unterschiedlich verwendet. In dieser Arbeit werden mit „Feinstaub“ alle Partikelfraktionen verstanden, deren Teilchen kleiner/gleich 10 µm sind (PM10, PM2,5).**

Neuere epidemiologische Studien zeigen nun, dass bei Feinstaubkonzentrationen, wie sie üblicherweise in der Außenluft auftreten, gesundheitliche Schädigungen eintreten können [1], [2]. Während Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser [3] zwischen ca. 7 und 10 µm noch in der Nase zurückgehalten werden, können kleinere Teilchen im Rachen, in der Luftröhre und in den Alveolen abgeschieden werden. Der Wirkungsmechanismus ist noch nicht vollständig aufgeklärt, aber ein Zusammenhang zwischen Feinstaubexposition und Erkrankungen der Atemwege und des Herz- Kreislaufsystems wurde beobachtet [4].

Diesen Erkenntnissen wird auf europäischer Ebene mit Beschlüssen zu Immissionsgrenzwerten für Feinstaub Rechnung getragen. In der nordrhein-westfälischen Umweltverwaltung wird das Thema Feinstaub als Schwerpunkt behandelt. Mehrere Arbeitsbereiche in verschiedenen Abteilungen des LUA wie Immissionsmessung, Emissionsmessung, Wirkungsfragen, Emissionskataster, Luftreinhalteplanung und anlagenbezogener technischer Umweltschutz sind betroffen und beteiligt und bestätigen in ihrer Zusammenarbeit den interdisziplinären Charakter der Herausforderung Feinstaub.

2. Rechtlicher Hintergrund und politische Bedeutung

Am 19.07.1999 ist die EU-Richtlinie 1999/30/EG über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickoxide, partikelförmige Luftverunreinigungen und Blei in der Umgebungsluft [5] (die sogenannte 1. Tochterrichtlinie) in Kraft getreten, die bis zum 19.07.2001 in nationales Recht umzusetzen ist. Zusammen mit der Rahmenrichtlinie zur Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität (96/62/EG) vom 27.09.1996 [6] wird sie wichtige Änderungen für den Immissionsschutz auch in Deutschland mit sich bringen. Auf einige wichtige Konsequenzen sei im folgenden hingewiesen:

Im Unterschied zur bisherigen Praxis - z. B. der TA Luft - beziehen sich die neuen Immissionsgrenzwerte der EU nicht auf Gesamtstaub (Total Suspended Particulates, TSP), sondern auf feinere Fraktionen des Staubes. Das sind Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser $\leq$10 µm; sie werden als PM10 (PM ist die Abkürzung für das englische Particulate Matter) bezeichnet [7]. Diese Festlegung erfordert eine korngrößenfraktionierte Messung und Bewertung des luftgetragenen Staubes.

- Die im Anhang III der 1. Tochterrichtlinie festgelegten Grenzwerte, Toleranzmargen und die Anzahl der zulässigen Überschreitungen sind in der Tabelle 1 aufgeführt. Für die PM10-Staubfraktion gelten in der *Stufe 1* 50 µg/m³ als Tagesmittel, bei 35 zulässigen Überschreitungen pro Jahr und 40 µg/m³ im Jahresmittel. Die Grenzwerte sind so streng, dass vor allem bei den Tagesmitteln mit erheblichen Überschreitungen in NRW gerechnet werden muss (vgl. Abschnitt 5). Zwar sind die Grenzwerte erst ab dem 01.01.2005 einzuhalten, jedoch sind die Mitgliedstaaten verpflichtet, bereits bis zum Ende des Jahres 2003 der EU-Kommission und der Öffentlichkeit Maßnahmenpläne vorzulegen, die detailliert darlegen, wie die Einhaltung der neuen Staubgrenzwerte ab 2005 sichergestellt werden soll.

Tabelle 1: Grenzwerte für Feinstaub (PM10) der EU-Richtlinie 1999/30/EG, Anhang III /RL 1999/30/EG/.

	Mitteilungs-zeitraum	Grenzwert	Toleranzmarge	Zeitpunkt, bis zu dem der Grenzwert zu erreichen ist
Stufe 1				
1. 24-Stunden-Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	24 Stunden	50 µg/m³ PM10 dürfen nicht öfter als 35mal im Jahr überschritten werden	50 % bei Inkrafttreten dieser Richtlinie, lineare Reduzierung am 1. Januar 2001 und alle 12 Monate danach um einen gleichen jährlichen Prozentsatz bis auf 0 % am 1. Januar 2005	1. Januar 2005
2. Jahresgrenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	Kalenderjahr	40 µg/m³ PM10	20 % bei Inkrafttreten dieser Richtlinie, lineare Reduzierung am 1. Januar 2001 und alle 12 Monate danach um einen gleichen jährlichen Prozentsatz bis auf 0 % am 1. Januar 2005	1. Januar 2005
Stufe 2				
1. 24-Stunden-Grenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	24 Stunden	50 µg/m³ PM10 dürfen nicht öfter als 7mal im Jahr überschritten werden	Aus Daten abzuleiten, gleichwertig mit dem Grenzwert der Stufe 1	1. Januar 2010
2. Jahresgrenzwert für den Schutz der menschlichen Gesundheit	Kalenderjahr	20 µg/m³ PM10	50 % am 1. Januar 2005, lineare Reduzierung alle 12 Monate danach um einen gleichen jährlichen Prozentsatz bis auf 0 % am 1. Januar 2010	1. Januar 2010

- Der Anhang III der 1. Tochterrichtlinie sieht in einer 2. Stufe noch wesentlich schärfere Grenzwerte für die PM10-Fraktionen vor, die ab 2010 gelten sollen (vergl. Tabelle 1). Diese vorläufigen Grenzwerte der Stufe 2 unterliegen jedoch einem Revisionsvorbehalt im Jahr 2003.

- Die Maßnahmen zur Erreichung der Staubgrenzwerte sind so auszurichten, dass auch die Emissionen der Feinstaubfraktionen PM2,5 vermindert werden. Gleichzeitig sind die Mitgliedstaaten verpflichtet, auch die Immissionen der PM2,5-Fraktion an repräsentativen Messorten zu erfassen (Artikel 5 der 1. Tochterrichtlinie [5]).

Ausführlichere Darstellungen der Luftqualitätsrichtlinien der EU, auch in Bezug auf ihre rechtliche Bedeutung, sind in der Literatur zu finden [8], [9]. Zwar beziehen sich die erwähnten Neuregelungen der EU unmittelbar nur auf Feinstaubimmissionen, als Folgewirkung sind über die aufzustellenden Maßnahmenpläne jedoch auch die Ermittlungen der Feinstaubemissionen einbezogen. Zudem stellt die EU klar, dass die vollständige Beurteilung der Luftqualität nicht allein auf Immissionsmessungen gestützt werden soll, sondern ausdrücklich weitere Instrumente wie Emissionskataster und Ausbreitungsrechnungen einzubeziehen sind. Dadurch wird deutlich, dass das ganze Regelsystem des Immissionsschutzes von der Messung und Bewertung der Außenluft über die Modellierung zu den Emissionen und Maßnahmenplänen von der Umstellung auf eine Betrachtung der Feinstaubemissionen betroffen ist. Wegen der erwähnten kurzen Zeitspanne bis zur Vorlage erster Maßnahmenpläne im Jahr 2003 muss daher in NRW wie in anderen Bundesländern und in den Mitgliedstaaten der EU bereits jetzt die Umstellung des Regelsystems eingeleitet werden.

3. Aktivitäten auf Bundes- und Länderebene

Die anspruchsvollen Feinstaubgrenzwerte sind derzeit für dicht besiedelte, hochindustrialisierte Regionen problematisch. In weiten Teilen der Bundesrepublik muss mit Überschreitungen gerechnet werden. In allen Bundesländern sind die Behörden deshalb gefordert, in Belastungsschwerpunkten Feinstaubquellen und deren Immissionsbeiträge zu identifizieren und Minderungsmaßnahmen aufzuzeigen.

Vom Länderausschuss Immissionsschutz (LAI) wurde deshalb der ad hoc Arbeitskreis „Umsetzung der EU-Luftqualitäts-Rahmenrichtlinie“ einberufen [10]. Der Arbeitskreis kommt zu dem Ergebnis, dass Feinstaubquellen vor allem in der Industrie, insbesondere in den Gruppen Energie, Steine und Erden sowie Stahl und Eisen und in den Bereichen Verkehr und Haushalte/Kleinfeuerungsanlagen zu finden sind. Neuanlagen der Industrie, die mit modernen Entstaubungseinrichtungen ausgerüstet sind und deren Emissionen über Schornsteine nach TA Luft abgeleitet werden, tragen vermutlich nur ubiquitär zur Hintergrundbelastung bei. Das wurde aus Ausbreitungsrechnungen gefolgert. Bodennahe Quellen können im Gegensatz dazu einen wesentlichen Beitrag zur aktuellen Feinstaubimmissionssituation leisten [11].

Das Umweltbundesamt lädt Vertreter von Behörden, Industrie und Verbänden zu Fachgesprächen ein. Seit 1998 fanden vier Gespräche zu Korngrößenverteilung und Quellen von Staubemissionen statt. Auf Grundlage von Katasterdaten und Expertenwissen wurden die Größenordnungen der Gesamt- und Feinstaubemissionen relevanter Quellen für die Bundesrepublik Deutschland abgeschätzt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Staubemissionen und geschätzter Feinstaubanteil in der Bundesrepublik Deutschland, Stand Juli 1999, entnommen aus [12]

Herkunft der Stäube	Gesamtstaub 1996[1)] [10^6 kg]	Feinstaubanteil [%]
Industrieprozesse	103	61
Kraft und Fernheizwärme	33	95
Industriefeuerungen	14	95
Haushalte und Kleinverbraucher	30[2)]	90
Schüttgutumschlag	ca. 47[3)]	20
Verkehr:		
Straßenverkehr (Abgas)	38	100
Straßenverkehr (Reifenabrieb)	73	10
Übriger Verkehr	15	100

1) Vorläufige Angaben
2) Vorläufige Schätzung auf Grundlage von Zwischenergebnissen aus einem laufenden Forschungsvorhaben
3) Ergebnisse auf Grundlage eines Fachgespräches im Umweltbundesamt über Emissionen beim Lagern und Umschlagen von Schüttgütern

Um die Datenlage weiter zu verbessern, wurde ein umfangreiches Feinstaub-Messprogramm angestoßen, das Bund und Länder gemeinsam realisieren. Die Untersuchungen werden derzeit überwiegend an gefassten, feinstaubrelevanten Quellen genehmigungsbedürftiger Anlagen durchgeführt. Das LUA NRW beteiligt sich mit Messungen u. a. in den Bereichen Stahl und Eisen. Das Programm wird voraussichtlich Mitte 2000 abgeschlossen sein.

