



# Lufthygienischer Jahresbericht 2006

## Teil II: Staub und Staubinhaltsstoffe

### Einleitung

Bisher befasste sich der Lufthygienische Jahresbericht mit den gasförmigen Luftschadstoffen und den Partikeln (PM<sub>10</sub>), die mit den ortsfesten Messstationen des Luftmessnetzes Hessen kontinuierlich gemessen werden. Der vorliegende Bericht ergänzt nun den Lufthygienischen Jahresbericht um die Ergebnisse der beiden hessischen Messnetze für Schwebstaub/Partikel und für die Deposition; der Schwerpunkt beider Messprogramme liegt auf der Ermittlung der Staubinhaltsstoffe wie z. B. den Schwermetallen. Wie auch im eingangs erwähnten Luftmessnetz Hessen ist die Grundlage der Schwebstaubmessung die Probenahme der Partikelfraktion PM<sub>10</sub>; damit wird der sogenannte Feinstaub erfasst, der sich aus den in der Atmosphäre verteilten Partikeln mit einem Durchmesser kleiner als 10 µm (entsprechend einem Hundertstelmillimeter) zusammensetzt.

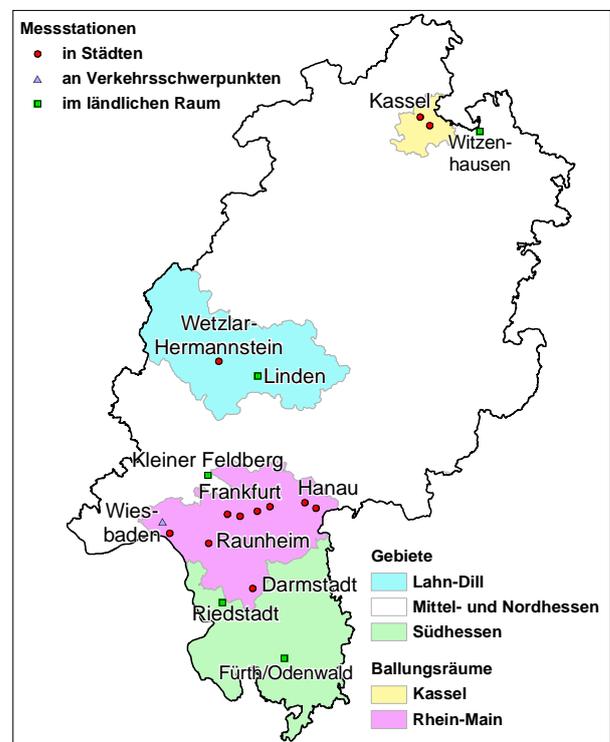
Die Programme dienen der Umsetzung der 22. BImSchV [2] und der 4. EG-Tochterrichtlinie (4.TRL) [5] sowie der Ermittlung von Basisdaten für die Beurteilung der Vorbelastung im Rahmen von Genehmigungsverfahren. Vorgaben für die Beurteilung der lufthygienischen Belastungssituation durch Inhaltsstoffe des Schwebstaubes enthalten die 4. EG-Tochterrichtlinie mit ihren Zielwerten für einige Schwermetalle und das Benzo(a)pyren und die 22. BImSchV, die inzwischen die Zielwerte der 4. TRL übernommen hat. Als Beurteilungsgrundlagen für den Staubbiederschlag (Gesamtdeposition) und einige Schwermetalle als Bestandteile der Gesamtdeposition können die Immissionswerte der TA Luft [3] herangezogen werden.

### Schwebstaubmessprogramm

In Hessen werden Schwebstaubimmissionsmessungen seit 1976 fortlaufend durchgeführt. Die Verpflichtung zur landesweiten Immissionsüberwachung ergibt sich aus den EG-Luftqualitätsrichtlinien [4, 5, 6], die durch das Bundes-Immissionsschutzgesetz [1] und dessen Verordnungen in deutsches Recht umgesetzt wurden. Zur Überwachung der Immissionssituation in Hessen betreibt

das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie neben dem kontinuierlich messenden Luftmessnetz ein landesweit ausgerichtetes Messnetz zur Erfassung der Immissionsbelastung durch Inhaltsstoffe des Schweb- bzw. Feinstaubes. Die Standorte der diskontinuierlich arbeitenden Probenahmegeräte sind der Abbildung 1 zu entnehmen. Die Standorte sind so gewählt, dass sowohl eine Überwachung der Immissionsschwerpunkte als auch der Hintergrundbelastung in den Ballungsräumen und im ländlichen Raum gewährleistet ist. Bis zum Jahr 2006 wurden an 18 Punkten Probenahmegeräte zur Ermittlung der Feinstaubkonzentration (PM<sub>10</sub>) und des Schwermetallgehalts im Schwebstaub betrieben. Davon liegen 12 Stationen in Städten, 5 im ländlichen Raum und 1 Station an einem Verkehrsschwerpunkt.

Abbildung 1: Probenahmestellen des Schwebstaubmessnetzes



Nähere Angaben über die geografische Lage und den Standortcharakter der Stationen sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

**Tabelle 1:** Standorte der Schwebstaubprobenahmestellen

	Stationsname	RW	HW	H. ü. NN	Längengrad	Breitengrad	Standortcharakter
●	Darmstadt	34760	55262	157 m	8°39'55"	49°52'23"	Innenstadt, Wohnbezirk
●	Ffm.-Griesheim	34717	55511	95 m	8°36'17"	50°05'48"	Innenstadt, Mischgebiet
●	Ffm.-Höchst	34673	55518	101 m	8°32'31"	50°06'10"	Innenstadt, Industrie
●	Ffm.-Mitte	34775	55529	120 m	8°41'6"	50°06'46"	Innenstadt, Wohnbezirk
●	Ffm.-Ost	34820	55544	102 m	8°44'54"	50°07'36"	Industrie, verkehrsnah
■	Fürth/Odenwald	34868	55017	475 m	8°48'59"	49°39'11"	Wald, Mittelgebirge
●	Hanau-Mitte	34948	55548	105 m	8°55'39"	50°07'51"	Innenstadt, Industrie
●	Hanau-Wolfgang	34971	55540	110 m	8°57'35"	50°07'23"	Wohngebiet, industrienah
●	Kassel-Bettenhausen	35369	56866	160 m	9°31'45"	51°18'50"	Industrie, stadtnah
●	Kassel-Nord	35336	56896	169 m	9°28'56"	51°20'29"	Industrie, verkehrsnah
■	Kleiner Feldberg	34606	55652	810 m	8°26'28"	50°13'29"	Mittelgebirge, Kuppenlage
■	Linden-Leihgestern	34778	55997	173 m	8°41'12"	50°32'01"	Dauergrünland
●	Raunheim	34608	55417	90 m	8°27'09"	50°00'39"	Innenstadt, Wohnbezirk
■	Riedstadt	34655	55211	89 m	8°31'01"	49°49'34"	ländlich
●	Wetzlar-Hermannstein	34643	56048	175 m	8°17'40"	50°20'40"	Wohngebiet, Industrie
▲	Wiesbaden-Ringkirche	34450	55493	140 m	8°13'53"	50°04'42"	Innenstadt, Straßenkreuzung
●	Wiesbaden-Süd	34460	55463	130 m	8°14'45"	50°03'06"	Wohnbezirk, industrienah
■	Witzenhausen	35541	56845	600 m	9°46'32"	51°17'36"	Wald, Mittelgebirge

**Abkürzungen:**

**RW:** Rechtswert (Gauß-Krüger)

**HW:** Hochwert (Gauß-Krüger)

**H. ü. NN:** Höhe über Normalnull

● in Städten

▲ am Verkehrsschwerpunkt

■ im ländlichen Raum

Die im Rahmen dieses Programms gesammelten Staubproben werden auf folgende Komponenten untersucht: Feinstaub (PM10), Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Nickel (Ni) sowie ferner die Elemente Kobalt (Co), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Eisen (Fe), Mangan (Mn), Antimon (Sb) und Vanadium (V). Die Komponenten, für die ein Immissionswert vorgegeben ist, werden in diesem Bericht beschrieben und die Messdaten für das Jahr 2006 ausgewertet. Diese sind: Feinstaub (PM10), Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd) und Nickel (Ni). Tabelle 2 zeigt den Messbeginn für die Stoffe, für welche ein Immissionswert vorliegt.

