



# Lufthygienischer Jahresbericht 2007

## Teil II: Staub und Staubinhaltsstoffe

### Einleitung

Der vorliegende Bericht ergänzt den Lufthygienischen Jahresbericht Teil I um die Ergebnisse der drei hessischen Messnetze für Schwebstaub/Partikel, für die Deposition und für die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK). Weiterhin erläutert der Bericht das Passivsammler-Messprogramm für Benzol, Toluol und Xylol, dessen Messergebnisse im Lufthygienischen Jahresbericht Teil I dargestellt werden. Der Schwerpunkt der erwähnten drei Messprogramme liegt auf der Ermittlung der Staubinhaltsstoffe wie z. B. den Schwermetallen. Wie auch im 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.

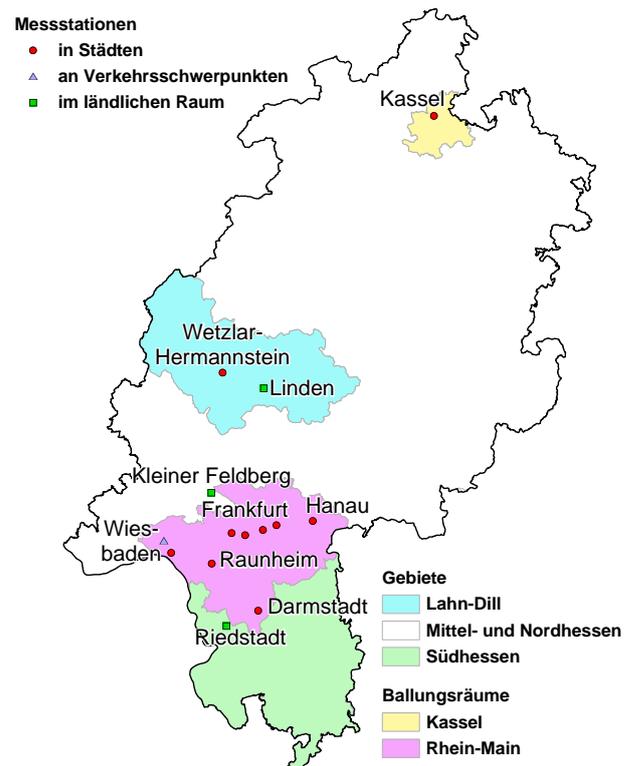
Die Programme dienen der Umsetzung der 22. BImSchV [2] sowie der Ermittlung von Basisdaten für die Beurteilung der Vorbelastung im Rahmen von Genehmigungsverfahren. Vorgaben für die Beurteilung der lufthygienischen Belastungssituation durch Inhaltsstoffe des Schwebstaubes enthalten die 4. EG-Tochterrichtlinie (4. TRL) mit ihren Zielwerten für einige Schwermetalle und für Benzo(a)pyren und die 22. BImSchV, die inzwischen die 4. TRL in deutsches Recht umgesetzt hat. Als Beurteilungsgrundlagen für den Staubniederschlag (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. Im Jahr 2007 wurden an 14 Punkten automatische Probensammler zur Ermittlung der Feinstaubkonzentration (PM<sub>10</sub>) und des Schwermetallgehalts in dieser Fraktion des Schwebstaubs betrieben. Davon liegen 10 Stationen in Städten, 3 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	158 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	104 m	8°32'32"	50°06'11"	Innenstadt, Industrie, verkehrsnah
○	Ffm.-Mitte	34775	55529	120 m	8°41'06"	50°06'46"	Innenstadt, Wohnbezirk
○	Ffm.-Ost	34820	55544	100 m	8°44'55"	50°07'37"	Industrie, verkehrsnah
○	Hanau-Mitte	34948	55548	105 m	8°55'39"	50°07'51"	Innenstadt, Industrie
○	Kassel-Nord	35336	56896	169 m	9°28'56"	51°20'29"	Industrie, verkehrsnah
■	Kleiner Feldberg	34606	55652	810 m	8°26'29"	50°13'30"	Mittelgebirge, Kuppenlage
■	Linden-Leihgestern	34778	55997	173 m	8°41'08"	50°31'59"	Dauergrünland
○	Raunheim	34608	55417	90 m	8°27'10"	50°00'40"	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°13'54"	50°04'42"	Innenstadt, Straßenkreuzung
○	Wiesbaden-Süd	34460	55463	126 m	8°14'45"	50°03'06"	Wohnbezirk, industrienah

**Abkürzungen:**

**RW:** Rechtswert (Gauß-Krüger)

○ in Städten

**HW:** Hochwert (Gauß-Krüger)

▲ am Verkehrsschwerpunkt

**H. ü. NN:** Höhe über Normalnull

■ im ländlichen Raum

Die im Rahmen dieses Programms gesammelten Staubproben werden auf folgende Komponenten untersucht: Feinstaub (PM10) und dessen Inhaltsstoffe Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Nickel (Ni), Kobalt (Co), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Eisen (Fe), Mangan (Mn), Antimon (Sb) und Vanadium (V). Die Messergebnisse der Komponenten, für die ein Immissionswert vorgegeben ist, werden in diesem Bericht für das Jahr 2007 ausgewertet und beschrieben. Diese sind: Feinstaub (PM10), Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd) und Nickel (Ni). Tabelle 2 zeigt den Messbeginn für die Stoffe, für die ein Immissionswert festgelegt wurde.

### Atmosphärischer Staub

Unter Schwebstaub versteht man in Abgrenzung zu groben Partikeln des Staubniederschlags 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 che-

mischen Eigenschaften des Schwebstaubes. Der Durchmesser der in der Atmosphäre vorkommenden Partikel reicht von einigen Nanometern (nm oder milliardstel Meter) bis zu etwa 100 Mikrometern (µm oder millionstel Meter). Teilchen mit Durchmessern größer 0,1 µm können durch ihren aerodynamischen Durchmesser ( $d_{ae}$ ) 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 „reale“ Teilchen.

In der 22. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (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 enthält alle Teilchen mit einem aerodynamischen Durchmesser ≤ 10 µm.

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 µm einen Abscheidegrad von 50 Prozent aufweist.

Partikel bis zu einem Durchmesser von etwa 20 µm 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 verweilen entsprechend kurz in der Atmosphäre (siehe auch Kapitel „Staubniederschlagsmessprogramm“).

### Diskontinuierliches Probenahmeverfahren für Schwebstaub

Seit 2001 ist der Schwebstaub nach der 22. BImSchV als PM10-Fraktion des atmosphärischen Aerosols zu erfassen. Die Probenahme erfolgt mit einem High Volume Sampler (DHA-80) der Firma Digitel, der mit einem Vorabscheider ausgerüstet ist, der dafür sorgt, dass nur die Staubpartikelfraktion PM10 erfasst wird (siehe auch Kapitel: „Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)“). Das Gerät 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 zwei bis drei Schwebstaubproben genommen (entsprechend einem Jahreskollektiv von 122 Proben). 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 seinen Schwermetallgehalt untersucht. Hierzu wird die auf dem Filter abgeschiedene Staubmasse auf einzelne Schwermetalle analysiert. Das Schwebstaubmessnetz dient hauptsächlich der Immissionsüberwachung von Schwermetallen und auch der Dokumentation der Langzeitentwicklung (Trend) der Staubbimmissionsbelastung.