Verbesserte Kenntnis über Feinstaubemissionen aus diffusen, bodennahen Quellen verspricht man sich von dem Forschungsvorhaben „Lagern und Umschlagen staubender Güter“. Ziel ist die Neubewertung von Emissionsfaktoren für einzelne einschlägige Betriebsvorgänge. Das Vorhaben wurde vom UBA vergeben und soll im Spätherbst 2000 abgeschlossen werden.

Seit geraumer Zeit ist bekannt, dass in der Atmosphäre aus den gasförmigen Vorläufersubstanzen SO_2, NO_x und NH_3 die Feststoffe Ammoniumsulfat ($(NH_4)_2SO_4$) und Ammoniumnitrat ((NH_4NO_3)) gebildet werden. Sie sind in Form von feinsten Partikeln, überwiegend < PM2,5, in der Luft dispergiert. Diese

sekundären Aerosole sollen immerhin ca. 25 - 50 % der Immissionsbelastung durch Feinstaub ausmachen [11], [13]. Der Mechanismus der sekundären Aerosolbildung ist zwar noch nicht abschließend geklärt, jedoch ist davon auszugehen, dass industrielle SO_2- und NO_x-Emissionen und Ammoniakeintrag aus der Landwirtschaft zur Feinstaubbildung beitragen. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung hat deshalb beim GSF Forschungszentrum ein Aerosolforschungsprogramm in Auftrag gegeben.

4. Einrichtung des fachtechnischen Arbeitskreises in Nordrhein-Westfalen

Bereits vor Inkrafttreten der EU-Richtlinie 1999/30/EG über Grenzwerte für Schwefeldioxid und Stickoxid und Stickoxide, Partikel und Blei in der Luft war erkennbar, dass die strengen deutlich unter dem bisherigen Niveau der TA-Luft für Gesamtstaub liegenden Immissionsgrenzwerte für Feinstaub in weiten Bereichen Nordrhein-Westfalens nicht würden eingehalten werden können. Die aktuellen Immissionsmessungen, auf die im Abschnitt 5 noch näher eingegangen wird, belegen dies über direkte Feinstaubmessungen bzw. durch Abschätzung der Feinstaubkonzentrationen auf der Grundlage von Gesamtstaubmessungen.

Nach der EU-Luftqualitätsrahmenrichtlinie verpflichten Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte die Mitgliedsstaaten über das Instrument der Luftreinhalteplanung Maßnahmen zur Absenkung der Feinstaubimmissionen zu ergreifen. Damit besteht erheblicher Handlungsbedarf bei allen Verantwortlichen, im administrativen Bereich sowie in Industrie und Gewerbe.

Um sich auf diese Herausforderungen rechtzeitig einzustellen, hat das Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW im Einvernehmen mit dem Landesbeirat für Immissionsschutz im April 1998 ein Kooperationsmodell zwischen Industrie und Verwaltung beschlossen und im August 1998 hierzu den fachtechnischen Arbeitskreis Feinstaubemissionen aus Anlagen ins Leben gerufen.

Ihm gehören Vertreter der Industrie-, Sachverständigen- und Umweltverbände, der Wissenschaft und der Verwaltung an. Die Leitung des Arbeitskreises hat das Landesumweltamt NRW übernommen. Die Einrichtung des Arbeitskreises entspricht dem immer wieder vorgetragenen Wunsch der Industrie, möglichst frühzeitig bei der Erarbeitung staatlicher Regelungen eingebunden zu werden.

Die folgenden konkreten Aufgaben hat sich der Arbeitskreis zum Ziel gesetzt:

- Informationen über die Feinstaubemissionen typischer Anlagen und Verursachergruppen zusammenzutragen und hinsichtlich ihrer Immissionsrelevanz auszuwerten.
- Kenntnisse über technische Möglichkeiten zur Verminderung von Feinstaubemissionen auszuwerten und ggf. neue Entwicklungen anzustoßen und
- Möglichkeiten zur Erprobung geeigneter Emissionsmesseinrichtungen zu vermitteln.

Der Arbeitskreis praktiziert hierzu einen intensiven Informationsaustausch über die unterschiedlichen Feinstaubquellen, über Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen und andere Aktivitäten des Landes NRW sowie Dritter. Er bereitet Emissionsmessungen an Anlagen vor und verfolgt die Immissionsmessungen zum Feinstaub. Und er hat damit begonnen, die Emissionsdaten von Anlagen im Hinblick auf die Möglichkeiten zur Minderung der Feinstaubemissionen auszuwerten.

Die folgenden Abschnitte dieses Beitrags sollen einen Einblick in die vielfältigen Aktivitäten zum Thema Feinstaub geben, die vom Arbeitskreis in Ausfüllung der o. g. Aufgaben begleitet werden.

5. Immissionssituation für Feinstaub in Nordrhein-Westfalen

Für NRW sind umfassende quantitative Aussagen zur Immissionssituation bislang nur eingeschränkt möglich, da flächendeckende Messergebnisse für PM10 noch nicht vorliegen. Dies liegt zum einen daran, dass

alte EU-Richtlinien wie auch die nationale Gesetzgebung auf TSP-Messungen basieren, die nach wie vor erforderlich sind, z. B. zur Durchführung der Smog-Verordnung NW. Zum anderen mussten zur Erzielung international vergleichbarer Messergebnisse zunächst die messtechnischen Anforderungen an PM10-Messverfahren definiert werden. Dies ist mit der Norm DIN EN 12341 [14] geschehen.

Vor dem Hintergrund dieser Schwierigkeiten wurden im wesentlichen zwei Ansätze verfolgt, um Aussagen hinsichtlich der PM10-Immissionssituation in NRW zu erhalten. Diese sind nachfolgend dargestellt.

Abschätzung aus TSP-Messungen

Aus punktuellen Messkampagnen in Deutschland, überwiegend an städtischen Hintergrundmessstellen, ist bekannt, dass der mittlere PM10-Anteil am Gesamtschwebstaub rund 83 % beträgt. Um einen orientierenden Eindruck über die Schärfe der genannten Grenzwerte zu erhalten, wurden daher die kontinuierlich ermittelten TSP-Daten der LUQS-Messstationen (LUQS: Luft-Qualitäts-Überwachungs-System) durch Multiplikation mit dem Faktor 0,83 in fiktive PM10-Werte umgerechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass der zukünftige Grenzwert von 40 µg/m³ als Jahresmittelwert - ohne Berücksichtigung der Toleranzmarge von anfangs 8 µg/m³ (vergl. Tabelle 1) - nur in relativ wenigen Fällen überschritten wird. Für sieben von 54 Messstationen wurden auf Basis der TSP-Jahresmittelwerte 1998 Grenzwertüberschreitungen abgeschätzt.

In Abbildung 1 sind die Ergebnisse für das Messjahr 1998 bezüglich des 24-h-Wertes, der nur 35mal im Jahr überschritten werden darf (vergl. Tabelle 1), in Form einer Karte mit interpolierten Werten dargestellt: Es ist deutlich zu erkennen, dass in den Zentren der Ballungsräume an Rhein und Ruhr mit großflächigen Überschreitungen des Grenzwertes zu rechnen ist. Dabei ist zu betonen, dass sich die Darstellung auf den Grenzwert von 50 µg/m³ ohne Berücksichtigung der Toleranzmarge bezieht. Von den betrachteten 54 Stationen zeigten 31 eine Überschreitung dieses Grenzwertes.

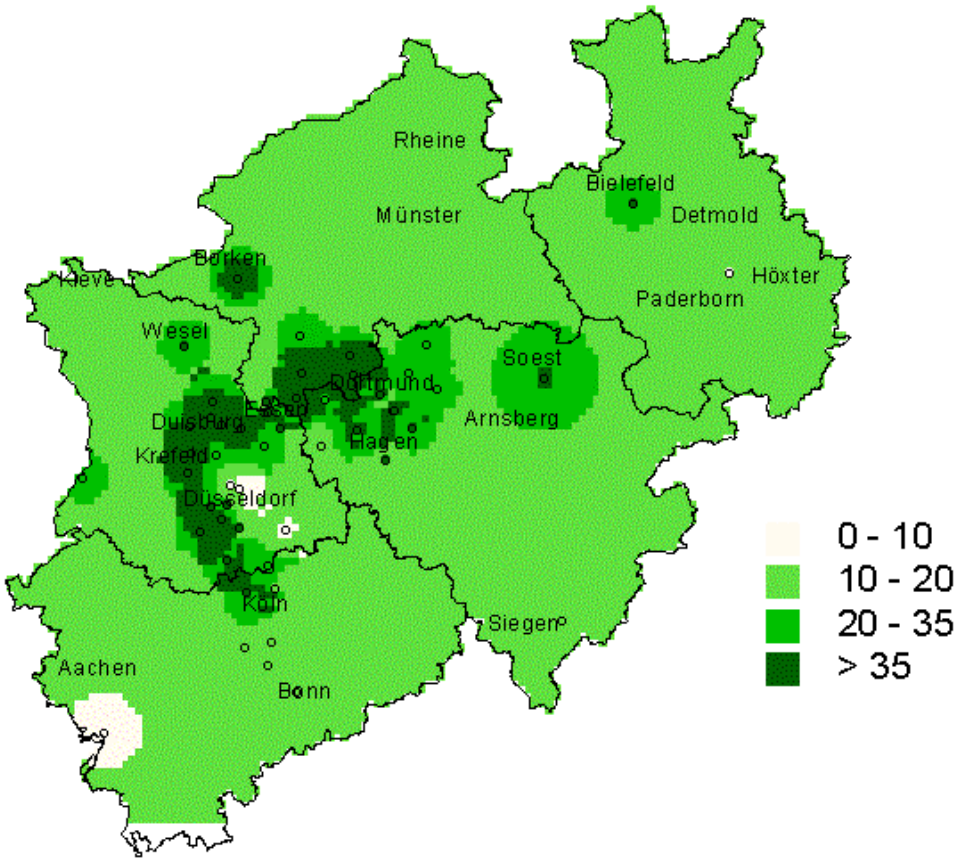

Abbildung 1: Interpolierte PM10-Immissionskonzentrationen (24 h-Wert): Anzahl der Tage mit Werten > 50 µg/m³.