**Atmosphärischer Staub**

Unter Schwebstaub versteht man in Abgrenzung zu groben Partikeln des Staubbiederschlags die Aerosolkomponente der in der Luft vorhandenen

Partikel bis zu einem oberen aerodynamischen Durchmesser von rund 30 µm. Der Schwebstaub umfasst nur die weitgehend homogen in der Außenluft dispergierten Partikel (siehe auch VDI-Richtlinie 2463, Blatt 1). Die Größe der Partikel und ihre chemische Zusammensetzung bestimmen die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Schwebstaubes. Der Durchmesser der in der Atmosphäre vorkommenden Partikel reicht von einigen Nanometern (nm oder milliardstel Meter) bis zu etwa 100 Mikrometer (µm oder millionstel Meter). Teilchen mit Durchmessern größer 0,1 µm können durch ihren aerodynamischen Durchmesser (d<sub>ae</sub>) beschrieben werden. Dieser Durchmesser eines Teilchens beliebiger Form, chemischer Zusammensetzung und Dichte ist gleich dem Durchmesser einer Kugel mit der Dichte von einem Gramm pro Kubikzentimeter (1 g/cm<sup>3</sup>), welche in

ruhender oder wirbelfrei strömender Luft dieselbe Sinkgeschwindigkeit hat wie das betrachtete Teilchen.

In der 22. Verordnung zum Bundes-Immissionschutzgesetz (22. BImSchV) wird der Begriff „Partikel“ eingeführt, und es werden u. a. Grenzwerte (für den Gesundheitsschutz) für die Partikelfraktion PM10 vorgeschrieben (siehe auch Kapitel „Grenz- und Zielwerte für Schwebstaub und dessen Inhaltsstoffe“). Die Partikelfraktion PM10 fasst die Teilchen mit einem aerodynamischen Durchmesser  $< 10 \mu\text{m}$  zusammen.

Inzwischen hat sich für diese Partikelfraktion auch der Begriff „Feinstaub“ eingebürgert. Die formal korrekte Definition für PM10 lautet: PM10 sind die Partikel, die einen gröbselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von  $10 \mu\text{m}$  einen Abscheidegrad von 50 Prozent aufweist.

Partikel bis zu einem Durchmesser von etwa  $20 \mu\text{m}$  verteilen sich in der Atmosphäre wie Gase und werden auch entsprechend mit den Luftströmungen in der Atmosphäre transportiert. Partikel dieser Größe haben keine eigene Sinkgeschwindigkeit und werden z. B. durch Niederschlag oder dadurch, dass sie sich an größere Teilchen oder an Oberflächen (z. B. von Blättern) anlagern, wieder aus der Atmosphäre entfernt. Größere (schwerere) Teilchen sinken aufgrund ihrer Masse selbstständig zu Boden und bleiben entsprechend kurz in der Atmosphäre (siehe auch Kapitel „Staubniederschlagsmessprogramm“).

### Diskontinuierliches Probenahmeverfahren für Schwebstaub

Das Schwebstaubprobenahmegerät saugt während der Probenahme 24 Stunden lang Umgebungsluft durch einen Filter, wobei sich die in der Luft enthaltenen Partikel auf dem Filter abscheiden. Pro Woche werden auf diese Weise drei Schwebstaubproben genommen. Anschließend wird durch Wägung der Filter die Schwebstaubkonzentration in der Luft bestimmt. Die gravimetrische Staubkonzentrationsbestimmung stellt ein direktes und somit besonders zuverlässiges Staubmessverfahren dar.

Ein Teil der Proben (in der Regel 5 Proben im Monat) wird auf Schwermetalle als Bestandteile des Schwebstaubs untersucht. Hierzu wird die auf dem Filter abgeschiedene Staubmasse auf einzelne Schwermetalle analysiert. Das Schwebstaubmessnetz dient hauptsächlich der Immissionsüberwachung von Schwermetallen und auch der Doku-

mentation der Langzeitentwicklung (Trend) der Staubimmissionsbelastung.

Bis zum Jahr 2000 wurde mit dem gravimetrischen Verfahren der sogenannte Gesamtstaub (TSP, Total Suspended Particulate Matter) erfasst. Ab 2001 wurde das Probenahmernetz auf PM10 umgestellt. Zu diesem Zweck wurden die Probenahmegeräte mit neuen Vorabscheidern ausgerüstet, mit denen erreicht wird, dass die Staubfraktion PM10 zur Messung gelangt (siehe auch die Definition von PM10 im vorhergehenden Kapitel).

Da die Auswertung der Staubfilterproben aufgrund der notwendigen Laborarbeiten mehrere Tage in Anspruch nimmt, dienen die Ergebnisse der diskontinuierlichen Probenahmeverfahren nicht der aktuellen Information der Bevölkerung. Die aktuell eine Stunde nach der Messung veröffentlichten Daten (Internet, Videotext, Infotelefon) bauen auf den Ergebnissen des kontinuierlich messenden Luftmessnetzes Hessen auf.

### Grenz- und Zielwerte für Schwebstaub und dessen Inhaltsstoffe

Die 22. Verordnung zum Bundes-Immissionschutzgesetz (22. BImSchV) schreibt für Partikel und für Blei Grenzwerte für den Gesundheitsschutz vor.

Für die Schwermetalle Arsen, Cadmium und Nickel schreibt die 4. TRL Zielwerte vor, die im Jahre 2007 in die 22. BImSchV übernommen wurden.

Im Gegensatz zu den Immissionsgrenzwerten für den Gesundheitsschutz, deren Einhaltung sofort zu gewährleisten ist, ist ein Zielwert die nach Möglichkeit in einem bestimmten Zeitraum zu erreichende Immissionskonzentration, die mit dem Ziel festgelegt wird, die schädlichen Einflüsse auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt insgesamt zu vermeiden, zu verhindern oder zu verringern.

In Tabelle 3 sind die für den Schwebstaub und die Elemente Arsen, Blei, Cadmium und Nickel vorgeschriebenen Grenz- und Zielwerte zusammengefasst. Dabei sind die Schwermetallgehalte als Gesamtgehalt dieser Elemente und Verbindungen in der PM10-Fraktion zu ermitteln und zu beurteilen. In der Tabelle 4 sind die Schwebstaub-/Schwermetallmessergebnisse des Jahres 2006 zusammenfassend dargestellt.

Die aufgeführten Jahresmittelwerte der PM10-Konzentration zeigen eine Struktur mit höheren Belastungen im innerstädtischen Bereich und niedrigeren Werten im ländlichen Raum. Die Maximalbelastung wird erwartungsgemäß am Verkehrsschwerpunkt „Wiesbaden-Ringkirche“ erreicht.