Bis zum Jahr 2000 wurde mit dem gravimetrischen Verfahren der sogenannte Gesamtstaub (TSP, Total Suspended Particulate Matter) erfasst. Ab 2001 wur-

de 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-Immissionsschutzgesetz (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. Die Überprüfung der Einhaltung der Zielwerte setzt voraus, dass die Schwermetalle als Bestandteile der PM10-Fraktion des atmosphärischen Aerosols gemessen 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 Tabelle 4 sind die Schwebstaub-/Schwermetallmessergebnisse des Jahres 2007 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 2007

	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	21	0,5	0,006	0,2	0,9
○	Ffm.-Griesheim	22	0,6	0,008	0,2	1,2
○	Ffm.-Höchst	23	0,7	0,008	0,2	1,3
○	Ffm.-Mitte	23	0,6	0,007	0,2	1,3
○	Ffm.-Ost	22	0,7	0,008	0,2	1,5
○	Hanau-Mitte	22	0,6	0,008	0,2	4,6
○	Kassel-Nord	23	0,6	0,006	0,2	1,4
■	Kleiner Feldberg	10	0,3	0,004	0,1	0,5
■	Linden-Leihgestern	19	0,5	0,007	0,2	1,2
○	Raunheim	21	0,6	0,007	0,2	1,4
■	Riedstadt	21	0,6	0,007	0,1	1,0
○	Wetzlar-Hermannstein	23	1,2	0,025	0,8	6,8
▲	Wiesbaden-Ringkirche	<b>27</b>	1,0	0,022	0,2	1,5
○	Wiesbaden-Süd	21	1,3	0,008	0,2	1,1

○ in Städten

▲ am Verkehrsschwerpunkt

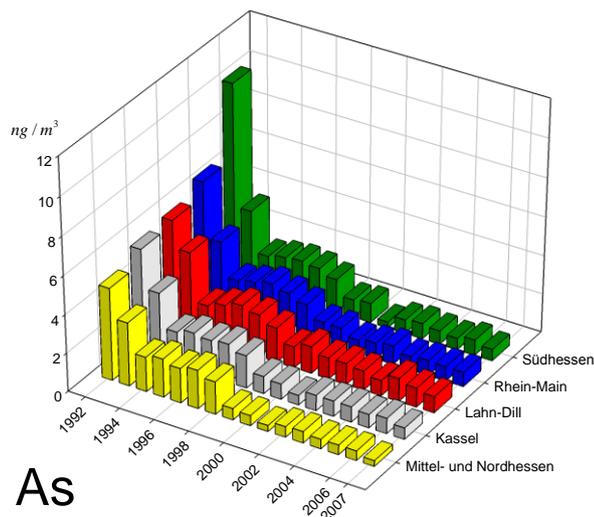
■ im ländlichen Raum

Aufgrund der geringeren Abdeckung des Jahreszeitraumes (mit 122 Proben, 33 % 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 Teil I, 2007).

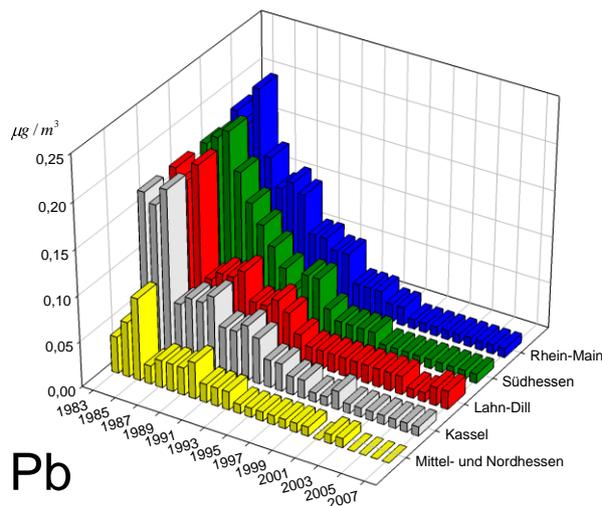
Für die Berechnung der Jahresmittelwerte der Schwermetallkonzentration stehen im Jahr 60 Werte (entsprechend 5 im Monat) pro Station zur Verfügung. Im Probenahmeplan wurde eine gleichmäßige Verteilung der Probenahmetage über die Wochentage und das Jahr festgelegt. Die Probenzahl reicht für die Beurteilung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

tung 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.

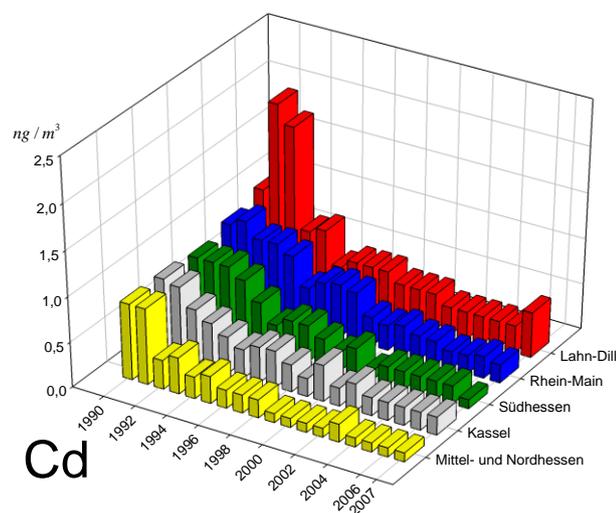
**Abbildung 2:** Zeitreihe der Gebiets-Jahresmittelwerte (Schwermetalle als Bestandteile des Schwebstaubs)



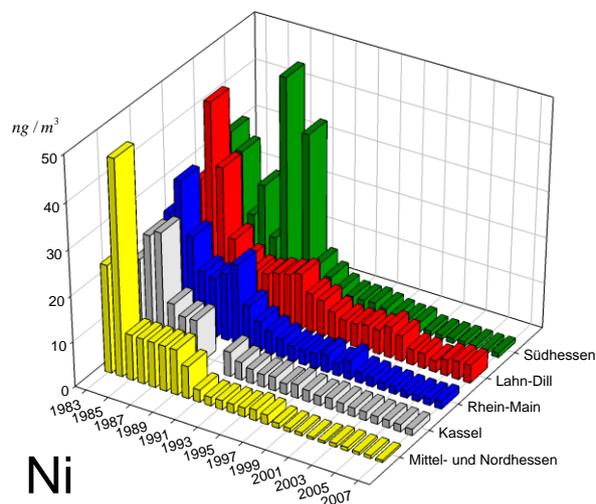
As



Pb



Cd



Ni

Ballungsraum I: Rhein-Main	Darmstadt, Ffm.-Griesheim, Ffm.-Höchst, Ffm.-Mitte <sup>1)</sup> , Ffm.-Ost, Hanau-Mitte, Hanau-Wolfgang <sup>1)</sup> , Raunheim, Wiesbaden-Ringkirche, Wiesbaden-Süd
Ballungsraum II: Kassel	Kassel-Bettenhausen <sup>1)</sup> , Kassel-Nord
Gebiet I: Südhausen	Biebesheim (von 1992 bis 2000), Riedstadt (ab 2003), Fürth im Odenwald (von 2003 bis 2006)
Gebiet II: Lahn-Dill	Linden-Leihgestern, Wetzlar-Hermannstein
Gebiet III: Mittel- und Nordhessen	Kleiner Feldberg, Witzenhausen <sup>1)</sup>

1) Diese Stationen wurden im Jahr 2007 nicht mehr betrieben und sind somit auch nicht in der grafischen Darstellung erfasst.

Wie aus Tabelle 4 und Abbildung 2 zu erkennen ist, werden der Grenzwert für Blei und auch die Zielwerte für 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 2007 zurück. Das Belastungsniveau ist in den Gebieten Mittel- und Nordhessen sowie in Südhausen geringer als in den Ballungsräumen Rhein-Main und Kassel sowie im Gebiet Lahn-Dill. Während die Immissionssituation 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 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 2007 in allen Gebieten nur noch maximal 20 % des Zielwertes.

**Blei:** Das im Schwebstaub enthaltene Blei wird seit 1983 erfasst. Bereits damals wurde der heute vorgeschriebene Grenzwert von  $0,5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  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 veränderten 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 (z. B. im Raum Wetzlar) auf das Konzentrationsniveau zu erkennen.