Feinstaubmessungen

Im Februar 1998 wurden routinemäßige Messungen von PM10 mittels Kleinfiltergeräten (Referenzgerät nach DIN EN 12341) begonnen. Die Messungen wurden an fünf Orten unterschiedlicher Luftqualität, die in der Tabelle 3 charakterisiert sind, vorgenommen.

Tabelle 3: Messstationen für PM10 nach DIN EN 12341

Station	Charakterisierung
Essen LUA	städtischer Hintergrund
Düsseldorf/Corneliusstraße	Verkehr
Duisburg-Meiderich	Industrie
Eifel	ländlich
Köln-Chorweiler	städtischer Hintergrund

Die Ergebnisse des ersten Messjahres (2/98 - 1/99) sind in nachstehendem Bild 2 zusammengefasst und zeigen deutlich die unterschiedliche Belastungsstruktur in verschiedenen Gebieten des Landes (siehe auch [15]):

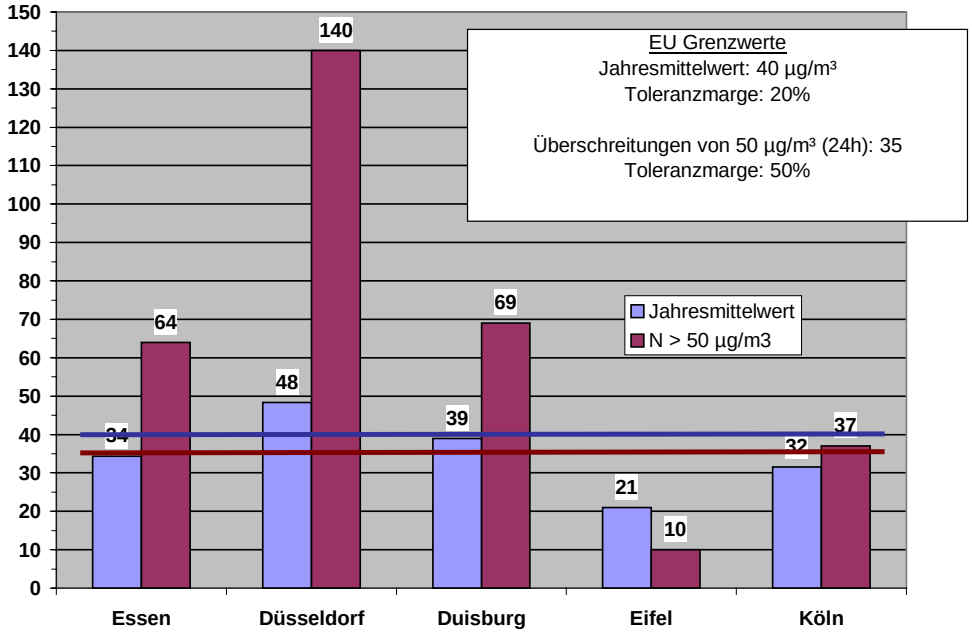

Abbildung 2: Jahresmittelwerte der PM10 Immissionskonzentration und Anzahl der Tagesmittelwerte > 50 µg/m³.

Der Jahresmittelwert von 40 µg/m³ wird nur an der Verkehrsstation Düsseldorf/Corneliusstraße übertroffen. Der Tagesmittelwert von 50 µg/m³ dagegen wird an vier von fünf Messorten mehr als 35mal überschritten. Auch hier erweist sich die Verkehrsstation in Düsseldorf mit 140 Überschreitungen als besonders kritisch. Es sei nochmals betont, dass auch diese Betrachtungen die zunächst anzuwendenden Toleranzmargen unberücksichtigt lassen.

Interessant ist ferner der unterschiedliche Anteil der PM10-Fraktion am Gesamtschwebstaub. An der ländlichen Station in der Eifel liegt er bei 94 %, an den Stationen im Nahbereich des Straßenverkehrs bzw. im industriellen Umfeld nur bei 72 %. An den städtischen Hintergrundstationen wurden 81 % (Essen LUA)

und 86 % (Köln-Chorweiler) gemessen. Dies legitimiert in sehr guter Weise die zuvor dargestellten Abschätzungen der PM10-Belastung durch Hochrechnung aus Gesamtschwebstaubmessungen.

Im Jahr 2000 beginnt die umfassende Ausstattung des LUQS-Messnetzes mit PM10-Sammlern für routinemäßige Messungen.

Weitere Untersuchungen

In den Jahren 1996 bis 1999 wurde ein Forschungsprojekt "Korngrößenabhängige Untersuchungen von Schwebstaub und Inhaltsstoffen" unter Finanzierung des MURL von der Universität Duisburg (Prof. Fißan) in Kooperation mit dem LUA NRW durchgeführt. Wichtige Untersuchungsschwerpunkte waren u. a.:

- Untersuchungen zur sachgerechten Probenahme feiner Partikelfraktionen
- Messungen von Gesamtschwebstaub und verschiedenen Feinstaubfraktionen an Orten unterschiedlicher Luftqualität in NRW
- Bestimmung kationischer und anionischer Inhaltsstoffe der Staubfraktionen
- Physikalisch-chemische Charakterisierung und Altersbestimmung von Aerosolen

Im Rahmen dieses Projektes wurde eine größere Zahl von Messkampagnen im Ruhrgebiet durchgeführt, bei denen neben PM10 auch die Staubfraktion < 2,5 µm untersucht wurde. In Bild 3 sind Ergebnisse einer Messperiode in Oberhausen-Osterfeld (11.02. - 09.03.1998) dargestellt [16].

Oberhausen-Osterfeld
Chemische Zusammensetzung der PM2,5-Fraktion

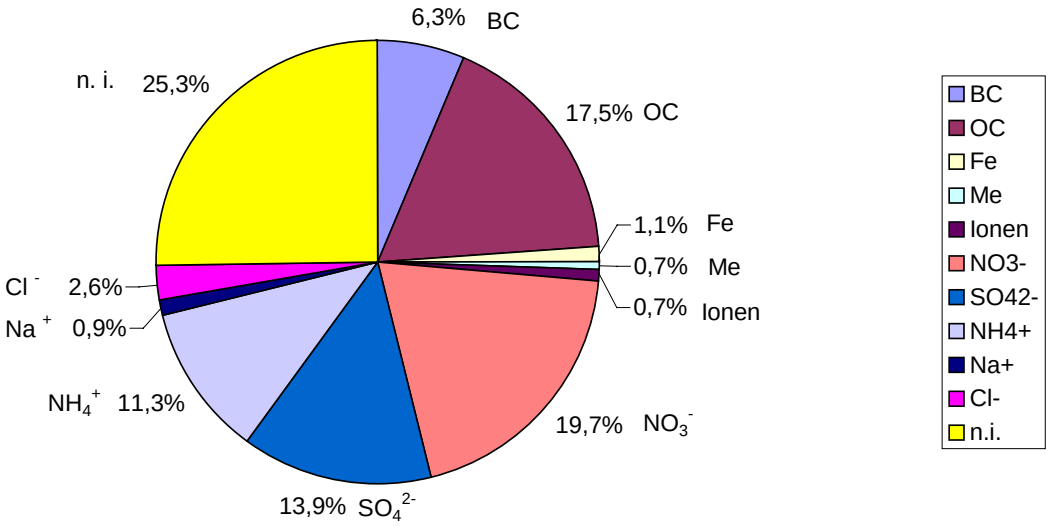

Abbildung 3: Chemische Zusammensetzung der PM2,5-Fraktion (Massenanteile) in Oberhausen Osterfeld
BC: schwarzer Kohlenstoff (black carbon);
OC: organischer Kohlenstoff; Me: Summe der Metalle Pb, Cd, Ni, Be, As und Zn;
Ionen: Summe anderer Metalle wie K, Ca, Mg und Mn;
n. i.: nicht identifiziert

Während dieser Messkampagne entfiel ein Massenanteil von 74 % der PM10-Fraktion auf Partikel < 2,5 µm. Je etwa ein Viertel der PM2,5-Fraktion wiederum entfallen auf Kohlenstoff/kohlenstoffhaltige Verbindungen sowie auf nicht identifizierte Anteile. Rund 45 % der PM2,5-Masse wird durch sekundäre Aerosole (Ammonium, Sulfat, Nitrat) gebildet, die zumindest anteilig auch auf industrielle Quellen zurückzuführen sind. Diese Ergebnisse unterstreichen die wichtige Rolle dieser aus gasförmigen Vorläuferstoffen wie SO_2, NO_x oder NH_3 gebildeten Partikel, wie bereits im Abschnitt 3 beschrieben wurde.