**Tabelle 4:** Jahresmittelwerte des Schwebstaubes (PM10) und dessen Inhaltsstoffe im Messjahr 2006

	Stationsname	Feinstaub (PM10)	Arsen	Blei	Cadmium	Nickel
		[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	[ $\text{ng}/\text{m}^3$ ]	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	[ $\text{ng}/\text{m}^3$ ]	[ $\text{ng}/\text{m}^3$ ]
○	Darmstadt	24	0,8	0,008	0,2	1,0
○	Ffm.-Griesheim	28	0,7	0,009	0,4	1,1
○	Ffm.-Höchst	28	0,7	0,009	0,2	1,3
○	Ffm.-Mitte	27	0,6	0,010	0,3	1,4
○	Ffm.-Ost	26	0,9	0,009	0,2	1,6
■	Fürth/Odenwald	18	0,7	0,006	0,1	0,7
○	Hanau-Mitte	24	0,7	0,009	0,2	2,4
○	Hanau-Wolfgang	24	0,7	0,007	0,3	1,3
○	Kassel-Bettenhausen	26	0,7	0,007	0,2	1,6
○	Kassel-Nord	26	0,8	0,008	0,2	1,5
■	Kleiner Feldberg	13	0,4	0,004	0,1	0,6
■	Linden-Leihgestern	22	0,6	0,008	0,2	1,2
○	Raunheim	26	0,6	0,008	0,2	1,3
■	Riedstadt	25	0,8	0,008	0,2	1,0
○	Wetzlar-Hermannstein	27	1,3	0,027	0,6	6,8
▲	Wiesbaden-Ringkirche	32	0,9	0,010	0,2	1,6
○	Wiesbaden-Süd	26	1,0	0,009	0,2	1,2
■	Witzenhausen	15	0,5	0,004	0,1	0,7

○ in Städten

▲ am Verkehrsschwerpunkt

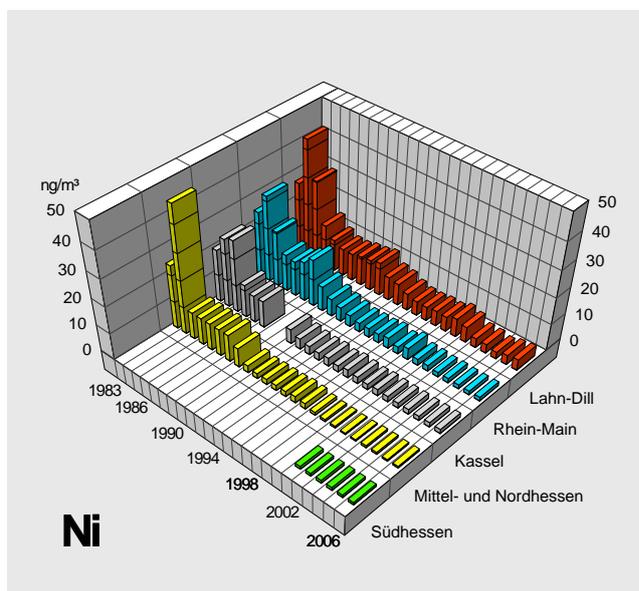
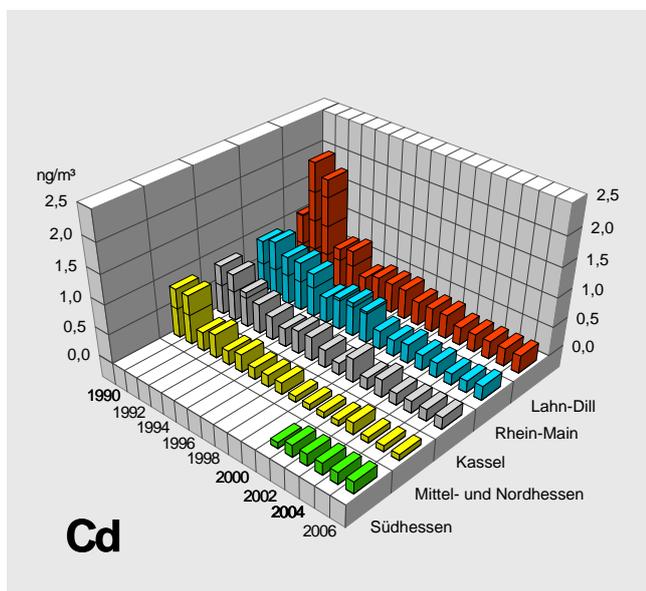
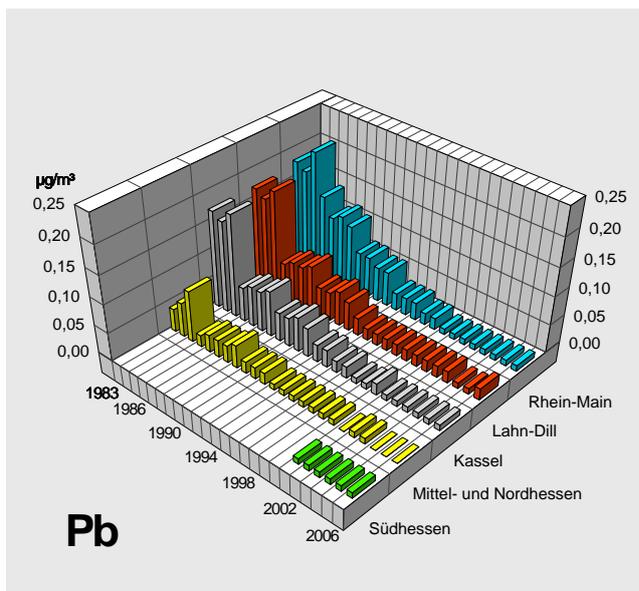
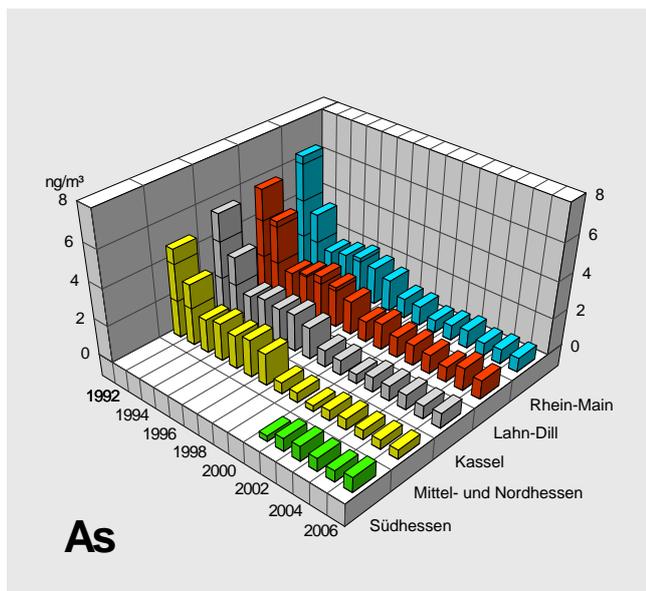
■ im ländlichen Raum

Aufgrund der geringeren Abdeckung des Jahreszeitraumes (mit 121 Proben, nur etwa 30 % der im Jahr möglichen Tagesmittelwerte) wird auf eine Beurteilung der ermittelten PM10-Belastung anhand vorgeschriebener Grenzwerte wie auch auf die Darstellung von Langzeittrends der PM10-Immissionsbelastung verzichtet. Diese Beurteilung wird auf Basis der im kontinuierlich messenden Luftmessnetz erhobenen Daten vorgenommen (siehe Lufthygienischer Jahresbericht 2006).