**Nickel:** Wie bei den drei anderen Metallen wird durch die Messergebnisse auch bei Nickel ein deutlicher Konzentrationsrückgang bis Anfang der 90er Jahre belegt. Der vorgeschriebene Zielwert von  $20 \text{ ng/m}^3$  wird von den Gebietsmittelwerten (Abb. 2) im Jahr 2007 wie auch in den Vorjahren ab 1991 nicht mehr überschritten. Die Konzentrationswerte zeigen in den letzten sechs 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 zugrunde. Mit der Neufassung der TA Luft vom 24. Juli 2002 [3] wurde für das hessische Staubniederschlagsmessprogramm die messpunktbezogene Auswertung eingeführt. Hierzu werden aus allen 12 Messwerten (Monatsmittelwerte) an einem Messpunkt Jahresmittelwerte gebildet. Im Jahre 2007 wurde der Staubniederschlag an insgesamt 220 Messpunkten ermittelt. 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. Die Angabe von 4 Sondermesspunkten in Wetzlar, die das dortige Messnetz in einem Teilbereich auf die Maschenweite von  $500 \times 500 \text{ m}$  verdichten, ergänzt die Darstellung. Weitere 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 z. B. beim Spielen durch den Eintrag aus der Atmosphäre verunreinigte Erde in den Mund nehmen.

### Probenahmeverfahren für Staubniederschlag

Bei der Staubniederschlagsmessung nach Bergerhoff wird die Gesamtdeposition (trocken und feucht) erfasst. Zur Messung gelangt hierbei die 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 Glasbruch, 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 Staubbiederschlags nur als Langzeitwerte (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 Analysenergebnissen dieser beiden Proben berechnet.

## Immissionswerte für Staubbiederschlag

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).

## Staubbiederschlagsmesswerte des Jahres 2007

Tabelle 7 stellt die Ergebnisse des Staubbiederschlagsmessprogramms für das Jahr 2007 zusammen. Die Gebietsmittelwerte stützen sich dabei auf alle Messpunkte des jeweiligen Gebietes, wobei der Auswertung für den Staubbiederschlag prinzipiell 12 Monatswerte pro Messpunkt zugrunde liegen. Für die Schwermetalle wurden die Analysenergebnisse der zwei Sammelproben für die geraden und

die ungeraden Monate zu einem Jahresmittelwert pro Messpunkt zusammengefasst.

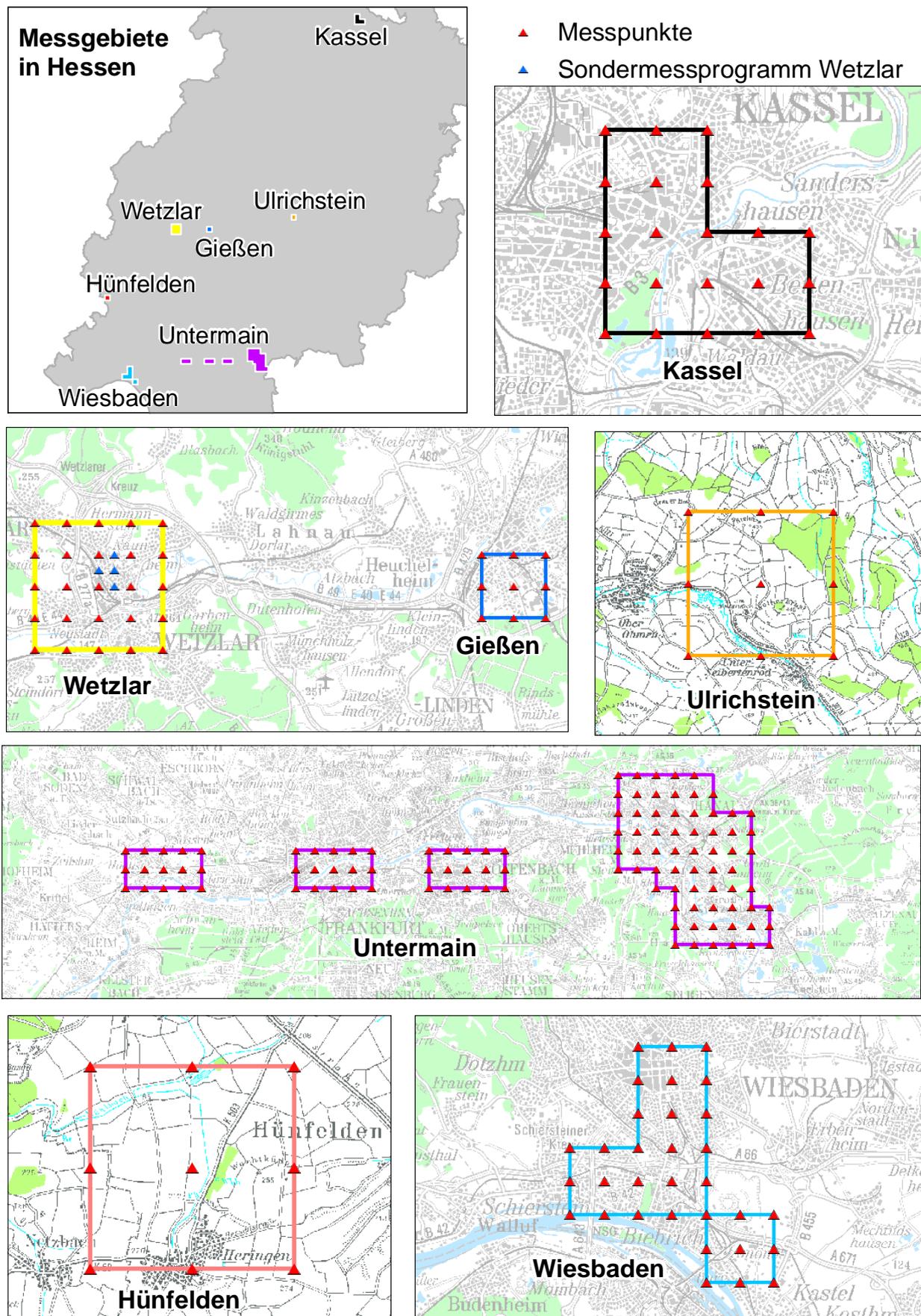
Abbildung 4 beschreibt die zeitliche Entwicklung der Depositionsraten für Staubbiederschlag und die oben genannten Schwermetalle im Zeitraum von 1996 bis einschließlich 2007. Thallium wurde in diese Darstellung nicht mit aufgenommen, da für dieses Element die Nachweisgrenze des angewendeten Verfahrens nicht ausreichte, um eine sinnvolle Trenddarstellung zu erarbeiten.

Nachfolgend werden die Ergebnisse aus den hessischen Staubbiederschlagsmessgebieten für die Messjahre 1996 bis 2007 zusammenfassend dargestellt und beschrieben. Wie oben bereits erläutert wird die Immissionssituation 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 Staubbiederschlag ohne die Inhaltsstoffe vorliegen. Entsprechend können in der Trenddarstellung (Abb. 4) die Schwermetallergebnisse aus Gießen nur ab 2005 gezeigt werden.

**Staubbiederschlag:** Wie Abbildung 4 zeigt, ist bei Staubbiederschlag in den letzten 12 Jahren kein deutlicher Trend der Immissionsbelastung zu erkennen. In allen Messgebieten durchläuft die Staubbiederschlagsbelastung 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 Verlauf wie die Ballungsräume. Deutlich bildet sich allerdings die im Vergleich zu den anderen Gebieten über die Jahre geringere Staubbiederschlagsbelastung im Messgebiet Ulrichstein ab. 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 Immissionssituation 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	3476-3478	5603-5605	4 km <sup>2</sup>	Stadtgebiet, teilweise Industrie
Hünfelden	3436-3438	5576-5578	4 km <sup>2</sup>	ländliches, emissionsfernes Vergleichsmessgebiet (Intensivlandwirtschaft)
Kassel	3534-3538	5685-5689	13 km <sup>2</sup>	Stadtgebiet, teilweise Industrie
Ulrichstein	3509-3511	5608-5610	4 km <sup>2</sup>	ländliches, emissionsfernes Vergleichsmessgebiet (Grünland)
Untermain	3466-3500	5548-5558	73 km <sup>2</sup>	Stadtgebiet, teilweise Industrie
Wetzlar	3462-3466	5602-5606	16 km <sup>2</sup>	Stadtgebiet, teilweise Industrie
Wiesbaden	3443-3449	5543-5550	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 2007 liegt die Staubniederschlagsbelastung in allen Messgebieten unterhalb des in der TA Luft vorgeschriebenen Immissionswertes. Im Jahr 2007 wurde der höchste Gebietsmittelwert mit 134 mg/(m<sup>2</sup> × d) in Gießen ermittelt (siehe auch Tabelle 7). Dieser Gebietsmittelwert wird nur vom Sondermessprogramm (siehe blaue Punkte in Abbildung 3) in Wetzlar mit einem Immissionswert von 136 mg/(m<sup>2</sup> × d) übertroffen. Wie Tabelle 7 weiter zeigt, ist im Jahr 2007 die höchste Einzelbelastung 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:** Die Arseneinträge in den Gebieten Untermain, Wetzlar, Kassel und Ulrichstein nehmen seit 1996 bis zum Jahr 2007 mehr oder weniger konti-