6. Quellen und Größenordnung der Emissionen

Die Emissionen aller wichtigen Emittentegruppen Nordrhein-Westfalens werden im Emissionskataster Luft NRW, das vom Landesumweltamt geführt wird, erfasst. Die bedeutendsten Beiträge zu den Staub- bzw. Feinstaubemissionen liefern hier die Emittentengruppen Industrie (genehmigungsbedürftige Anlagen), Kleinfeuerungsanlagen und Verkehr. Die Daten sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 4: Gesamtstaub- und Feinstaubemissionen in NRW

		Gesamtstaub		**Feinstaub (PM_{10})**	
Emittentengruppe	Bezugsjahr	t/a	%	t/a	%
Industrie	1996				
1 Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie		12 348	24,9	9 319	24,0
2 Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe		5 729	11,5	4 454	11,5
3 Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung		10 525	21,2	7 283	18,8
4 Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination und Weiterverarbeitung		2 509	5,1	1 805	4,7
5 Oberflächenbehandlung mit organischen Stoffen, Herstellung von bahnenförmigen Materialien aus Kunststoffen, sonstige Verarbeitung von Harzen und Kunststoffen		146	0,3	119	0,3
6 Holz, Zellstoff		478	1,0	304	0,8
7 Nahrungs-, Genuss- und Futtermittel, landwirtschaftliche Erzeugnisse		451	0,9	332	0,9
8 Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen		164	0,3	106	0,3
9 Lagerung, Be- und Entladen von Stoffen und Zubereitungen		2 954	5,9	1 519	3,9
10 Sonstiges		84	0,2	52	0,1
Summe Industrie		**35 387**	**71,3**	**25 293**	**65,2**
Kleinfeuerungsanlagen	1995				
Gasförmige Brennstoffe		12	< 0,1	12	< 0,1
Flüssige Brennstoffe		322	0,6	322	0,8
Feste Brennstoffe		4 550	9,2	3 801	9,8
Summe Kleinfeuerungsanlagen		**4 884**	**9,8**	**4 135**	**10,7**

Fortsetzung

Tabelle 4: Fortsetzung

		Gesamtstaub		Feinstaub (PM_{10})	
Emittentengruppe	Bezugsjahr	t/a	%	t/a	%
Verkehr	1996 - 1998				
Straßenverkehr ohne Reifenabrieb	1997	6 975	14,0	6 975	1,0
davon:					
Pkw		2 010	4,0	2 010	5,2
Leichte Nutzfahrzeuge (< 3,5 t)		831	1,7	831	2,1
Kräder		< 1	< 0,1	< 1	< 0,1
Schwere Nutzfahrzeuge (> 3,5 t)		4 134	8,3	4 134	10,7
Schienenverkehr	1997	137	0,3	137	0,4
Schiffsverkehr	1996	1 108	2,2	1 108	2,9
Offroad (nur Landwirtschaft)	1997/98	1 169	2,4	1 169	3,0
Summe Verkehr		**9 388**	**18,9**	**9 388**	**24,2**
Summe NRW		**49 659**	**100,0**	**38 816**	**100,0**

Industrie

Unter dem Begriff "Industrie" werden im Folgenden die genehmigungsbedürftigen Anlagen betrachtet, die in einem Katalog der 4. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV) [17] aufgelistet sind. Die 4. BImSchV teilt die Anlagen technologisch in die in Tabelle 4 aufgeführten zehn Obergruppen ein, denen die jeweils genannten Gesamtstaub- bzw. Feinstaubemissionen zuzuordnen sind. Wichtigste Emittenten sind die Bereiche

- Wärmeerzeugung, Bergbau und Energie,
- Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung,
- Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe,
- Lagerung, Be- und Entladen von Stoffen und Zubereitungen und
- Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination und Weiterverarbeitung.

Die Daten zum Gesamtstaub stammen aus den Emissionserklärungen der genehmigungsbedürftigen Anlagen für das Jahr 1996; die Feinstaubemissionen werden vom LUA auf Basis der Gesamtstaubemissionen abgeschätzt. Dabei muss zwischen den gefassten und den diffusen Quellen unterschieden werden. Gefasste Quellen (z. B. Kamine) mit relevanten Staubemissionen verfügen über eine Abgasreinigungseinrichtung, deren Abscheidecharakteristik dazu führt, dass fast ausschließlich Feinstaub emittiert wird. Für die wichtigsten Abgasreinigungssysteme (Filternde Abscheider, Elektrofilter, Wäscher) liegt der Feinstaubanteil an den Gesamtstaubemissionen deutlich über 90 %.

Hinsichtlich der Staubemissionen aus diffusen Quellen ist die Datenlage auf Grund der Schwierigkeiten bei der Ermittlung zzt. noch nicht zufriedenstellend. Aus den in den Emissionserklärungen aufgeführten diffusen Gesamtstaubemissionen werden überschlägig Feinstaubemissionen mit Hilfe von Faktoren abgeschätzt, die in Abhängigkeit von der Art der Quelle in der Regel zwischen 0,2 und 0,8 liegen.

Kleinfeuerungsanlagen

Unter Kleinfeuerungsanlagen versteht man die Feuerungsanlagen, die nicht unter den Geltungsbereich des Anhangs der 4. Verordnung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (4. BImSchV) fallen (nicht genehmigungsbedürftige Feuerungsanlagen). Dazu gehören:

- alle mit Erdgas oder Flüssiggas betriebenen Feuerungen mit einer Feuerungswärmeleistung unter 10 MW,
- alle mit Heizöl EL betriebenen Feuerungen mit einer Feuerungswärmeleistung unter 5 MW und
- alle mit festen Brennstoffen (Kohle, Koks, Holz) betriebenen Feuerungen mit einer Feuerungswärmeleistung unter 1 MW.

Die Daten für die Kleinfeuerungsanlagen basieren auf einer landesweiten Erhebung für das Jahr 1995. Dabei wurde zunächst ein Energieatlas für alle Städte und Gemeinden in NRW erstellt. Die Emissionen, die durch den Einsatz der Brennstoffe Erdgas, Flüssiggas, Heizöl EL, Kohle und Holz in Kleinfeuerungsanlagen entstehen, werden aus dem Energieeinsatz mittels energieträgerspezifischer Emissionsfaktoren ermittelt (Tabelle 4). Auch hier werden die Feinstaubemissionen aus den Gesamtstaubemissionen abgeschätzt, wobei davon ausgegangen wird, dass es sich bei den Emissionsanteilen aus dem Einsatz der gasförmigen und flüssigen Brennstoffe ausschließlich um Feinstaub handelt und bei den von Festbrennstofffeuerungen emittierten Staubmengen 80 % den Feinstäuben zuzuordnen sind.

Verkehr

Angaben zu Staubemissionen liegen für Straßen-, Schienen-, Schiffsverkehr und den Offroad-Sektor vor. Der Offroad-Sektor bezeichnet den nicht straßengebundenen Verkehr in den Bereichen Baumaschinen, Land- und Forstwirtschaft, Gartenpflege und Hobby, Industrie und Militär, wobei bislang nur Daten für den landwirtschaftlichen Verkehr verfügbar sind; die Emissionen der anderen Bereiche werden zzt. im Rahmen eines Untersuchungsvorhabens ermittelt. Anhand von Bewegungszahlen können die Emissionen für die jeweilige Verkehrsart und motorspezifischen Emissionsfaktoren ermittelt werden. Die Staubemissionen sind in Tabelle 4 zusammengestellt; wobei nur die vollständig aus Feinstaub bestehenden Emissionen der Abgase berücksichtigt werden. Zu den diffusen Emissionen des Verkehrs, die insbesondere im Bereich des Straßenverkehrs durch Reifen- und Straßenabrieb sowie Aufwirbelungen entstehen, stehen bisher nur wenige belastbare Erkenntnisse zur Verfügung. Eine erste grobe Abschätzung der Emissionen aus Reifenabrieb liegt für NRW bei 13 000 t/a mit einem Feinstaubanteil in der Größenordnung von 30 %.

Zusammenfassend ergeben sich für die beschriebenen Emittentengruppen die in Abbildung 4 dargestellten Verhältnisse hinsichtlich der Feinstaubemissionen. Den größten Anteil weist die Industrie mit 59 % auf, gefolgt vom Verkehr mit 31 % und den Kleinfeuerungsanlagen (10 %). Im Gegensatz zur Tabelle 4 ist hier auch der Reifenabrieb im Straßenverkehr berücksichtigt. Dabei ist zu beachten, dass das Bild der Feinstaubemissionen in NRW noch unvollständig ist, da zum einen die bereits erwähnten Erkenntnislücken im Bereich der diffusen Emissionen der Industrie und des Verkehrs bestehen und andererseits auch für andere Bereiche, die möglicherweise nennenswert zu den Emissionen beitragen, noch keine verwertbaren Informationen vorliegen. Dies betrifft insbesondere die diffusen Emissionen aus Bautätigkeiten und durch landwirtschaftliche Aktivitäten.

Prozentualer Anteil der wichtigsten Emittentengruppen

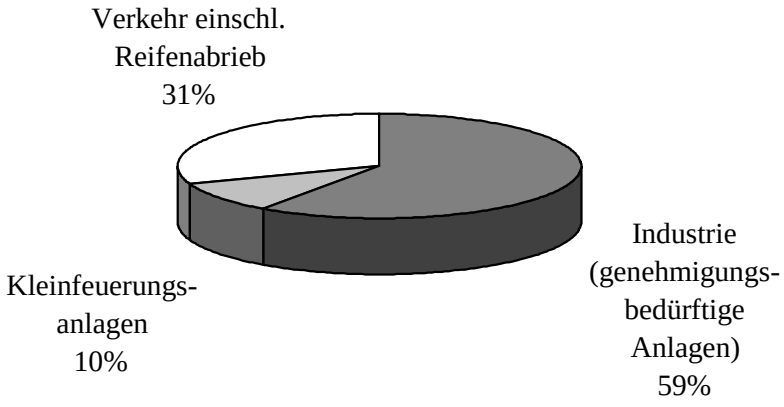

Abbildung 4: Feinstaub in NRW

7. Emissionsminderung, Stand der Technik bei Kraftwerken

Anlagen zur Energieerzeugung verursachen in NRW ca. 35 % der industriellen Staubemissionen (vergl. Tabelle 4.) Obwohl die Abgase überwiegend mit modernen Abscheidern von Staub gereinigt werden, bedingen die zum Teil hohen Durchsätze in den nordrhein-westfälischen Kraftwerken, die nach der 4. BImSchV, Nr. 1.1 genehmigungsbedürftig sind, immer noch einen jährlichen Staubauswurf von 7 800 t. Dieser Staub ist größtenteils Feinstaub [11]. Im Folgenden werden die Emissionen aus staubrelevanten Quellen von Kraftwerken beschrieben und Betrachtungen zu deren Immissionsrelevanz angestellt. Die Datenbasis hierfür sind die von den Betreibern erklärten Emissionen, entnommen aus dem Emissionskataster, Stand 1996.