Für die Berechnung der Jahresmittelwerte der Schwermetallkonzentration stehen im Jahr 60 Werte (entsprechend 5 im Monat) pro Station zur Verfügung. Im Probenahmeplan wurde eine gleichmäßige Verteilung der Probenahmetage über die Wochentage und das Jahr festgelegt. Die Probenzahl reicht für die Beurteilung der Schwerme-

tallbelastung aus, da die für die genannten Elemente in der 22. BImSchV jeweils vorgeschriebenen unteren Beurteilungsschwellen deutlich unterschritten werden. Abbildung 2 stellt die langfristigen Trends der Immissionsbelastung für die Metalle dar, für die in der 22. BImSchV Grenzwerte (Blei) und Zielwerte (Arsen, Cadmium und Nickel) vorgeschrieben werden. Die unterschiedlichen Anfangszeitpunkte der Trendkurven haben ihren Grund darin, dass die Probenahme und auch die Analysenverfahren stufenweise so verbessert werden konnten, dass schließlich ab dem Jahr 1990 die Verfahrensqualität für die Cadmiummessung und ab 1992 auch für die Bestimmung von Arsen ausreichte, um für die Ermittlung des Konzentrationstrends in der Außenluft belastbare Ergebnisse angeben zu können.

**Abbildung 2:** Zeitreihe der Gebietsjahresmittelwerte (Schwermetalle als Bestandteile des Schwebstaubs)



Ballungsraum I: Rhein-Main	Darmstadt, Ffm.-Griesheim, Ffm.-Höchst, Ffm.-Mitte, Ffm.-Ost, Hanau-Mitte, Hanau-Wolfgang, Raunheim, Wiesbaden-Ringkirche, Wiesbaden-Süd
Ballungsraum II: Kassel	Kassel-Bettenhausen, Kassel-Nord
Gebiet I: Südhessen	Riedstadt, Fürth im Odenwald (Beginn der Messungen erst ab 2003)
Gebiet II: Lahn-Dill	Linden-Leihgestern, Wetzlar-Hermannstein
Gebiet III: Mittel- und Nordhessen	Kleiner Feldberg, Witzenhausen

Wie aus Tabelle 4 und Abbildung 2 zu erkennen ist, werden der Grenzwert für Blei und auch die Zielwerte bei Arsen, Cadmium und Nickel (22. BImSchV, 4. TRL)[2,5], die bis 2012 erreicht werden sollen, bereits heute deutlich unterschritten. Im Allgemeinen geht die Schwermetallbelastung seit Messbeginn bis 2006 zurück. Das Belastungsniveau ist in den Gebieten Mittel- und Nordhes-

sen sowie in Südhessen geringer als in den Ballungsräumen Rhein-Main und Kassel sowie im Gebiet Lahn-Dill. Während die Immissionsituation in den beiden erstgenannten Gebieten überwiegend durch den ländlichen Raum geprägt ist, spielen in den Ballungsräumen Emissionsquellen aus den Bereichen Straßenverkehr, Feuerungsanlagen und Industrie eine bedeutendere Rolle. Dies

zeigt sich insbesondere auch im Gebiet Lahn-Dill, wo die Immissionssituation auch den Einfluss der dort vorhandenen Schwerindustrie widerspiegelt. Im Einzelnen folgen Erläuterungen zu den Ergebnissen:

**Arsen:** Aufgrund von Blindwertproblemen mit dem Filtermaterial können erst nach dem Wechsel von Glasfaser- auf Quarzfaser- und später auf Cellulosenitratfilter ab dem Jahr 1992 Arsenkonzentrationswerte veröffentlicht werden. Ab 1993 liegen die Arsenkonzentrationswerte unterhalb des Zielwertes von  $6 \text{ ng/m}^3$  und erreichen im Jahr 2006 in allen Gebieten nur noch maximal 22 % des Zielwertes.

**Blei:** Das im Schwebstaub enthaltene Blei wird seit 1983 erfasst. Bereits damals wurde der heute vorgeschriebene Grenzwert von  $0,5 \mu\text{g/m}^3$  deutlich unterschritten. Der Rückgang der Bleibelastung ist eine Folge der stufenweisen Reduzierung des Bleigehaltes im Benzin durch das Benzin-Blei-Gesetz [7] und die entsprechende EG-Richtlinie [8].

**Cadmium:** Auch der Cadmiumgehalt im Schwebstaub wurde seit 1983 regelmäßig ermittelt. Allerdings erreichte wie bei Arsen das Messverfahren erst Anfang der 90er Jahre eine Qualität, die es erlaubte, das Verfahren für die Ermittlung von Trends in der Außenluft einzusetzen. Die Werte liegen deutlich unterhalb des Zielwertes von  $5 \text{ ng/m}^3$  und verändern sich in den letzten fünf Jahren kaum noch. Trotz der in allen Messgebieten niedrigen Konzentrationen ist noch bis heute die Einwirkung von Cadmium emittierenden Anlagen aus der Metall verarbeitenden Industrie im Raum Hanau und Wetzlar auf das Konzentrationsniveau zu erkennen.

**Nickel:** Wie bei den drei anderen Metallen wird durch die Messergebnisse auch bei Nickel seit 1983 ein deutlicher Konzentrationsrückgang belegt. Der vorgeschriebene Zielwert von  $20 \text{ ng/m}^3$  wird von den Gebietsmittelwerten (Abb. 2) im Jahr 2006 wie auch in den Vorjahren ab 1986 nicht mehr überschritten. Die Konzentrationswerte zeigen in den letzten fünf Jahren in den einzelnen Messgebieten kaum Schwankungen.

Die Immissionsbelastung durch Schwermetalle als Bestandteile des Schwebstaubs ist zusammenfassend so zu charakterisieren, dass die Zielwerte sicher eingehalten sind, auch wenn im Einzelfall insbesondere im Einwirkungsbereich Metall verarbeitender Betriebe der immissionsseitige Einfluss der Schwermetallemissionen noch zu erkennen ist.

## Staubniederschlagsmessprogramm

Staubniederschlag wird in Hessen seit 1969 gemessen und wurde früher flächenbezogen ( $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$  Rasterflächen) ausgewertet. Den Ergebnissen liegen Monatsproben zu Grunde. Mit der Neufassung der TA Luft vom 24. Juli 2002 [3] wurde für das hessische Staubniederschlagsmessprogramm die Messpunkt bezogene Auswertung eingeführt. Hierzu werden aus allen 12 Messwerten (Monatsmittelwerte) an einem Messpunkt Jahresmittelwerte gebildet. Durch die Betrachtung der einzelnen Messpunkte kommen lokale Einflüsse viel stärker als bei der flächenbezogenen Betrachtung zur Geltung. In Abbildung 3 sind die Bereiche von Hessen, in denen Staubniederschlagsmessungen durchgeführt werden, dargestellt. Die Abbildung zeigt zunächst in einem Ausschnitt die geographische Lage der unterschiedlichen Messgebiete in Hessen. Weiterhin sind dort auch die Messraster (Maschenweite:  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ ) in den einzelnen Messgebieten detailliert eingetragen. Ergänzende Angaben zu den Messgebieten können Tabelle 5 entnommen werden.