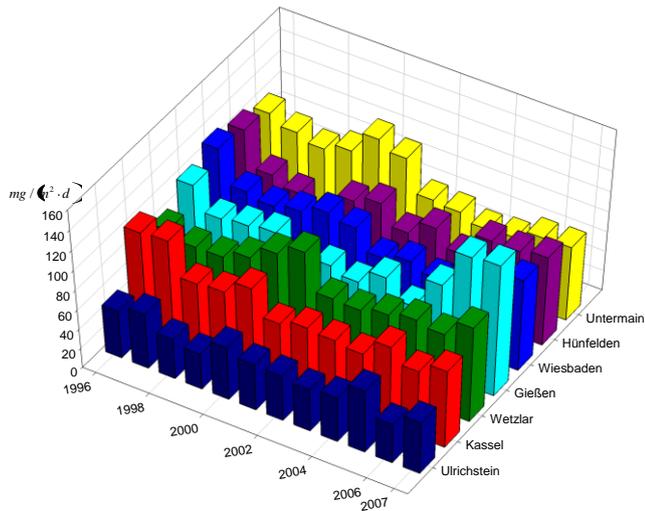
nuierlich ab. Im Messgebiet Wiesbaden ist seit 1997 bis 2007 mit geringen Schwankungen keine wesentliche Veränderung der Depositionsrates zu erkennen. Der Arseneintrag in Gießen liegt 2007 im Bereich der in Kassel gemessenen Werte. Für Trendaussagen reichen die aus nur drei Jahren vorliegenden Ergebnisse noch nicht aus. Das Messgebiet Hünfelden zeigt von Jahr zu Jahr höhere Schwankungen der Depositionsrates als die anderen Messgebiete; im Jahr 2007 weist es mit einem Gebietsmittelwert von 0,7 µg/(m<sup>2</sup> × d) die dritthöchste Depositionsrates aller hessischen Messgebiete auf. Die höchste Arsendepositionsrates mit 1,0 µg/(m<sup>2</sup> × d) wurde an den Sondermesspunkten in Wetzlar (blaue Punkte siehe Abbildung 3) ermittelt. Somit wurde im Jahr 2007 der von der TA Luft vorgeschriebene Immissionswert von 4 µg/(m<sup>2</sup> × d) an jedem Messpunkt eingehalten.

**Tabelle 7:** Jahresmittelwerte des Staubniederschlags und dessen Inhaltsstoffe im Messjahr 2007

Messgebiet	Komponente	Einheit	punktweise Auswertung		Gebietsmittelwert
			Minimum	Maximum	
Gießen	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	52	232	134
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,1	0,7	0,4
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	2,0	7,0	4,4
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	0,3	0,2
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,0	5,6	3,6
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	0,1	≤ 0,05
Hünfelden	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	44	260	90
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,2	3,7	0,7
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	2,0	9,0	3,6
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,1	0,4	0,1
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,7	8,3	2,1
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	0,2	≤ 0,05
Kassel	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	39	155	80
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,1	0,8	0,4
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	2,0	15,0	4,9
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,1	0,3	0,2
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,8	5,8	2,8
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05
Ulrichstein	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	30	86	54
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,1	0,5	0,2
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,0	6,0	2,9
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	0,2	0,1
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,6	4,2	1,7
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05
Untermain	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	33	288	75
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,2	1,9	0,5
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	2,0	118,0	6,9
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,1	2,2	0,3
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,9	12,5	2,7
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	0,1	≤ 0,05
Wetzlar	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	38	202	98
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,3	1,3	0,6
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	2,0	11,0	4,9
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,1	0,5	0,3
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,7	12,4	4,9
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	0,3	0,1
Wiesbaden	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	39	227	93
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,3	2,6	0,8
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	3,0	35,0	7,0
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,1	1,9	0,2
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,0	5,4	2,2
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	0,6	≤ 0,05
Sonderprogramm- Wetzlar siehe Abbildung 3 (blaue Punkte)	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	107	162	136
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,5	1,3	1,0
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	5,0	8,0	6,3
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,3	0,5	0,4
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	6,6	13,0	10,8
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,1	0,2	0,1

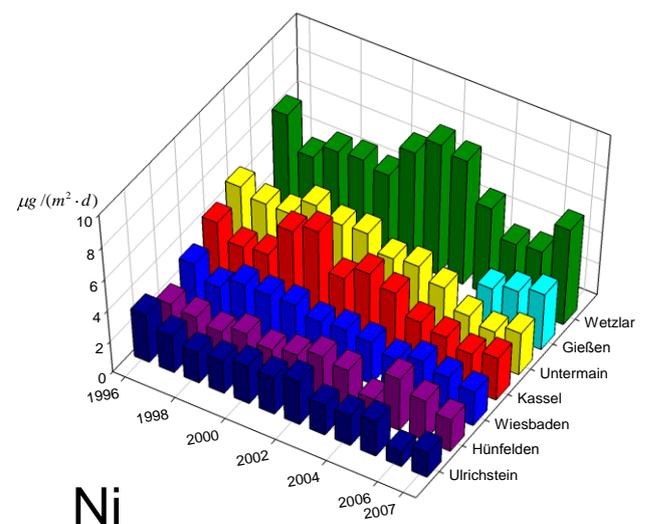
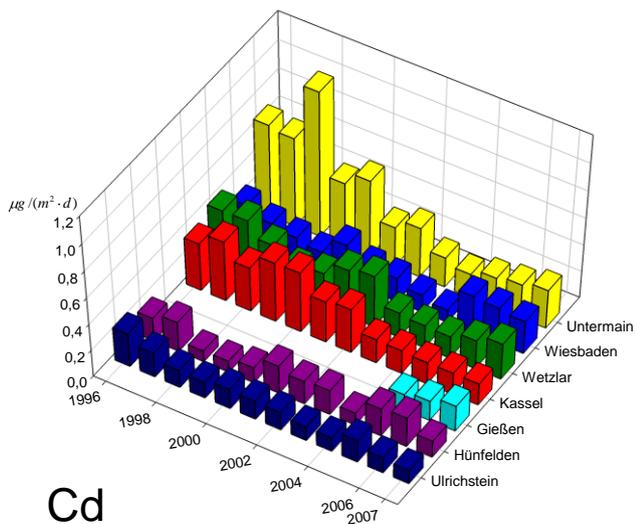
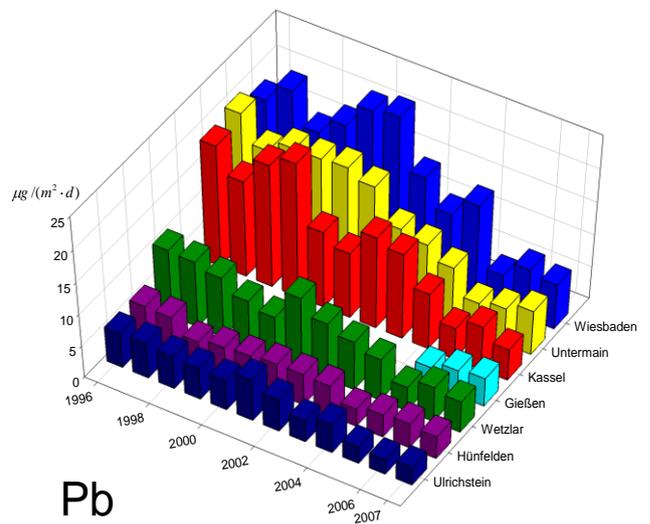
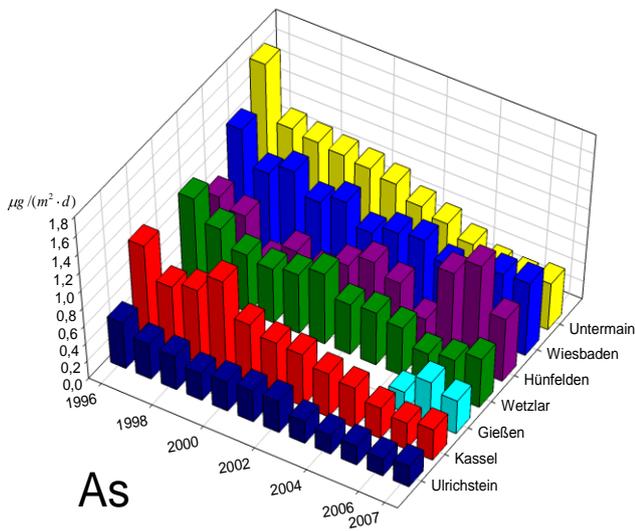
**ROT:** Überschreitung eines Immissionswertes nach TA Luft [3]