Die Untersuchungen beziehen sich nur auf den primär freigesetzten Staub. Die Emissionen von Vorläufer-substanzen zur Bildung sekundärer Aerosole, hier insbesondere SO_2 und NO_x, bleiben in diesem Beitrag unberücksichtigt.

In Kraftwerken wird Staub mit dem Rauchgas aus Kaminen und Kühltürmen freigesetzt und außerdem diffus von den zugehörigen Bunkern und Halden emittiert. In der Abbildung 5 ist der Jahresauswurf aus Rauchgasquellen und diffusen Quellen für die hier betrachteten 41 Anlagen dargestellt. Darüber hinaus geben einige Betreiber weitere, jedoch unbedeutende Staubquellen wie z. B. Kalksteinmehlsilos an, die nicht weiter berücksichtigt werden.

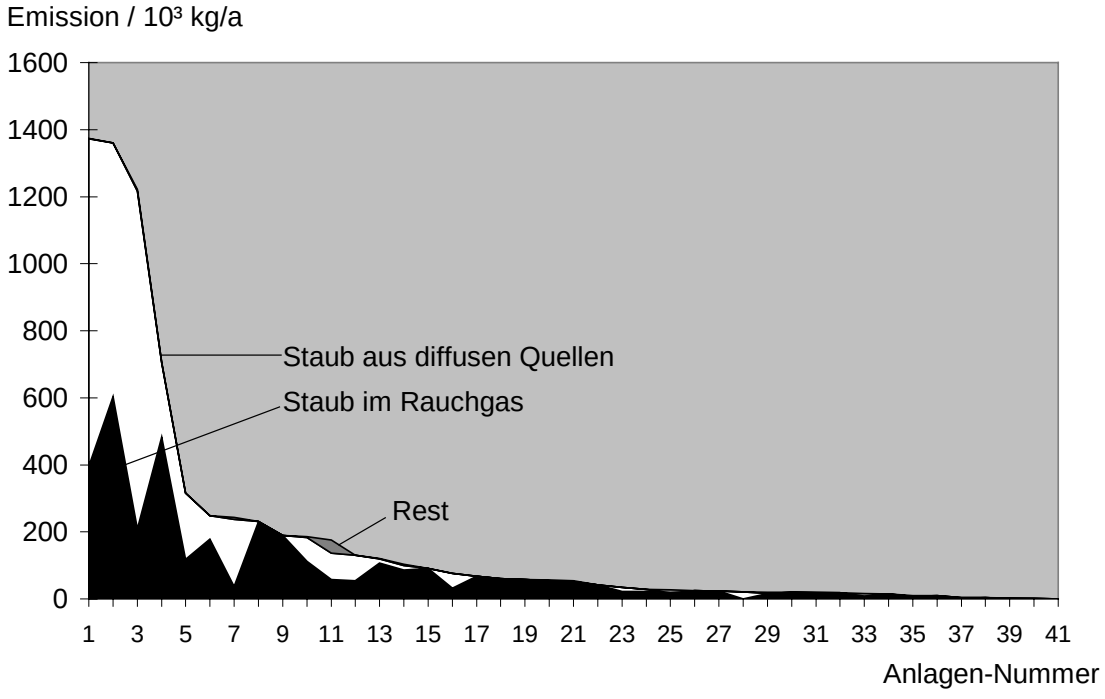

Abbildung 5: Staubemissionen aus Kraftwerken in NRW, Quelle: Emissionserklärungen der Betreiber, Stand 1996

Rauchgasquellen

Alle Rauchgasquellen sind selbstverständlich mit Einrichtungen zur Staubabscheidung versehen. Je nach eingesetzten Brennstoff wird das Rauchgas entweder mittels Elektrofilter oder zusätzlich in einem nachgeschalteten Wäscher von Staub gereinigt. Diese Art der Rauchgasreinigung ist bei Kraftwerken so effizient, dass aus 75 % aller Quellen weniger als 10 mg Staub pro Kubikmeter Rauchgas freigesetzt

werden (vergl. Abbildung 6). Auf Grund der hohen Durchsätze werden trotz dem aus einzelnen Kaminen und Kühltürmen bis zu 220 t Staub jährlich emittiert. Aus den hier betrachteten Rauchgasquellen werden in Summe jährlich 3 600 t Staub ausgeworfen. Dabei handelt es sich nahezu ausschließlich um Feinstaub, wie aktuelle, noch nicht veröffentlichte, Messungen zeigen.

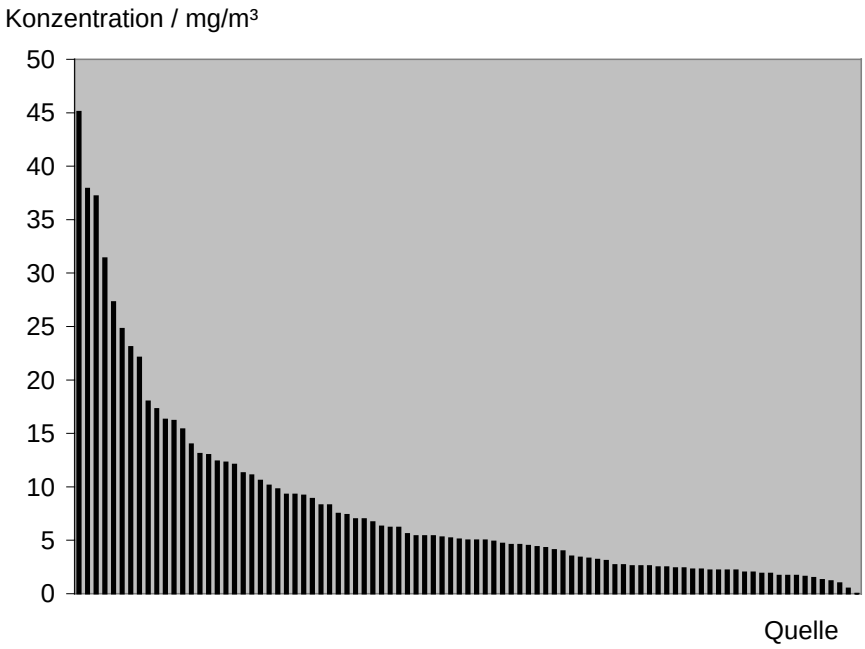

Abbildung 6: Reststaubkonzentration im Rauchgas von Kraftwerken in NRW. Es wurden 91 verschiedene Rauchgasquellen, d. h. Kamine bzw. Kühltürme, betrachtet. Quelle Emissionserklärungen der Betreiber, Stand 1996.

Immissionsrelevanz

Von besonderem Interesse ist die Frage nach der Immissionsrelevanz einzelner Quellen oder einer ganzen Anlage. Belasten Großkraftwerke, die zwar mit exzellenten Rauchgasreinigungssystemen ausgestattet sind, aber trotzdem noch Feinstaub in beachtlichen Mengen emittieren, die Umgebung?

Die zu erwartenden Staubimmissionen können in ihrer Größenordnung mit einem Verfahren abgeschätzt werden, das in der Luftreinhalteplanung zur Aufstellung von Immissionsrelevanzreihen benutzt wird [18]. Anhand des Staub-Massenstromes und der Schornsteinhöhe aus der Emissionserklärung, sowie eines von der Schornsteinhöhe abhängigen Verdünnungsfaktors wird für die betrachtete Quelle der Immissionsbeitrag im Maximum abgeschätzt. Dabei ist der Verdünnungsfaktor konventionell in Abhängigkeit von der Auslasshöhe so festgelegt, dass er in etwa dem räumlichen Maximum der Schadstoffausbreitung entspricht. Obwohl der Ort maximaler Immission für jede Quelle einer Anlage spezifisch ist, stellt die Summe der Werte doch ein grobes Maß für den zu erwartenden Jahresmittelwert der Anlage dar. Dieses Maß wird allerdings zunehmend unsicher, wenn die Schornsteinhöhen unter 20 m liegen und wenn merkbare Immissionsbeiträge von benachbarten Anlagen zu erwarten sind.

Für Großkraftwerke wurde die Immissionsbeiträge einzelner Rauchgasquellen abgeschätzt. Dabei wurden selbst für Quellen mit höchsten Rauchgasdurchsätzen Werte in so geringer Größenordnung erhalten, dass von einem nicht-relevanten Immissionsbeitrag ausgegangen wird. Auch wenn man berücksichtigt, dass Großkraftwerke z. T. sogar über mehr als zehn Rauchgasquellen verfügen und man deren Einzelwerte aufsummiert, ergeben sich keine eindeutigen Hinweise für problematische Staubimmissionen.

Obwohl die tatsächliche Immissionssituation im Umfeld einer Anlage nur durch eine Ausbreitungsrechnung auf Basis der vollständigen Emissionsparameter beschrieben werden kann, wird diese Betrachtung bereits als ein Hinweis darauf verstanden, dass der mit dem Rauchgas freigesetzte Reststaub zwar ubiquitär zur allgemeinen Hintergrundbelastung beiträgt, jedoch keine akuten Überschreitungen zukünftiger Immissionsgrenzwerte bewirkt. Diese Schlussfolgerung steht im Einklang mit der Einschätzung des LAI ad hoc Arbeitskreises (vergl. Abschnit 3). Die Ursache dafür ist einerseits im niedrigen Reststaubgehalt des Rauchgases und damit in der effizienten Reinigungstechnik zu suchen. Andererseits werden die Abgase über einen nach TA-Luft bemessenen hohen Schornstein abgeleitet. Das Rauchgas wird dadurch so stark verdünnt, dass der noch in geringen Konzentrationen enthaltene Staub immissionsseitig zu keiner Belastung führt.