### Definition von Staubniederschlag

Als Staubniederschlag wird die Summe der Stoffe bezeichnet, die sich als trockene und nasse Deposition aus der Atmosphäre auf Oberflächen wie Boden, Pflanzen, Gebäude oder Gewässer niederschlagen. Im Gegensatz zum Schwebstaub gelangt der Staubniederschlag mit seinen Inhaltsstoffen aufgrund der Partikelgröße nicht in die menschliche Lunge, sondern trifft auf den Boden oder auf Pflanzen und kommt von dort möglicherweise über das Grundwasser oder über pflanzliche Lebensmittel in die Nahrungskette. Auch ist nicht auszuschließen, dass Kinder beim Spielen durch den Eintrag aus der Atmosphäre verunreinigte Erde in den Mund nehmen.

### Probenahmeverfahren für Staubniederschlag

Bei der Staubniederschlagsmessung nach Bergerhoff wird die Gesamtdosition (trocken und feucht) erfasst. Zur Messung gelangt hierbei über einen Monat durch eine normierte Auffangfläche (Glasöffnung) in das Bergerhoffglas niedergelagene (sedimentierte) Masse, die im Wesentlichen durch die trockene Deposition bestimmt wird. Theoretisch fallen also 12 Proben pro Jahr und Messstelle an. Diese Sollzahl wird allerdings nicht immer erreicht, da — bedingt durch Glas-

bruch, Entwendung der Messgefäße oder sichtbare Verunreinigung der Proben — einzelne Messwerte vollständig fehlen oder als nicht vertrauenswürdig gestrichen werden müssen. Ab 1989 wurden die Schwermetalle Antimon (Sb), Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Kobalt (Co), Chrom (Cr), Eisen (Fe), Nickel (Ni) und Vanadium (V) gemessen. Kupfer (Cu), Mangan (Mn), Molybdän (Mo), Platin (Pt), Rhodium (Rh), Titan (Ti), Wolfram (W) und Zink (Zn) ergänzten die Analysenpalette ab 1994. Zuletzt wurde Thallium (Tl) ab 1997 in die Komponentenliste aufgenommen. 2005 wurde das Komponentenspektrum auf Staub, Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Eisen, Nickel, Vanadium, Kupfer, Mangan und Thallium reduziert. Für die Bestimmung der gemessenen Schwermetalle werden die Monatsproben zu Jahresproben zusammengefasst, da die Immissionswerte für Schwermetalle als Bestandteile des Staubniederschlags nur als Langzeitwerte, also Jahresmittelwerte definiert sind. Hierzu werden pro Messstelle und Jahr aus den Monatsproben zwei Sammelproben gebildet, indem jeweils die Proben für die geraden und ungeraden Monate vereinigt werden. Der Jahresmittelwert der Schwermetallniederschlagsrate wird aus den Analyseergebnissen dieser beiden Proben berechnet.

## Immissionswerte für Staubniederschlag

Für die Bewertung der Schwermetallniederschlagsraten werden die Immissionswerte aus der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) [3] herangezogen, wobei der Beurteilung der Immissionsbelastung in diesem Bericht für alle Messjahre die Immissionswerte der neuen Fassung der TA Luft vom Oktober 2002 zugrunde liegen (siehe Tabelle 6).

## Staubniederschlagsmesswerte des Jahres 2006

Tabelle 7 stellt die Ergebnisse des Staubniederschlagsmessprogramms für das Jahr 2006 zusammen. Die Gebietsmittelwerte stützen sich dabei auf alle Messpunkte des jeweiligen Gebietes, wobei der Auswertung für den Staubniederschlag prinzipiell 12 Monatswerte pro Messpunkt zugrunde liegen. Für die Schwermetalle wurden die Analyseergebnisse der zwei Sammelproben für die geraden und die ungeraden Monate zu

einem Jahresmittelwert pro Messpunkt zusammengefasst.

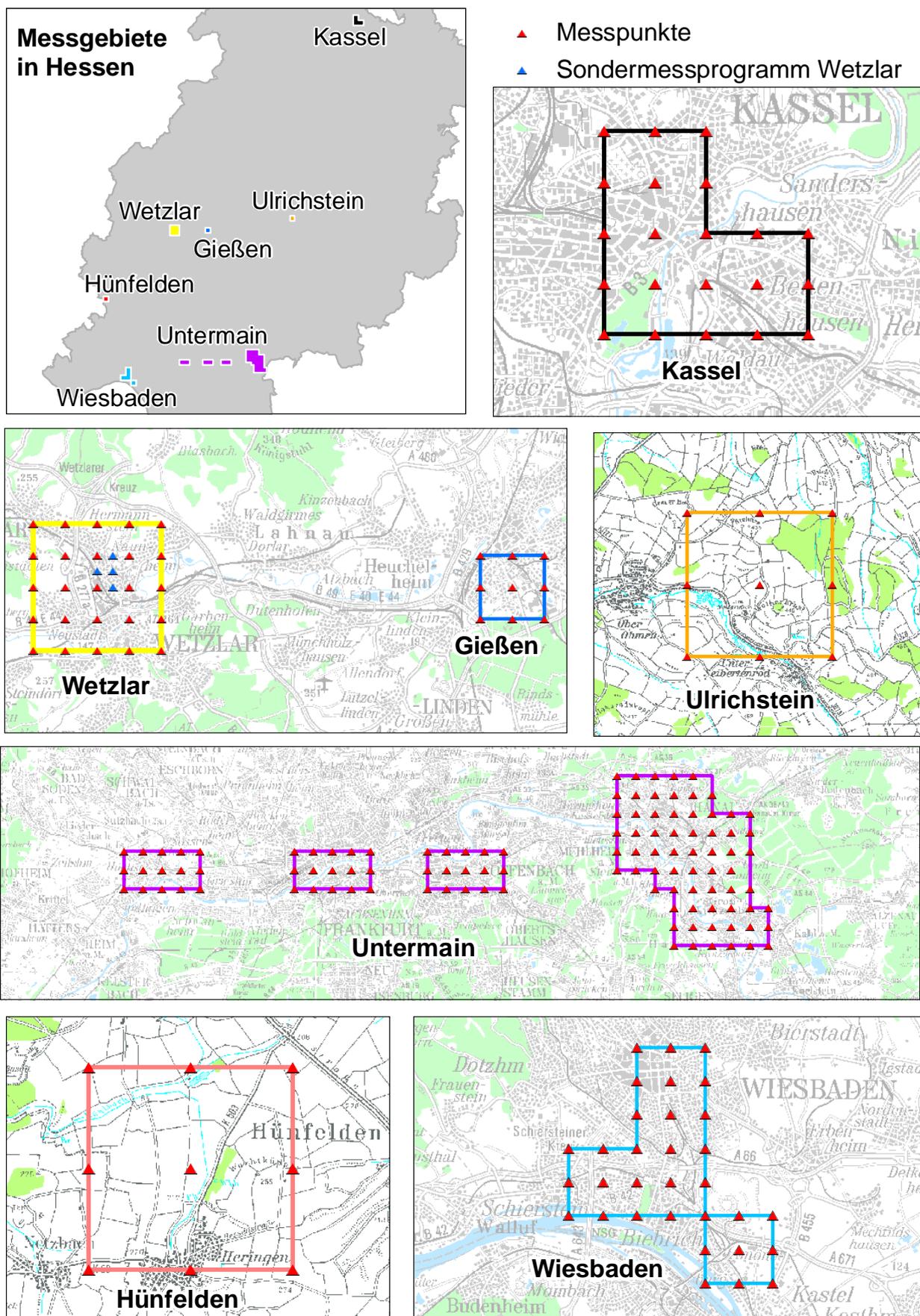
Abbildung 4 beschreibt die zeitliche Entwicklung der Depositionsraten für Staubniederschlag und die oben genannten Schwermetalle im Zeitraum von 1996 bis einschließlich 2006. Thallium wurde in diese Darstellung nicht mit aufgenommen, da die Nachweisgrenze des angewendeten Verfahrens nicht ausreichte, um eine sinnvolle Trenddarstellung für Thallium zu erarbeiten.