**Abbildung 4:** Zeitreihen der mittleren Belastung durch Staubniederschlag 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	9	4 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>

### Staubniederschlag



**Blei:** Im Gegensatz zu den beiden zuvor beschriebenen Parametern Staub- und Arsenniederschlag zeigt der in Abbildung 4 dargestellte zeitliche Verlauf des gemessenen Bleieintrages in den Jahren bis 2004 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 2007 zu erkennen ist, liegen die in Ulrichstein und Hünfelden ermittelten Bleidepositionsraten bereits 1996 auf einem deutlich niedrigeren Niveau. Bis zum Jahr 2007 haben sich die Bleidepositionsraten in den unterschiedlichen Messgebieten mehr und mehr angeglichen. Zum Verlauf in Gießen vor 2005 lässt sich keine Aussage treffen, da zu der Zeit dort noch keine Schwermetalle gemessen wurden. 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  $100 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  2007 an der überwiegenden Zahl der Messpunkte des Depositionsmessnetzes deutlich unterschritten wurde. Im Süden von Hessen wurde 2007 an einem Messpunkt ein Bleieintrag von  $118 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  ermittelt. Dieser Wert übertrifft den in der TA Luft festgelegten Immissionswert.

**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  $2,2 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  übertrifft der Cadmиеintrag an einem Messpunkt im Osten des Ballungsraumes Rhein-Main den in der TA Luft 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. In den Ballungsräumen wurden höhere Einträge für Nickel ermittelt als in den beiden emittentenfern gelegenen Gebieten Hünfelden und Ulrichstein. Auch für Nickel zeigt sich, dass sich die Depositionsraten in den Ballungsräumen und den emittentenfernen Bereichen weiter aneinander angleichen. Lediglich in Wetzlar liegen die Nickeleinträge im Jahr 2007 immer noch deutlich höher als in den anderen Bereichen. An den langjährig beprobten Messpunkten halten auch im Jahr 2007 die Depositionsraten den in der TA Luft vorgeschriebenen Immissionswert von  $15 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  ein (siehe Tabelle 7).

Diese Aussage gilt inzwischen auch für die im Rahmen des Sondermessprogramms in Wetzlar ermittelten Nickeleinträge. Die Maximalbelastung, die dort 2006 noch bei  $34 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  lag, ging im Jahr 2007 auf  $13 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  zurück (Tabelle 7).

**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 12 Jahren in den hessischen Messgebieten ein Rückgang der Schwermetalldepositions-raten 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. Mit Ausnahme des Arseneintrags in Wiesbaden und des Nickeleintrags in Wetzlar zeigt sich ein genereller Trend zur weiteren Annäherung der Schwermetalleinträge in den Ballungsräumen an das Niveau, das bereits längerfristig in den emittentenfernen Bereichen Hessens anzutreffen ist.

## Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

PAK sind organische Verbindungen, die in der bodennahen Atmosphäre zur Verunreinigung unserer Atemluft beitragen. Einige dieser PAK werden als krebserregend eingestuft oder stehen in Verdacht, ein krebserzeugendes Potential zu besitzen.

PAK entstehen hauptsächlich durch unvollständige Verbrennung von organischem Material. Sie stammen zum Teil aus dem Bereich der Gebäudeheizungen. Eine weitere direkte Quelle stellen Autoabgase (insbesondere Dieselmotoren) dar. Kleinere Belastungsquellen sind Straßenstaub und Tabakrauch (letztere zählt zu einer der möglichen Ursachen für das erhöhte Lungenkrebsrisiko bei Rauchern)

[[http://www.tabakkontrolle.de/pdf/FzR\\_Krebs.pdf](http://www.tabakkontrolle.de/pdf/FzR_Krebs.pdf)].

Ein Teil der PAK liegt in der Atmosphäre gasförmig vor, der überwiegende Teil - wie z. B. Benzo(a)pyren - ist partikelgebunden.

Die schwebstaubgebundenen PAK werden aus der Atmosphäre durch trockene und nasse Deposition entfernt. Als trockene Deposition versteht man u. a. das Entfernen partikelgebundener PAK aus der Atmosphäre durch Sedimentation. Bei nasser Deposition werden die PAK zum Beispiel durch Regen ausgewaschen.

Daneben unterliegen die PAK auch chemischen oder photolytischen Abbauprozessen; je nach Reaktivität kann die Verweilzeit einzelner PAK in der Atmosphäre einige Tage bis zu mehreren Wochen betragen.

### Hessisches PAK-Messprogramm

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) wurden seit Mitte der 80er Jahre sporadisch im Rahmen von Sondermessprogrammen unter anderem für die Erstellung von Luftreinhalteplänen gemessen. Die Beschreibung dieser Messprogramme und deren Ergebnisse kann im Internet unter <http://atlas.umwelt.hessen.de/atlas> eingesehen werden.

Die Verpflichtung zur landesweiten Immissionsüberwachung ergibt sich aus den EG-Luftqualitätsrichtlinien [4, 5, 6], die in das Bundes-Immissionsschutzgesetz [1] und in die 22. BImSchV [2] übernommen wurden. In der 4. Tochterrichtlinie [5] wurde für Benzo(a)pyren als Indikatorsubstanz für die Immissionsbelastung durch PAK ein Zielwert festgelegt. Der Zielwert beträgt als Jahresmittelwert

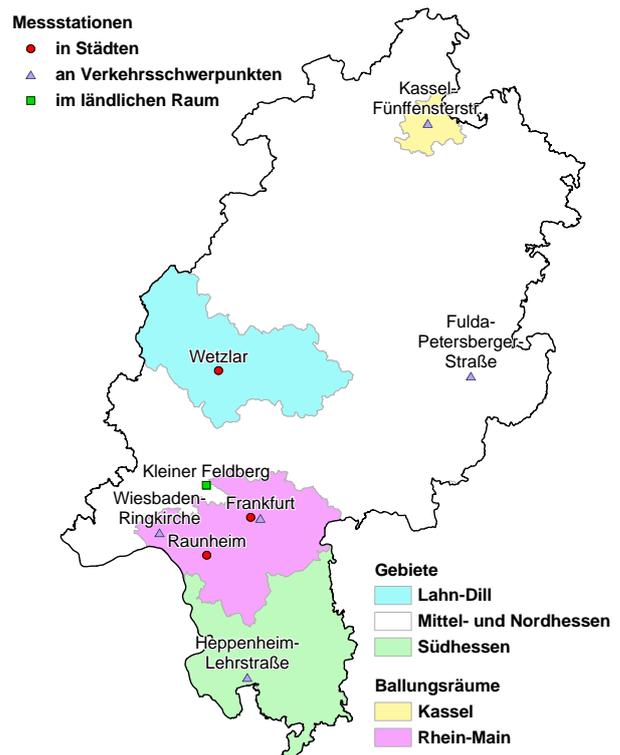
1 ng/m<sup>3</sup> und soll ab dem Jahr 2012 eingehalten werden.

Die Messung der PAK Benzo(a)pyren und zusätzlich Benz(a)anthracen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(j)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Indeno(1.2.3-cd)pyren und Dibenz(ah)anthracen erfolgt nach der 22. BImSchV [2] als Bestandteile des PM10-Feinstaubes.