Diffuse Staubemissionen von Bunkern und Halden beim Lagern, Umschlagen und Transportieren

Zu Kraftwerken gehören häufig auch Bunker und Halden, aus denen unter Umständen beträchtliche Mengen Staub freigesetzt werden können. Aus der Abbildung 5 ist ersichtlich, dass für die Anlagen 1 - 3 sogar zwischen 750 – 1 000 t Staubemission erklärt wurden. Wie sind diese diffusen Emissionen zu bewerten?

Um die Immissionsrelevanz von Staub, der aus diffusen Quellen freigesetzt wird, grob abzuschätzen, müssen Emissionsmassenstrom, Partikelgrößenverteilung und Ausbreitungsverhalten zumindest annähernd bekannt sein. Im Gegensatz zu den Rauchgasquellen sind diese Voraussetzungen hier aber nicht erfüllt:

- Bis heute gibt es keine praktikablen Verfahren, um diffuse Staubemissionen routinemäßig messtechnisch zu erfassen. Die Größenordnung des Staubauswurfes aus diffusen Quellen wird im Rahmen der Emissionserklärung lediglich abgeschätzt oder anhand von Emissionsfaktoren berechnet. Verbesserte Ansätze dazu bietet die VDI-Richtlinie 3790 Blatt 3 „Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen: Lagern, Umschlag und Transport von Schüttgütern“ [19]. Derzeit werden im Rahmen eines LUA-Untersuchungsvorhabens Erfahrungen mit der Anwendung der im Mai 1999 im Weißdruck erschienen Richtlinie gesammelt.

- Die Partikelgrößenverteilung diffus emittierter Stäube unterscheidet sich deutlich von der, die Stäube aus gefassten, mit modernen Staubabscheidern versehenen Quellen aufweisen. Bei Halden und Lagerplätzen wird der Feinanteil im emittierten Staub derzeit mit 40 – 60 % abgeschätzt; Messergebnisse liegen nicht vor.

- Die Simulation der Ausbreitung von Stäuben aus diffusen Quellen in Bodennähe bedarf weitaus komplexerer Modelle als die Transmission von Partikeln aus Punktquellen in großer Höhe. Dafür gibt es bislang keine praktikablen Ansätze.

Nach heutigem Kenntnisstand kann deshalb nicht beurteilt werden, inwieweit der Staub, der von Bunkern und Halden bei Umschlagen, Lagern und Transportieren abgeweht wird, eine erhöhte Feinstaubbelastung in der Umgebung hervorruft. Lediglich anhand gemessener Immissionskonzentrationen können unter Umständen Rückschlüsse auf problematische Emissionen von Bunkern und Halden gezogen werden. Im Zuge verschärfter Immissionsgrenzwerte für Feinstaub erscheint deshalb die Verbesserung der Kenntnisstandes zu Emissionen aus diffusen Quellen und der Minderung geboten. Ein Forschungsvorhaben dazu ist im Abschnitt 3 erwähnt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen: Der mit dem Rauchgas von Kraftwerken freigesetzte Staub, der nahezu vollständig Feinstaub ist, wird überwiegend keine akuten Immissionsbelastungen hervorrufen. Der Beitrag, den diffusen Quellen in Kraftwerken zur Feinstaubbelastung der Umgebung liefern, ist bis dato nicht abschätzbar.

8. Entwicklung und Test eines Impaktors zur Bestimmung von PM10/2,5-Emissionen

Die Partikelgrößenverteilung emittierter Stäube wird mit Impaktoren bestimmt. Dieses Strömungstrennverfahren beruht auf dem Prinzip der Trägheitsabscheidung von Partikeln. Nur so können die PM-Fraktionen, die über den aerodynamischen Durchmesser definiert sind [20], erfasst werden.

Impaktoren beinhalten zumeist mehrere Stufen, auf denen die Partikelklassierung erfolgt. Eine Impaktorstufe besteht aus Düse und Prallplatte; Partikel mit einem entsprechend großen Verhältnis von Massenträgheit und aerodynamischem Widerstand treffen auf die Prallplatte und werden dort abgeschieden.

In der Vergangenheit wurden 6- oder 8-stufige Kaskadenimpaktoren, wie z. B. der Impaktor Anderson Mark 3 benutzt. Ihre Anwendung ist in der VDI Richtlinie 2066, Blatt 5 [21] beschrieben. Diese Impaktoren sind heute jedoch nur noch bedingt geeignet, da der Staubgehalt im Abgas von Anlagen in den letzten Jahren kontinuierlich abgenommen hat. Infolge dessen werden die Messzeiten immer größer, bis auf den einzelnen Prallplatten ausreichende Staubmengen zur gravimetrischen Massenbestimmung abgeschieden sind. Vor diesem Hintergrund wurde ein neuer Impaktor konzipiert und gebaut, mit dem kurze Messzeiten und geringere Wägefehler verwirklicht werden können.

Vorgaben für die Entwicklung eines neuen Impaktors

Ziel war die Entwicklung eines Impaktors, welcher folgende Randbedingungen erfüllen sollte:

- Es sollen nur drei Partikelfraktionen (d_{ae} > 10 µm; 2,5 µm < d_{ae} < 10 µm; d_{ae} < 2,5 µm) abgeschieden werden, sodass sie sicher ausgewogen werden können.
- Die Fraktion > 10 µm sollte ebenfalls abgeschieden werden.
- Die Probenahmedauer sollte auch bei geringen Staubkonzentrationen möglichst klein gehalten werden.
- Der Impaktor sollte aus Titan hergestellt werden.

Als Absaugrate sollte 3 bis 4 m³/h im Betriebszustand angestrebt werden.

Prof. *Fißan* von der Universität Duisburg wurde mit der Berechnung des Impaktors und mit der Fertigung von drei Prototypen beauftragt [22].

Entwicklung des Impaktors

Die Auslegung des Impaktors wurde nach der Theorie von *Marple* durchgeführt. Danach lässt sich der Trenndurchmesser $d(ae)_{50}$ einer Impaktorstufe, d. h. der Durchmesser, bei dem 50 % aller Partikel mit einem entsprechenden aerodynamischen Durchmesser abgeschieden werden, berechnen:

$$d(ae)_{50} = \sqrt{\frac{9\pi\ Stk_{50}\eta\ d_j^3\ N_i}{4C\rho_P\ V}} \qquad (1)$$

mit

Stokeszahl Stk_{50} = 0.24, η: dynamische Viskosität, d_j: Düsendurchmesser, N_i: Düsenanzahl,
C: Slipkorrekturfaktor, Partikeleinheitsdichte ρ_P=1 000 kg/m³, V : Volumenstrom [22].

Neben den konstanten Größen Stokeszahl, Düsendurchmesser, Düsenanzahl und Einheitsdichte (bei den zu messenden Partikeln wird per Definition eine Dichte von 1 000 kg/m³ angesetzt) wird der Trenndurchmesser einer Impaktorstufe außer vom Volumenstrom noch von der dynamischen Viskosität und dem Slipkorrekturfaktor bestimmt, die je nach Abgasbedingungen unterschiedliche Werte annehmen. Die

dynamische Viskosität eines Gasgemisches η ist abhängig von der Temperatur (T) und von der Abgaszusammensetzung.

Die Konstruktion des Impaktors, der den Namen GMU johnas erhielt, erfolgte in enger Anlehnung an den Aufbau des zur Emissionsmessung von Gesamtstaub nach VDI 2066, Blatt 7 [23] verwendeten Planfilterkopfgerätes.

In der Abbildung 7 sind die einzelnen Bauteile des Impaktors zu sehen. Der modulare Aufbau ermöglicht bei Bedarf auch erweiterte Einsatzmöglichkeiten, beispielsweise als Einstufenimpaktor für PM10 oder PM2.5. Weiterhin lassen sich Stufen mit anderen Trenndurchmessern einfügen, z. B. eine zusätzliche PM1-Stufe.

Abbildung 7: Bild des Impaktors, GMU-johnas. Zu beziehen von der Fa. Gothe, Bochum.

Zur gravimetrischen Bestimmung der Staubbeladung werden die Filter, mit denen die beiden Prallplatten belegt sind, sowie das Restteilchenfilter vor und nach der Probenahme konditioniert und gewogen. Im Gegensatz zu handelsüblichen Impaktoren sind sowohl der Restteilchenfilter als auch die Filter der Prallplatten in Filterhaltern eingespannt, die vor Ort schnell komplett gewechselt werden können. Dies bedingt eine Verringerung der Fehlermöglichkeiten. Um auch eine chemische Analytik der Inhaltsstoffe, z. B. in Hinblick auf den Gehalt an Schwermetallen, zu ermöglichen, ist der Betrieb mit blindwertarmen Munktell Quarzfaserfiltern MK 360 vorgesehen, die auch bei Kalibrierung des Impaktors verwendet wurden.

Die Kalibrierung der einzelnen Impaktorstufen erfolgte mit monodispersen Polystyrol-Latex- (PSL-) Partikeln (microparticles, Berlin; Duke Scientific, Palo Alto, Kalifornien, USA). Auf diesem Wege ergaben sich Abscheidekurven, die in den Abbildungen 8 und 9 dargestellt sind. Die ermittelten Kurven stehen in Einklang mit den Ergebnissen, die andere Autoren für unterschiedliche Prallplattenmaterialien fanden.