Nachfolgend werden die Ergebnisse aus den hessischen Staubniederschlagsmessgebieten für die Messjahre 1996 bis 2006 zusammenfassend dargestellt und beschrieben. Wie oben bereits erläutert wird die Immissionsituation auf Basis der in der TA Luft vom Oktober 2002 [3] auch für einige Schwermetalle vorgeschriebenen Immissionswerte beurteilt (Arsen, Blei, Cadmium, Nickel und Thallium). Quecksilber wurde nicht analysiert, da für dieses Element das Probenahmeverfahren noch weiterentwickelt werden muss, um plausible Ergebnisse zu erhalten.

Im Bereich Gießen wurden Schwermetalle erst ab dem Jahr 2005 mitgemessen, sodass dort längerfristig nur Ergebnisse für den Staubniederschlag ohne die Inhaltsstoffe vorliegen. Entsprechend können in der Trenddarstellung (Abb. 4) die Schwermetallergebnisse aus Gießen derzeit noch nicht berücksichtigt werden.

**Staubniederschlag:** Wie Abbildung 4 zeigt, ist bei Staubniederschlag in den letzten 10 Jahren keine deutliche Abnahme der Immissionsbelastung zu erkennen. In allen Messgebieten durchläuft die Staubniederschlagsbelastung in den Jahren 1998 und 1999 ein Minimum, um später zur Jahrtausendwende wieder anzusteigen. Eine ähnliche Entwicklung zeigt sich wieder in der ersten Hälfte dieses Jahrzehnts. Diese Schwankungen haben ihre Ursache in den von Jahr zu Jahr unterschiedlichen meteorologischen Verhältnissen. Selbst das Messgebiet Hünfelden (ländlicher Raum, Intensivlandwirtschaft) zeigt einen ähnlichen langfristigen Trend wie die Ballungsräume. Deutlich ist allerdings die über die Jahre geringere Staubniederschlagsbelastung im Messgebiet Ulrichstein. Dieses Gebiet liegt zwar auch im ländlichen Raum, allerdings überwiegt dort das Grünland. So hat die Aufwirbelung von Bodestaub dort eine deutlich geringere Bedeutung als z. B. im „Hintergrundmessgebiet“ Hünfelden, wo die Immissionsituation durch die Intensivlandwirtschaft geprägt wird.

Abbildung 3: Messgebiete und Messpunkte für Staubbiederschlag in Hessen



**Tabelle 5:** Messgebiete für Staubniederschlag und seine Inhaltsstoffe

Messgebiete	Rechtswerte	Hochwerte	Größe des Messgebietes	Gebietsbeschreibung
Gießen	34760-34780	56030-56050	4 km <sup>2</sup>	Stadtgebiet, teilweise Industrie
Hünfelden	34360-34380	55760-55780	4 km <sup>2</sup>	ländliches, emissionsfernes Vergleichsmessgebiet (Intensivlandwirtschaft)
Kassel	35340-35380	56850-56890	13 km <sup>2</sup>	Stadtgebiet, teilweise Industrie
Ulrichstein	35090-35110	56080-56100	4 km <sup>2</sup>	ländliches, emissionsfernes Vergleichsmessgebiet (Grünland)
Untermain	34660-35000	55480-55580	73 km <sup>2</sup>	Stadtgebiet, teilweise Industrie
Wetzlar	34620-34660	56020-56060	16 km <sup>2</sup>	Stadtgebiet, teilweise Industrie
Wiesbaden	34430-34490	55430-55500	21 km <sup>2</sup>	Stadtgebiet, teilweise Industrie

Die Messpunkte der jeweiligen Messgebiete liegen innerhalb der durch die oben genannten Rechts- und Hochwerte begrenzten Flächen.

**Tabelle 6:** Immissionswerte für den Staubniederschlag und seine Inhaltsstoffe (TA Luft)

Komponenten	Einheit	Jahresmittelwerte
Staubniederschlag (nicht gefährdender Staub)	g/(m <sup>2</sup> × d)	0,35 (350 mg/(m <sup>2</sup> × d))
Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	4
Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	100
Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	2
Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	15
Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	2
Quecksilber	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1

Im Jahr 2006 liegt die Staubniederschlagsbelastung in allen Messgebieten unterhalb des in der TA Luft vorgeschriebenen Immissionswertes. Im Jahr 2006 wurde der höchste Gebietsmittelwert mit 131 mg/(m<sup>2</sup> × d) in Gießen ermittelt (siehe auch Tabelle 7). Wie Tabelle 7 weiter zeigt, ist im Jahr 2006 die höchste Einzelpunktbelastung durch Staubniederschlag im Messgebiet Untermain anzutreffen; auch dieser Einzelwert liegt aber noch deutlich unterhalb des in der aktuellen TA Luft für Staubniederschlag vorgeschriebenen Immissionswertes.

**Arsen:** Wie Abbildung 4 zeigt, nehmen die Arseninträge in den Gebieten Untermain, Wetzlar, Kassel und Ulrichstein seit 1996 bis zum Jahr

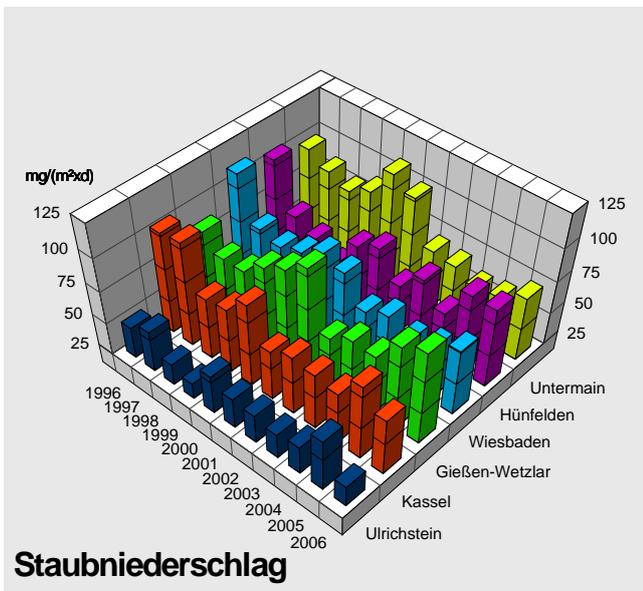
2006 mehr oder weniger kontinuierlich ab. Im Messgebiet Wiesbaden ist seit 1997 bis 2006 mit geringen Schwankungen keine wesentliche Veränderung der Depositionsraten zu erkennen. Das Messgebiet Hünfelden zeigt von Jahr zu Jahr höhere Schwankungen der Depositionsraten als die anderen Messgebiete; im Jahr 2006 wird dort mit einem Gebietsmittelwert von 1,2 µg/(m<sup>2</sup> × d) sogar die höchste Depositionsraten aller hessischen Messgebiete ermittelt. Die Belastungen an den einzelnen Messpunkten schwanken im Jahr 2006 zwischen 0,1 und 4,6 µg/(m<sup>2</sup> × d) (siehe Tabelle 7). Damit übertrifft im Jahr 2006 der Arseneintrag in Hünfelden den in der TA Luft vorgeschriebenen Immissionswert von 4 µg/(m<sup>2</sup> × d).