Im Jahre 2007 wurden an 9 Standorten PAK-Messungen durchgeführt. Die Standorte der Probenahmegeräte können der Abbildung 5 entnommen werden. Bei der Auswahl der Standorte wurden die Vorgaben der 22. BImSchV [2] berücksichtigt. 5 Messstationen sind verkehrsbezogen, und 3 Messstationen überwachen die PAK-Belastung im städtischen Hintergrund. Eine weitere Station im ländlichen Raum dient als Vergleichsmessstation.

Nähere Informationen über die geografische Lage und den Standortcharakter der Messorte sind der Tabelle 8 zu entnehmen.

Abbildung 5: Probenahmestellen des PAK-Messnetzes



**Tabelle 8:** Standorte der PAK-Probenahmestellen

	Stationsname	RW	HW	H. ü. NN (m)	Längengrad	Breitengrad	Standortcharakter
▲	Ffm.-Höhenstraße	34786	55542	121	8°42'04"	50°07'31"	Innenstadt, Straßenschlucht
●	Ffm.-Palmengarten	34754	55544	96	8°39'24"	50°07'30"	Innenstadt, städtischer Hintergrund
▲	Fulda-Petersberger-Straße	35486	56018	281	9°41'09"	50°33'05"	Innenstadt, Straßenschlucht
▲	Heppenheim-Lehrstraße.	34742	55008	120	8°38'33"	49°38'40"	Innenstadt, Straßenschlucht
▲	Kassel-Fünffensterstraße	35343	56865	166	9°29'33"	51°18'48"	Innenstadt, Straßenschlucht
■	Kleiner Feldberg	34606	55652	810	8°26'29"	50°13'30"	Mittelgebirge, emittententfern
●	Raunheim	34608	55417	90	8°27'10"	50°00'40"	Innenstadt, Wohngebiet
●	Wetzlar	34647	56036	150	8°30'06"	50°34'07"	Innenstadt, Mischgebiet
▲	Wiesbaden-Ringkirche	34450	55493	140	8°13'54"	50°04'42"	Innenstadt, Kreuzungsbe- reich, Verkehrsmesspunkt

**Abkürzungen:**

**RW:** Rechtswert (Gauß-Krüger)

● in Städten

**HW:** Hochwert (Gauß-Krüger)

▲ am Verkehrsschwerpunkt

**H. ü. NN:** Höhe über Normalnull

■ im ländlichen Raum

## Probenahmeverfahren und Durchführung des Messprogramms

Nach der 22. BImSchV sind die PAK als Bestandteile der PM10-Fraktion des atmosphärischen Aerosols zu erfassen. Die Probenahme erfolgt mit einem High Volume Sampler (DHA-80) der Firma Digital, der mit einem Vorabscheider ausgerüstet ist, der dafür sorgt, dass nur die Staubpartikelfraktion PM10 erfasst wird. Die eingesetzten Probensammelgeräte sind als automatische Probenwechsler ausgelegt, die bis zu 14 Filter selbstständig nacheinander beaufschlagen können. Die Geräte werden mit einem Luftdurchsatz von ca. 500 l/min (ca. 30 m<sup>3</sup>/h) betrieben.

Der einmal festgelegte Luftdurchsatz wird vom Probenahmegerät selbstständig konstant gehalten, sodass sich die Strömungsverhältnisse im gesamten

Probenahmesystem während der laufenden Probenahme nicht verändern.

Der in der Probenluft vorhandene PM10-Staub wird auf einem Filter abgeschieden, die Staubprobe kann im Labor weiter untersucht werden. Die Probenahmedauer beträgt für eine Filterprobe 24 Stunden. Die Einzelproben decken jeweils einen gesamten Tag von 0:00 bis 24:00 Uhr ab und repräsentieren den PM10-Staub aus einem Luftvolumen von ca. 700 m<sup>3</sup>.

Die Bestimmung der PM10-Konzentrationswerte und die anschließende Analyse der Proben auf die vorgenannten 7 PAK (Benzo(a)pyren, Benz(a)anthracen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(j)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Indeno(1.2.3-cd)pyren und Dibenz(ah)anthracen) wurden im Messjahr 2007 von der Gesellschaft für Arbeitsplatz- und Umweltanalytik mbH (GFA) durchgeführt.

## PAK-Werte für 2007

**Tabelle 9:** Jahresmittelwerte der gemessenen PAK im Jahr 2007

	Stationsname	BaP	BaA	BF (b+j)	BF (k+j)	DBA	INP
		[ng/m <sup>3</sup> ]					
	<b>Zielwerte</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
▲	Ffm.-Höhenstraße	0,53	0,57	1,19	0,31	0,08	0,61
●	Ffm.-Palmengarten	0,24	0,19	0,94	0,22	0,06	0,33
▲	Fulda-Petersberger-Str.	0,43	0,43	0,82	0,22	0,06	0,47
▲	Heppenheim-Lehrstr.	0,54	0,61	1,08	0,29	0,09	0,58
▲	Kassel-Fünffensterstr.	0,37	0,34	0,76	0,21	0,05	0,41
■	Kleiner Feldberg	0,04	0,03	0,16	0,04	0,01	0,07
●	Raunheim	0,38	0,28	1,14	0,28	0,07	0,46
●	Wetzlar	0,40	0,33	0,86	0,22	0,07	0,45
▲	Wi.-Ringkirche	0,39	0,47	0,79	0,21	0,06	0,45

**Abkürzungen:**

**BaP:** Benzo(a)pyren

**BF (b+j):** Benzo(b)fluoranthen/ Benzo(j)fluoranthen <sup>1)</sup>

**DBA:** Dibenz(ah)anthracen

**BaA:** Benz(a)anthracen

**BF (k+j):** Benzo(k)fluoranthen/ Benzo(j)fluoranthen <sup>1)</sup>

**INP:** Indeno(1.2.3-cd)pyren

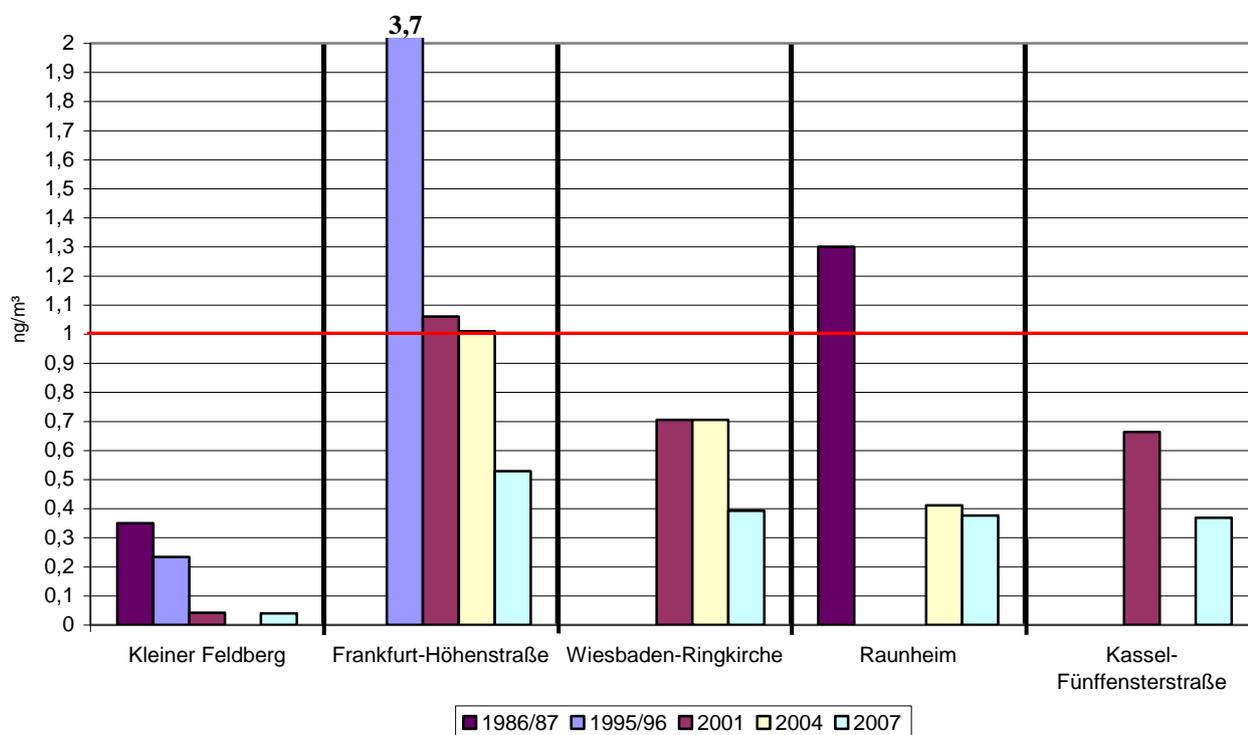
<sup>1)</sup> können nicht getrennt voneinander analysiert werden