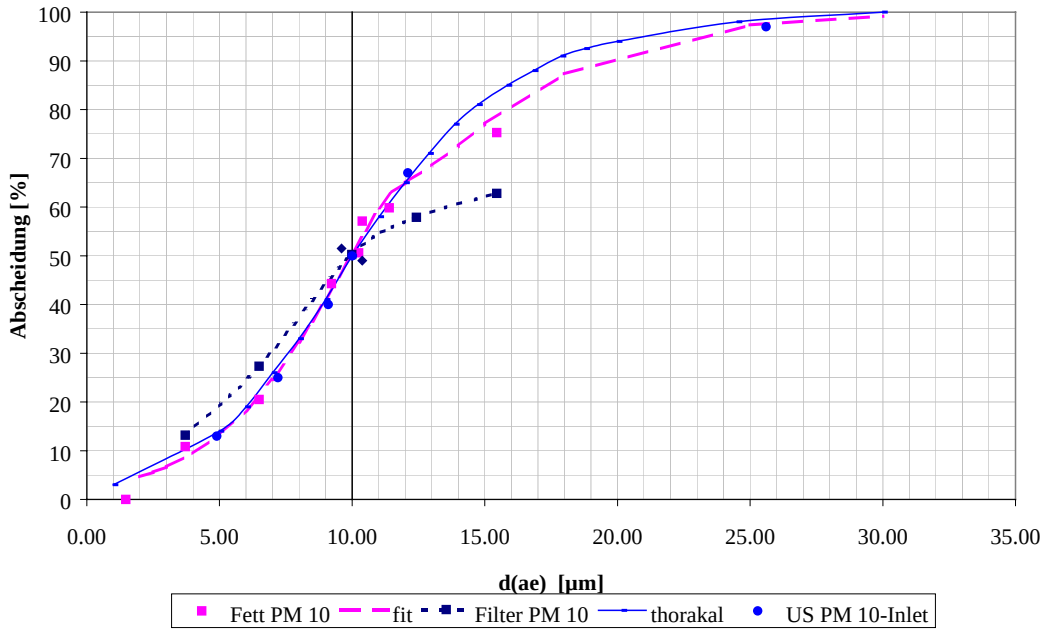

Abbildung 8: Abscheidekurven der 10-µm-Stufe des GMU – PM10/PM2.5-Kaskadenimpaktors, verglichen mit derjenigen des US PM10-Inlets

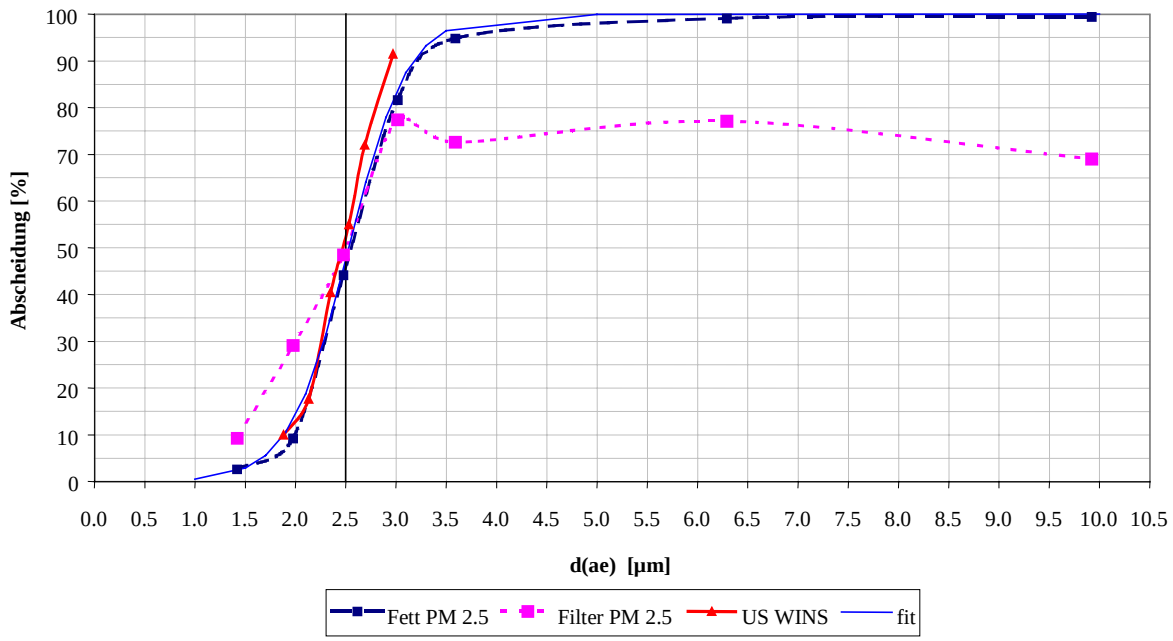

Abbildung 9: Abscheidekurven der 2.5-µm-Stufe des GMU johnas – PM10/PM2.5-Kaskadenimpaktors, verglichen mit derjenigen des US WINS PM2.5-Impaktors

Erste Messungen

Die Leistungsfähigkeit des GMU johnas Impaktors wurde zunächst an der Emissionssimulationsanlage (ESA) der Hessischen Landesanstalt für Umwelt (HLfU) untersucht. In einen Luftsstom von vorgegebener Geschwindigkeit wurde ein Filterstaub aus der dritten Stufe des Elektrofilters eines Braukohlekraftwerkes dosiert. Der Staub wurde vor der Durchführung der Versuche auf seine Partikelzusammensetzung mit folgendem Ergebnis untersucht:

100 % der Partikel sind kleiner 35 µm
11 % der Partikel sind kleiner 35 µm und größer 10 µm
44 % der Partikel sind kleiner 10 µm und größer 2,5 µm
45 % der Partikel sind kleiner 2,5 µm

Bei diesem Analysenverfahren wurde jedoch der Volumendurchmesser [20] bestimmt.

Die Probenahmen an der ESA fanden bei Staubkonzentrationen zwischen 8 und 10 mg/m³ statt. Die Probenahmen erfolgten in der Regel über 30 min isokinetisch.

Zur Ermittlung der Partikelverluste wurde die gesammelten Staubmengen der einzelnen Filterstufen sowie der Staub, der sich im Einlaufkonus abgesetzt hatte, addiert und mit der eingestellten Staubkonzentration an der ESA Anlage verglichen. Die systematischen Minderbefunde lagen im Mittel bei 17 %. Für zusätzliche Untersuchungen wurde Staub aus einer Müllverbrennungsanlage (gemahlene und homogenisierte Rostschlacke) eingesetzt, wobei die Verluste in der gleichen Größenordnung lagen.

Zur Bestimmung der Partikelgrößen wurden für zwölf Proben von Filterstaub aus dem Braunkohlekraftwerk die Massenanteile, gemessen an der gesammelten Gesamtmasse, bestimmt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 6: Massenanteile auf den einzelnen Impaktorstufen (zwölf Probenahmen)

Partikelgrößen x	Mittelwert in %	Standardabweichung in %
x > 10 µm	10,1	2,9
10 µm > x > 2,5µm	53,1	2,1
x < 2,5 µm	36,7	2,4

Weitere Hinweise zur Richtigkeit und Reproduzierbarkeit der Messungen wurden aus zeitgleichen Doppelbestimmungen mit zwei exakt baugleichen GMU johnas -Geräten erhalten. In der Abbildung 10 sind die Ergebnisse für vier Untersuchungen grafisch dargestellt.

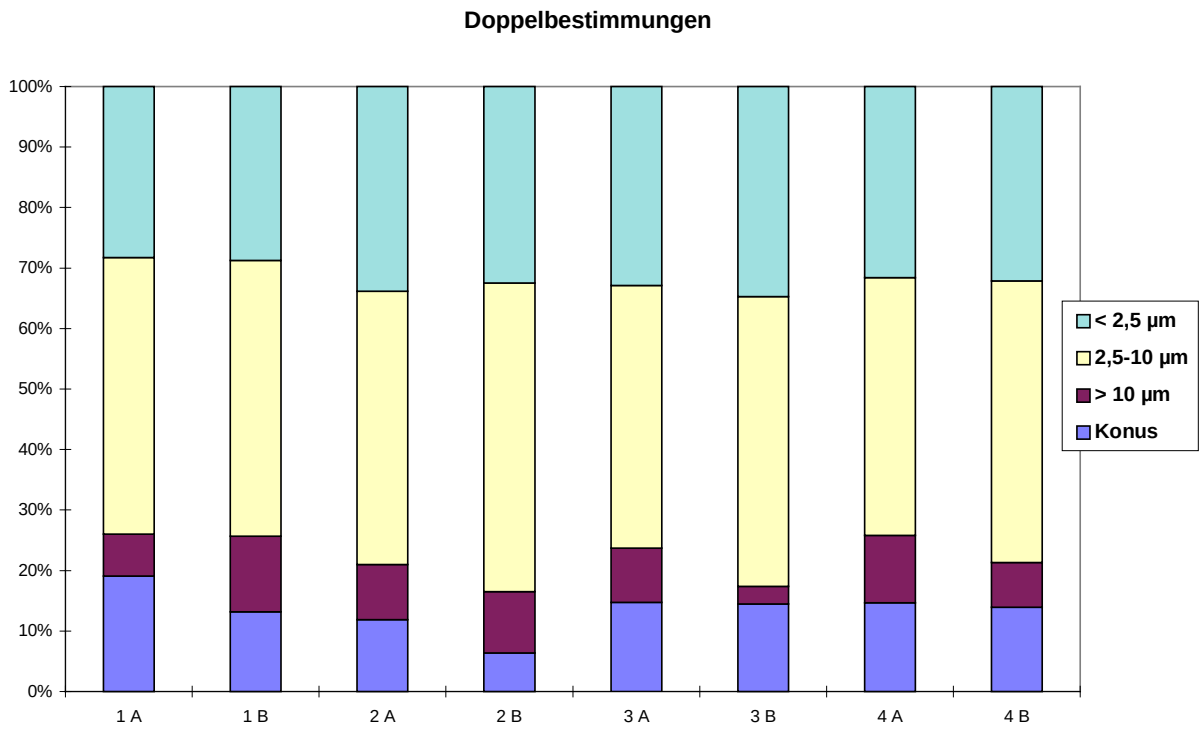

Abbildung 10: Ergebnisse von vier zeitgleichen Doppelbestimmungen mit zwei GMU johnas – Impaktoren (Gerät A und B).

Die Ergebnisse von jeweils parallel genommenen Proben stimmen hinreichend gut überein. Eine zusätzliche Vergleichsmessung zwischen dem Impaktor GMU johnas und dem Impaktor Anderson Mark 3 zeigte ebenfalls befriedigende Übereinstimmungen.

Praxistest

Der Impaktor GMU johnas wurde im Abgas einer Industrieanlage getestet. Es wurden vier zeitgleiche Doppelbestimmungen vorgenommen, deren Ergebnisse in Abbildung 11 dargestellt sind.