**Tabelle 7:** Jahresmittelwerte des Staubniederschlags und dessen Inhaltsstoffe im Messjahr 2006

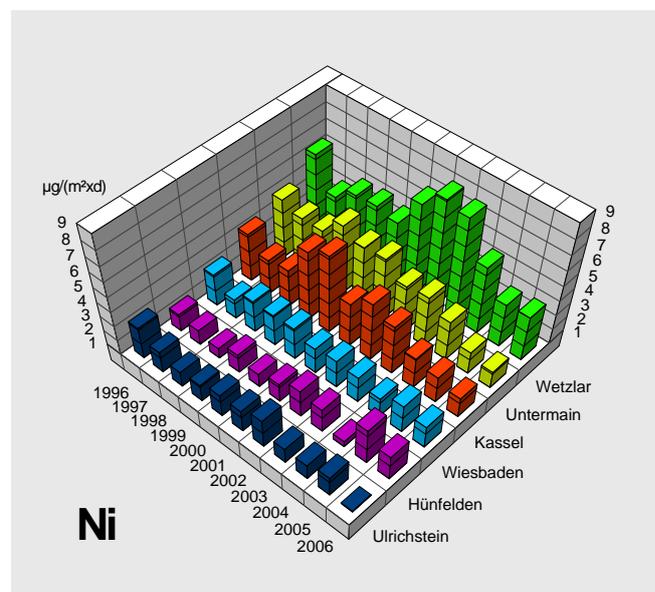
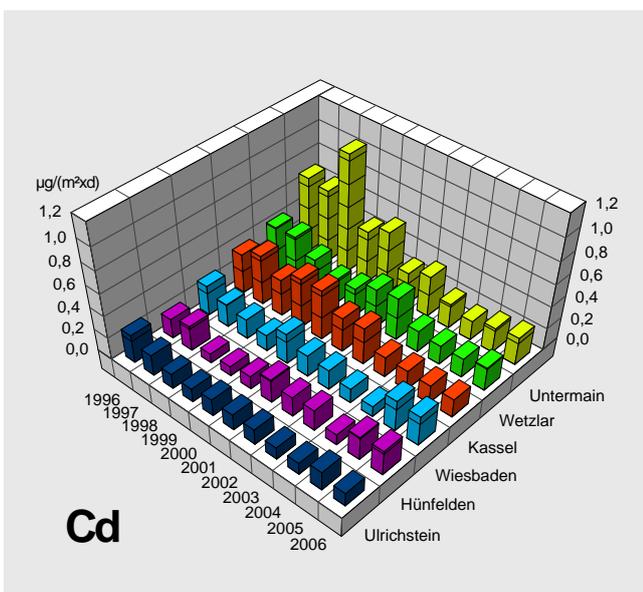
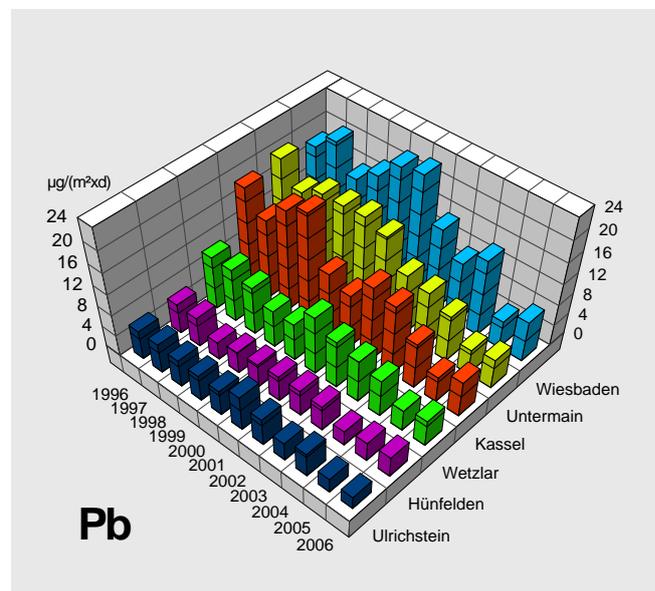
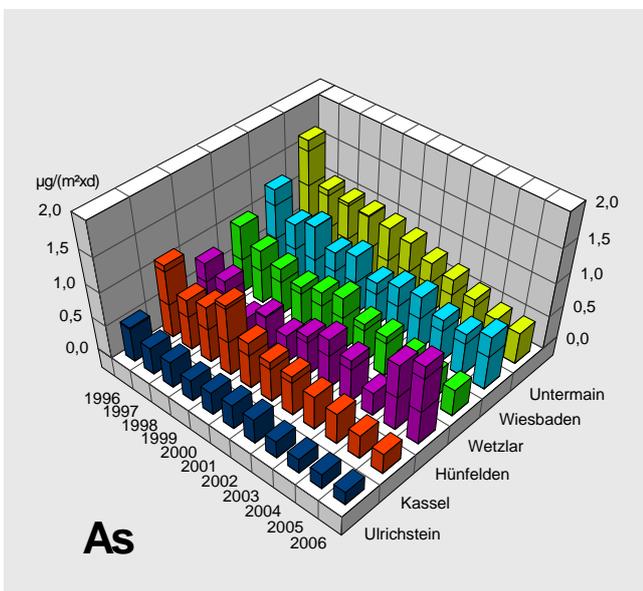
Messgebiet	Komponente	Einheit	punktweise Auswertung		Gebietsmittelwert
			Minimum	Maximum	
Gießen	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	52	251	131
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,1	1,3	0,5
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,6	7,4	3,7
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,1	0,3	0,2
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,7	8,0	3,1
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	0,51	0,10
Hünfelden	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	24	253	86
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,2	4,6	1,2
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,6	8,7	3,9
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,1	0,7	0,2
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,9	8,7	2,7
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	0,21	0,06
Kassel	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	42	160	69
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,1	1,0	0,3
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,2	45,7	6,8
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,1	0,7	0,2
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,2	10,5	2,4
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05
Ulrichstein	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	29	73	41
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,1	0,3	0,2
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,4	2,7	2,4
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	0,2	0,1
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,6	1,6	1,0
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05
Untermain	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	32	270	74
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,2	3,1	0,5
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,4	73,4	5,6
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	2,0	0,3
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,6	9,6	2,1
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	0,55	0,09
Wetzlar	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	52	184	86
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,2	0,9	0,4
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	2,0	14,0	5,0
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,1	0,5	0,2
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,3	14,3	4,0
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	0,98	0,12
Wiesbaden	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	44	151	76
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,2	3,0	0,8
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	2,5	48,6	7,7
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,1	1,8	0,3
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,9	15,0	2,5
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	0,44	0,08

**ROT:** Überschreitung eines Immissionswertes nach TA Luft [3]

**Abbildung 4:** Zeitreihen der mittleren Belastung durch Staubbiederschlag und seine Inhaltsstoffe in den hessischen Messgebieten für den Zeitraum von 1996 bis 2006



Messgebiete	Anzahl der Messpunkte	Größe
Untermain	111	73 km <sup>2</sup>
Kassel	21	13 km <sup>2</sup>
Wiesbaden	32	21 km <sup>2</sup>
Gießen-Wetzlar	38	20 km <sup>2</sup>
Wetzlar	25	16 km <sup>2</sup>
Hünfelden	9	4 km <sup>2</sup>
Ulrichstein	9	4 km <sup>2</sup>