● in Städten

▲ am Verkehrsschwerpunkt

■ im ländlichen Raum

**Abbildung 6:** Zeitreihe der an den Messstationen ermittelten Jahresmittelwerte des Benzo(a)pyrens von 1995-2007



**Benzo(a)pyren (BaP):** Bei der ersten Erfassung von BaP in Hessen im Jahr 1986/87 wurden hohe Messwerte bis zu 2,3 ng/m<sup>3</sup> ermittelt. Vergleicht man diese Messwerte mit dem heutigen - in der 22. BImSchV [2] angegebenen - Zielwert, so würde man eine Überschreitung an fast allen Messpunkten feststellen (siehe auch Umweltatlas Hessen unter <http://atlas.umwelt.hessen.de/atlas>). Schon bei der zweiten Erhebung im Jahr 1995/96 wurde an fast allen Messorten der ab 2012 einzuhaltende Zielwert von 1 ng/m<sup>3</sup> mit Ausnahme der Höhenstraße in Frankfurt am Main unterschritten; doch selbst an diesem Standort werden die Zielwerte mittlerweile (im Messjahr 2007) eingehalten.

Am Standort Frankfurt-Höhenstraße wurden seit Beginn der PAK-Erfassung die höchsten Werte gemessen. Allgemein kann man sagen, dass die verkehrsbezogenen Stationen im Regelfall inzwischen immer höhere Messwerte liefern als vergleichbare Stadt- und Hintergrundstationen. Auch an der emittentenfern gelegenen Station am Kleinen Feldberg im Taunus wurde eine deutliche Abnahme bis hin zu Werten unterhalb von 0,1 ng/m<sup>3</sup> im Jahr 2007 ermittelt.

Die Benzo(a)pyrenkonzentration und auch die Konzentrationen der anderen gemessenen PAK gehen seit 1986 kontinuierlich zurück. Im Jahr 2007 wurde die niedrigste Konzentration an BaP im gesamten Messzeitraum ermittelt; damit liegen also keine Zielwertüberschreitungen in diesem Jahr vor.

Besonders deutlich ist auch der Konzentrationsrückgang an der Höhenstraße in Frankfurt und am Standort Wiesbaden-Ringkirche (Abbildung 6). Am Kleinen Feldberg im Taunus ist seit 2001 keine wesentliche Veränderung der BaP-Konzentration mehr zu erkennen.

## Benzol, Toluol, Xylol (BTX)-Passivmessprogramm

Erstmals im Jahr 2000 konnten mit dem großflächigen Einsatz von Passivsammlern für die BTX-Messung an insgesamt 60 Messpunkten in Südhessen sehr gute Erfahrungen - auch was die Qualität der Messergebnisse betrifft - gemacht werden. Insbesondere der Vergleich mit kontinuierlich registrierenden, gaschromatographischen Verfahren (BTX-Messplatz) bestätigte die inzwischen hohe Qualität der Passivverfahren für die BTX-Messung (siehe auch Abbildung 7). Aufgrund dieser guten Erfahrungen werden ab dem Jahr 2007 verkehrsbezogene Stationen des Luftmessnetzes Hessen, in denen aus Platzgründen kein kontinuierlich messender BTX-Analysator eingesetzt werden kann, mit Passivsammlern ausgerüstet (siehe Tabelle 10). Die in der Tabelle aufgeführten Stationen in Fulda und Wiesbaden dienen der Qualitätssicherung durch Vergleichsmessungen mit den dort parallel laufenden kontinuierlichen Messungen.

Passivsammler (Aktivkohleröhrchen) zeichnen sich auch dadurch aus, dass sie deutlich preisgünstiger als ein BTX-Messplatz gleichwertige Ergebnisse liefern. Dies gilt allerdings nur soweit, als lediglich der Vergleich mit dem vorgeschriebenen Grenzwert bei nur geringer zeitlicher Auflösung der Messergebnisse gefordert ist. Die Aktivkohleröhrchen sind außerdem durch ihre geringe Größe und einfache Bauweise an vielen Orten einsetzbar, die für einen konventionellen BTX-Messplatz, der auch eine Stromversorgung benötigt, nicht zugänglich sind.

**Tabelle 10:** Standorte der BTX-Probenahmestellen (verkehrsbezogene Messorte) mit Passivverfahren

Stationsname	RW	HW	H. ü. NN (m)	Längengrad	Breitengrad	Standortcharakter
Fulda-Petersberger-Straße	35486	56018	281	9°41'09"	50°33'05"	Innenstadt, Straßenschlucht
Gießen-Westanlage	34766	56054	171	8°40'11"	50°35'07"	Innenstadt, Straßenschlucht
Marburg-Universitätsstraße	34838	56302	195	8°46'14"	50°48'29"	Innenstadt, Straßenschlucht
Wiesbaden-Ringkirche	34450	55493	140	8°13'54"	50°04'42"	Innenstadt, Kreuzungsbereich, Verkehrsmesspunkt

**Abkürzungen:**

**RW:** Rechtswert (Gauß-Krüger)

**HW:** Hochwert (Gauß-Krüger)

**H. ü. NN:** Höhe über Normalnull

## BTX-Aromaten

BTX ist die Abkürzung für die Lösungsmittel Benzol, Toluol und Xylol, die zu den Aromaten (organische Verbindungen) zählen. Das wichtigste Erkennungsmerkmal der Aromaten ist ihr intensiver, charakteristischer, aromatischer Geruch. Bei Umgebungstemperatur liegen diese Stoffe als klare Flüssigkeiten vor, sind flüchtig und leicht entzündlich. Sie können entweder direkt gaschromatographisch (BTX-Messplatz) oder durch passive Probenahme mit anschließender Laboranalytik messtechnisch erfasst werden.

Die Hauptbelastungsquellen für diese Komponenten sind der Straßenverkehr und in Einzelfällen Gewerbe- oder Industriebetriebe, die diese Stoffe herstellen oder verwenden. Die bisherigen Messergebnisse in Hessen zeigen, dass Benzol, Toluol und Xylol in der Außenluft in verkehrsreichen Straßen in einem nahezu festen Konzentrationsverhältnis zueinander anzutreffen sind (Benzol zu Xylol (m+p) zu Toluol wie etwa 1 zu 1,5 zu 3). Unter Berücksichtigung dieses Verhältnisses können sie daher auch als „Tracer“ für eine Kfz-dominierte Luftschadstoffbelastung gelten. Abweichungen von diesem Verhältnis weisen eher auf Emissionen von Industrie- bzw. Gewerbebetrieben hin. Bisher ist bei den Aromaten nur für Benzol ein gesetzlicher Grenzwert vorgeschrieben. Im nachfolgenden Text werden die drei Messkomponenten des BTX-Messprogramms näher erläutert.

**Benzol:** Benzol ist ein ringförmiges Molekül aus 6 Kohlenstoff- und 6 Wasserstoffatomen; seine Summenformel lautet  $C_6H_6$ .

Benzol ist krebserzeugend und erbgutverändernd.