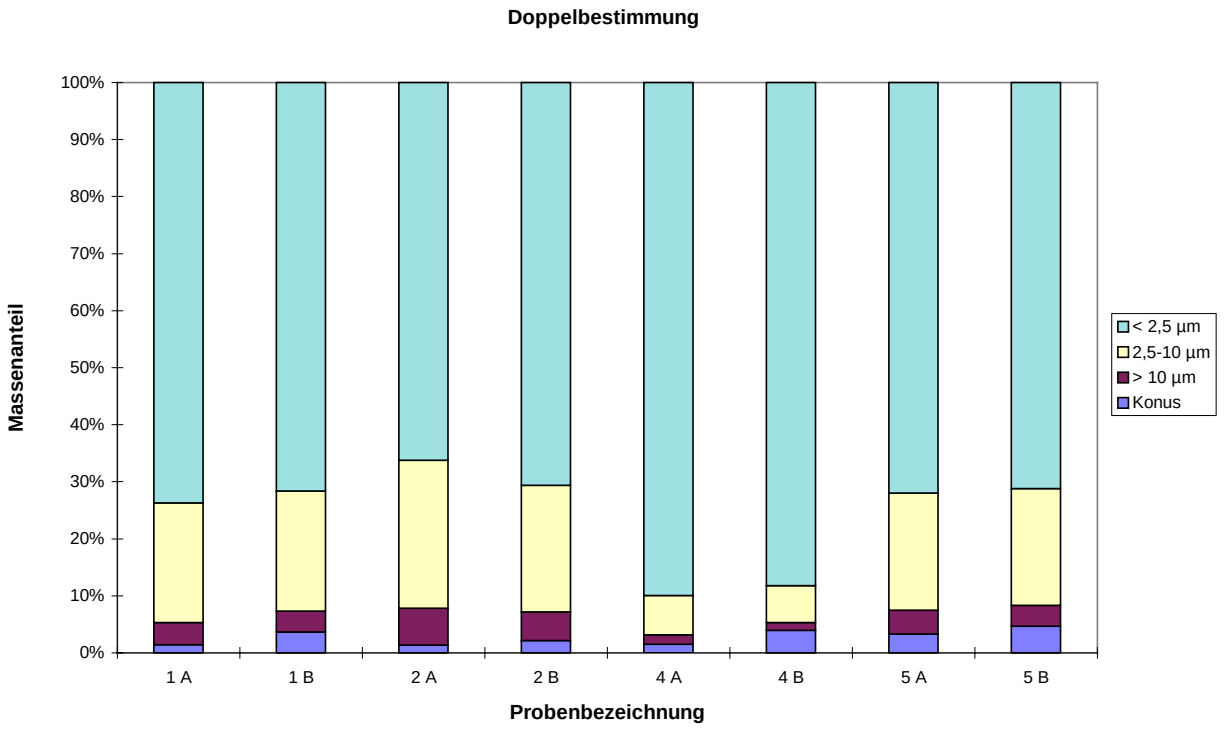

Abbildung 11: Partikelgrößenverteilung im Abgas einer Industrieanlage. Ergebnisse von vier zeitgleichen Doppelbestimmungen.

Auch hier zeigten sich gute Übereinstimmungen zwischen den parallel genommenen Proben. Vergleiche zwischen der Gesamtstaubmessung und dem Impaktor GMU johnas ergaben Verluste in derselben Größenordnung wie bei den Messungen an der ESA. Parallelmessungen zwischen dem Impaktor GMU johnas und dem Impaktor Anderson Mark 3 ergaben ebenfalls befriedigende Übereinstimmungen.

Mit dem Impaktor GMU johnas steht somit ein messtechnisches Instrumentarium zur Verfügung, um in Abgasen mit niedrigen Staubkonzentrationen Partikelgrößenverteilungen zu bestimmen.

9. Zusammenfassung und Ausblick

Mit dieser Dokumentation , die einen Überblick über den Stand aktueller Arbeiten zum Thema Feinstaub in Nordrhein-Westfalen bietet, wird auch erkennbar, welche Aufgaben in der nahen Zukunft auf diesem Gebiet noch zu lösen sind.

Zunächst gilt es, die Kenntnisse über die Emissions- und Immissionssituation auszubauen und zu vertiefen. Die bisher vornehmlich auf Schätzungen beruhenden Daten sind durch Feinstaubmessungen zu validieren. Hierzu gehören Messungen an repräsentativen Anlagen und der Ausbau des Netzes für Immissionsmessungen nach den EU-rechtlichen Vorgaben.

Die Immissionsrelevanz der unterschiedlichen Feinstaubquellen muss geklärt werden, auch hinsichtlich der Vorläufersubstanzen für die sekundäre Bildung von Feinstaub. Ganz wichtig ist es, die Kenntnisse über diffuse Feinstaubquellen zu verbessern. Die zu erwartenden Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte werden von der Luftreinhalteplanung aufgegriffen werden müssen, Maßnahmenpläne werden erforderlich sein und eine wirksame Reduzierung der Emissionen vorbereiten. Welche konkreten Maßnahmen hier zielführend sein werden ist heute noch nicht ausreichend klar erkennbar, vor allem dort, wo heute bereits Umwelttechnik auf hohem Niveau eingesetzt wird. Es ist aber ständige Aufgabe der Hersteller von

Umwelttechnik, der Anlagenbetreiber und der Umweltbehörden diese weiter zu entwickeln und die beste verfügbare Technik im Sinne der IVU-Richtlinie [24] fortzuschreiben und anzuwenden. Hier liegt eine der wichtigsten Aufgaben, die als gemeinsame Herausforderung aller Beteiligten verstanden werden muss.

Referenzen

[1] Dockery, D.W. and C.A. Pope: Acute respiratory effects of particulate air pollution. Am Rev. Public Health 15, 107-132, 1994.

[2] Ambient Air Pollution By Particulate Matter, Position Paper. Commission of the European Communities, Directorate-General XI (Hrsg.), Brüssel, 1997, und dort zitierte Literatur.

[3] Der aerodynamische Durchmesser ist die geeignetste Größe, um das Verhalten luftgetragener Partikel zu beschreiben. Bekanntlich können Teilchen von unterschiedlichster Form und Dichte sein; ihr aerodynamischer Durchmesser aber entspricht demjenigen, den eine Kugel mit einer Dichte von 1g/cm³ haben müsste, damit es die gleiche Sinkgeschwindigkeit aufweisen würde, wie das betrachtete Teilchen.

[4] PM10 Fragen und Antworten zu Eigenschaften, Immissionen und Auswirkungen. BUWAL Umweltmaterialien, Bern (1998).

[5] Richtlinie 1999/30/EG des Rates über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft vom 22.04.1999. Abl. der EG Nr. L163/41 vom 29.06.1999.

[6] Richtlinie 96/62/EG des Rates über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität vom 27.09.1996. Abl. der EG Nr. L296/55 vom 21.11.1996

[7] DIN ISO 7708 Luftbeschaffenheit - Festlegung von Partikelgrößenverteilungen für die gesundheitsbezogene Schwebstaubprobenahme. Genf, 1995.

[8] Hansmann, K.: Die Luftqualitätsrahmenrichtlinie der EG und ihre Umsetzung in deutsches Recht. Natur und Recht 21, 10-16 (1999).

[9] Bruckmann, P.: Die neuen Richtlinien der Europäischen Kommission zur Luftqualität. Immissionsschutz 3, 100-108 (1998).

[10] Niederschrift über die 92. Sitzung des Länderausschusses für Immissionsschutz vom 12.-14. Mai 1997 in Dresden

[11] Niederschrift über die 96. Sitzung des Länderausschusses für Immissionsschutz vom 5.-7. Mai 1999 in Kiel - Anlage zu Punkt A 2.4.1. der Tagesordnung-.

[12] Remus, R.: Neue Anforderungen an Feinstaubemissionen -Entstehung und Quellen-. VDI-Seminar 43-59-11, München im September 1999.

[13] Health Risk of Particulate Matter from Long Range Transboundary Air Pollution WHO, European Centre for Environment and Health, Bilthoven, 19

[14] DIN EN 12341: Ermittlung der PM10-Fraktion von Schwebstaub (März 1999)

[15] Pfeffer, H.-U., Zang, T.: Measurements of TSP, PM10, and PM2.5 at Sites of Different Air Quality in North Rhine-Westphalia (Germany)
Conference "Air Quality in Europe", Venice 19-21 May 1999, Short Paper Book, p 47

[16] Kuhlbusch, T.A.J., John, A.C., Fissan, H., Schmidt, K.-G., Schmidt , F., Pfeffer, H.-U., Gladtke, D.: PM10 and PM2.5 mass concentration, chemical composition, and size distribution measurements at three different sites in the Ruhr-area, Germany
J. Aerosol Sci. Vol.30, Suppl. 1, pp. S45-S46, 1(999).

[17] 4. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
(Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV) vom
24.07.1985 (BGBl.I S. 1585)/Stand 23.02.1999 (BGBl. I S. 189)

[18] LIS-Bericht Nr. 76: Eine vereinfachte Methode zur Immissionssimulation, S. 34

[19] VDI-Richtlinie 3790, Blatt 3: Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen: Lagern, Umschlag und Transport von Schüttgütern (Mai 1999)

[20] VDI Richtl. 3491 Blatt 1: Kennzeichnung von Partikeldispersionen in Gasen, Begriffe und Definitionen" (Sept. 1980)

[21] VDI Richtlinie 2066, Blatt 5: Messen von Partikeln, Staubmessung in strömenden Gasen, fraktionierende Staubmessung nach dem Impaktionsverfahren - Kaskadenimpaktor (Nov. 1994)

[22] John, A.C., Kuhlenbusch, T.A.J., Fißan, H., Bröker, G., Geueke, K.-J.: Entwicklung eines PM10/2,5-Kaskadenimpaktors zur Messung der Emission von Feinstäuben; Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft 59 (1999) Nr. 11/12, S. 449-453.
[23] VDI Richtlinie 2066, Blatt 7: Messen von Partikeln, Staubmessung in strömenden Gasen, gravimetrische Bestimmung geringer Staubgehalte - Planfilterkopfgeräte (Aug. 1993)
[24] Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24.September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung.

.

Inhaltsverzeichnis