**Blei:** Im Gegensatz zu den beiden zuvor beschriebenen Parametern Staub- und Arsenniederschlag zeigt der in Abbildung 4 dargestellte zeitliche Verlauf des gemessenen Bleieintrages einen sehr deutlichen Unterschied zwischen den hessischen Ballungszentren und den emittentenfern gelegenen Messgebieten Hünfelden und Ulrichstein. Während in den Messgebieten Wiesbaden, Untermain, Kassel und Wetzlar ausgehend von höheren Werten Mitte der 90er Jahre noch eine deutliche Abnahme der Depositionsraten bis hin zum Jahr 2006 zu erkennen ist, liegen die in Ulrichstein und Hünfelden ermittelten Bleidepositions-raten bereits 1996 auf einem deutlich niedrigeren Niveau. Bis zum Jahr 2006 haben sich die Bleidepositions-raten in den unterschiedlichen Messgebieten mehr und mehr angeglichen. Wesentliche Ursache für den Bleieintrag in die Umwelt war in früheren Jahren das dem Benzin als „Antiklopfmittel“ beigefügte Bleitetraäthyl. Durch das sogenannte Benzin-Blei-Gesetz wurde der Bleigehalt im Benzin in den 80er bis 90er Jahren bis zum endgültigen Verbot des Bleitetraäthyls als Antiklopfmittel reduziert. Entsprechend ging auch die Bleibelastung in der Luft (im Schwebstaub) bis Anfang der 90er Jahre auf ein sehr niedriges, konstantes Niveau zurück (Abb. 2). Dass dieser Rückgang bei der Bleideposition insbesondere in den Ballungszentren offensichtlich langsamer verläuft, ist dadurch zu erklären, dass in den früheren Jahren aufgrund der Kraftfahrzeugemissionen eine Bleianreicherung im Boden erfolgte, die bis ins erste Jahrzehnt des einundzwanzigsten Jahrhunderts nachwirkt. Zu erwähnen bleibt, dass der in der TA Luft für die Bleideposition vorgeschriebene Immissionswert von  $100 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  heute an allen Messpunkten des Depositionsmessnetzes deutlich unterschritten wird (siehe auch die in Tabelle 7 eingetragenen Maximalwerte).

**Cadmium:** Cadmium spielt überwiegend in der Metall verarbeitenden Industrie eine Rolle. Entsprechend treten in solchen Gebieten höhere Depositionsraten auf. Wie der zeitliche Verlauf in den Messgebieten Untermain, Wetzlar und Kassel zeigt, haben dort emissionsmindernde Maßnahmen im Bereich der Metallindustrie zu einem Rückgang der Cadmiumbelastung geführt. Außerhalb der Ballungszentren (in Hünfelden und Ulrichstein) hat das Element Cadmium mit seinen Verbindungen immissionsseitig keine Bedeutung. Mit  $2 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  erreicht der Maximalwert an einem Messpunkt südlich des Frankfurter Hauptbahnhofes den in der TA Luft für die Cadmiumdeposition vorgeschriebenen Immissionswert (Tab. 7). An allen anderen hessischen Messpunkten wird dieser Immissionswert — überwiegend sogar deutlich — eingehalten.

**Nickel:** Der in Abbildung 4 dargestellte zeitliche Trend der Immissionsbelastung durch die Deposition von Nickel und seinen Verbindungen entspricht dem bereits für Cadmium beschriebenen Bild. In den Bereichen Wetzlar, Untermain und Kassel zeigt sich — zumindest in den letzten Jahren — ein Rückgang der Immissionsbelastung. Im Gegensatz hierzu liegt in den Bereichen Wiesbaden, Hünfelden und Ulrichstein die Nickeldeposition seit 10 Jahren auf einem konstanten, niedrigen Niveau. An den langjährig beprobten Messpunkten halten auch im Jahr 2006 die Depositionsraten den in der TA Luft vorgeschriebenen Immissionswert von  $15 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  ein (siehe Tabelle 7). Der für Wiesbaden angegebene maximale Jahresmittelwert erreicht diesen Immissionswert.

Im Rahmen eines anlagenbezogenen Sondermessprogramms (siehe Abb. 3: blaue Messpunkte) im Einwirkungsbereich der in Wetzlar vorhandenen Metallindustrie wurde im Jahr 2006 an einem Messpunkt mit  $33,8 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  der Immissionswert nach TA Luft deutlich übertroffen.

**Thallium:** Für Thallium wird in Abbildung 4 auf die Trenddarstellung verzichtet, weil die ermittelte Immissionsbelastung sehr häufig unterhalb der Nachweisgrenze des angewendeten Messverfahrens liegt. Wie Tabelle 7 zeigt, wird der in der TA Luft für den Thalliumeintrag vorgeschriebene Immissionswert in allen Fällen deutlich unterschritten.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass in den letzten 10 Jahren ein Rückgang der Schwermetalldepositions-raten in den hessischen Messgebieten zu verzeichnen ist, während die Staubbiederschlagsbelastung selbst keinen eindeutigen Trend aufweist. Die Zeitreihen zeigen auch, dass sich wie z. B. bei Blei emissionsmindernde Maßnahmen der letzten Jahrzehnte in einem Rückgang der Immissionsbelastung widerspiegeln.

## Gesetzliche Grundlagen

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz — BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002, (BGBl. I Nr. 71 vom 04.10.2002, S. 3830) zuletzt geändert am 8. Juli 2004 durch Artikel 2 des Gesetzes zur Umsetzung der Richtlinie 2003/87/EG über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Neufassung

vom 26. September 2002 (BGBl. I Nr. 35 vom 14.07.2004, S. 1578)

- [2] Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft — 22. BImSchV) vom 11. September 2002 (BGBl. I Nr. 66 vom 17.09.2002, S. 3626) zuletzt geändert am 27. Februar 2007 (BGBl. I Nr. 7 vom 5. März 2007, S. 241)
- [3] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft — TA Luft) vom 24. Juli 2002 (GMBL Nr. 25-29 vom 30.7. 2002, S. 511)
- [4] Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität (Abl. EWG: L 296 vom 21.11.1996, S. 25, Luftqualitäts-Rahmenrichtlinie)
- [5] Richtlinie 2004/107/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Dezember 2004 über Arsen, Kadmium, Quecksilber, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Luft (Amtsblatt der Europäischen Union L 23 vom 26.01.2005, S. 3-16)
- [6] Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft (Amtsblatt Nr. L 163 vom 29.06.1999, S. 41-60)
- [7] Gesetz zur Verminderung von Luftverunreinigung durch Bleiverbindungen in Ottokraftstoffen für Kraftfahrzeugmotoren (Benzinbleigesetz — BzBIG) vom 5. August 1971 (BGBl. I S. 1234), zuletzt geändert durch Artikel 58 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)
- [8] Richtlinie 98/70/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 1998 über die Qualität von Otto- und Dieselmotoren und zur Änderung der Richtlinie 93/12/EWG des Rates (Abl. EWG: L 350 vom 28.12.1998, S. 58)

#### **Bearbeiter:**

D. Draczyk  
F. Ejupi  
M. Jung  
Ch. Megraw  
S. Mosbach  
J. Tollkühn  
(FH Wiesbaden-Rüsselsheim)

Dipl.-Ing. D. Hagemann  
Dipl.-Met. K. Liebl  
Dipl.-Ing. R. Paul  
Dipl.-Ing. W. Stec-Lazaj  
Dipl.-Ing. M. Weiß  
(Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie)

#### **Herausgeber:**

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie  
Postfach 3209  
65022 Wiesbaden  
Telefon: 0611/6939-0  
Telefax: 0611/6939-555

**Internet:** [www.hlug.de](http://www.hlug.de)

**Vertrieb:** [vertrieb@hlug.de](mailto:vertrieb@hlug.de)