Es wird aus Erdöl gewonnen und dient der Industrie als wichtiges Lösungsmittel. Weiterhin ist Benzol ein wesentlicher Bestandteil des Benzins, dem es als Anti-Klopffmittel beigemischt ist. Benzol kann sowohl direkt vom Kraftstoff an die Außenluft abgegeben werden als auch während des Verbrennungsvorgangs im Motor entstehen und mit den Abgasen an die Außenluft gelangen. Ab 1.1.2000 ist für Ottokraftstoffe ein Maximalgehalt von 1% Benzol vorgeschrieben [EU-Richtlinie 98/70/EG].

In der 22. BImSchV [2] wurde für die Außenluftkonzentration ein Grenzwert von  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als Jahresmittelwert festgelegt, der ab dem Jahr 2010 verbindlich ist.

**Toluol:** Toluol besitzt den gleichen ringförmigen Aufbau wie Benzol, mit dem Unterschied, dass beim Toluol ein Wasserstoffmolekül durch eine Methylgruppe ( $\text{CH}_3$ ) ersetzt wurde. Seine Summenformel lautet  $C_7H_8$ .

Toluol ist gesundheitsschädlich (fruchtschädigend und fortpflanzungsgefährdend).

Wie Benzol wird auch Toluol hauptsächlich aus Erdöl gewonnen. Industriell wird Toluol als Reaktionsmittel für die Synthese von verschiedenen organischen Verbindungen (z. B. auch Benzol) gebraucht. Es erhöht als Bestandteil des Benzins die Oktanzahl des Kraftstoffs.

**Xylol:** Xylol ähnelt dem Toluol und dem Benzol. Beim Xylol ersetzen im Gegensatz zu Toluol zwei Methylgruppen je zwei Wasserstoffatome. Seine Summenformel lautet  $C_8H_{10}$ . Je nach Stellung dieser Methylgruppen zueinander unterscheidet man drei Xylol-Isomere. Da eine Trennung der Xylol-Isomere meta- und para-Xylol im Rahmen der Laboranalysen nur schwer möglich ist, werden im hessischen Messnetz m- und p-Xylol nur als Summenwert der beiden Isomere bestimmt, während ortho-Xylol als einzelnes Xylol-Isomer nachweisbar ist.

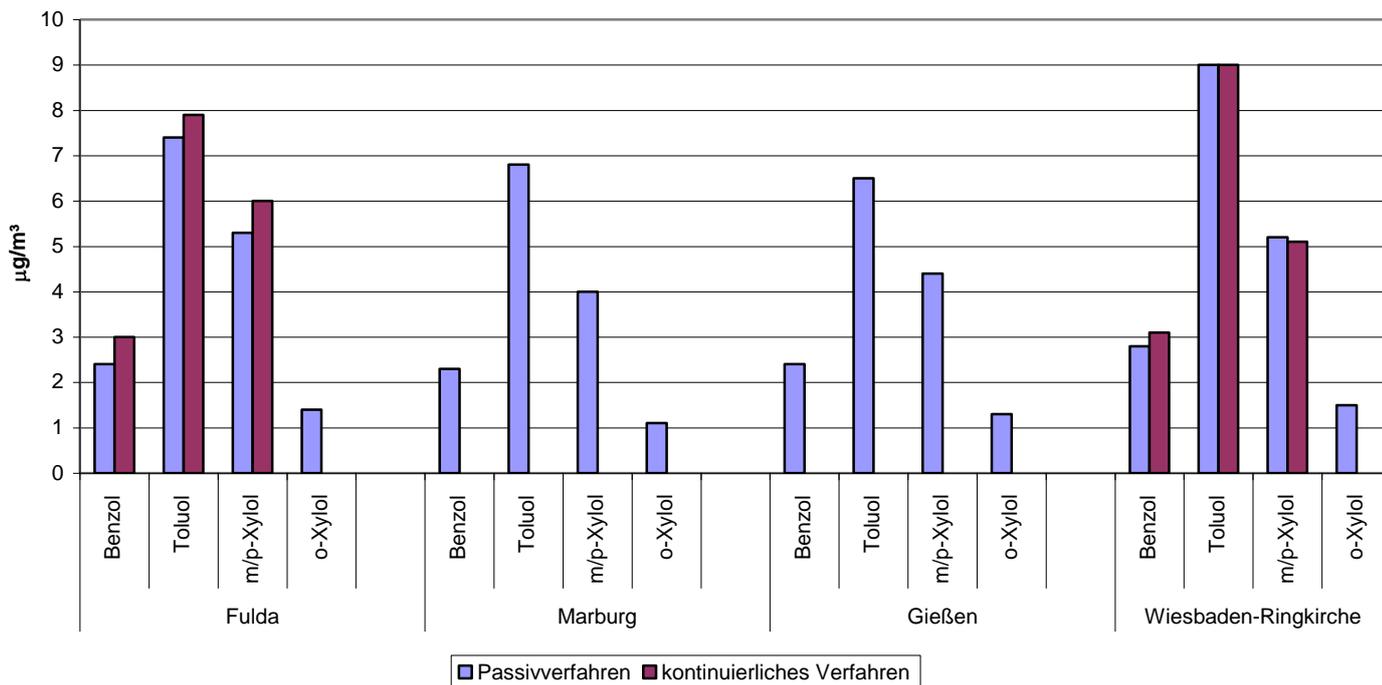
Wie Toluol ist auch Xylol gesundheitsschädlich.

Xylol wird aus den aromatischen Fraktionen in Erdö Raffinerien gewonnen. In der Industrie verwendet man Xylol (hierbei handelt es sich um ein Gemisch aus den 3 Isomeren) als Lösungsmittel. Außerdem ist es ein Ausgangsprodukt zur Kunststoffherstellung. So wie das Toluol wird auch Xylol den Kraftstoffen beigemischt, um eine Erhöhung der Oktanzahl zu erreichen.

Der Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) legte in früheren Jahren für den Gehalt in der Außenluft einen Richtwert für Toluol und auch für Xylol von jeweils  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als Jahresmittelwert fest; entsprechende Grenzwerte werden allerdings heute in der 22. BImSchV nicht vorgeschrieben.

## BTX-Werte 2007

Abbildung 7: Vergleich der Ergebnisse der Passivsammelmethode mit den Ergebnissen des kontinuierlich registrierenden BTX-Messplatzes



Wie die oben stehende Abbildung zeigt, unterschreiten die Benzolkonzentrationen an den vier aufgeführten verkehrsbezogenen Messpunkten mit Jahresmittelwerten unterhalb von  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bereits heute schon deutlich den in der 22. BImSchV ab 2010 vorgeschriebenen Grenzwert von  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Damit belegen auch die Messungen mit den Passivsammelverfahren den deutlichen Rückgang der Benzolbelastung, die Mitte der 90er Jahre im Straßenraum teilweise noch deutlich über  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lag.

Der Lufthygienische Jahresbericht 2007, Teil I, enthält und beschreibt weitere Ergebnisse der im Jahr 2007 in Hessen durchgeführten BTX-Messungen.

## Gesetzliche Grundlagen

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz, BImSchG) in der Fassung vom 29.10.2007 (BGBl. I S. 2470)
- [2] Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft – 22. BImSchV) in der Fassung vom 4. Juni 2007 (BGBl. I S. 1006)
- [3] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002 (GMBl. Nr. 25-29 vom 30.07.2002, S. 511)
- [4] Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität (Luftqualitäts-Rahmenrichtlinie) zuletzt geändert am 29. September 2003 durch Anhang III Nr. 62 der Verordnung (EG) Nr. 1882/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates

- [5] Richtlinie 2004/107/EG (4. EG-Tochtrichtlinie) 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 Nr. L 23 S. 3-16 vom 26.01.2005)
- [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) zuletzt geändert am 17. Oktober 2001 (ABl. EG Nr. L 278 vom 23.10.2001, S. 35)
- [7] Gesetz zur Verminderung von Luftverunreinigungen durch Bleiverbindungen in Otto-Kraftstoffen 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) zuletzt geändert am 29. September 2003 (ABl. EU L284 vom 31.10.2003, S. 1)

#### **Bearbeiter:**

N. Föll  
(FH Wiesbaden-Rüsselsheim)

Dipl.-Ing. D. Hagemann  
Dipl.-Met. K. Liebl  
Dipl.-Ing. R. Paul  
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)