



# Lufthygienischer Jahresbericht 2009

## 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 (Staubniederschlag)** 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 beiden zuerst erwähnten 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  $PM_{10}$ ; damit wird der sogenannte Feinstaub erfasst, der sich aus den in der Atmosphäre verteilten Partikeln mit einem Durchmesser kleiner als  $10\ \mu m$  (entsprechend einem Hundertstelmillimeter) zusammensetzt.

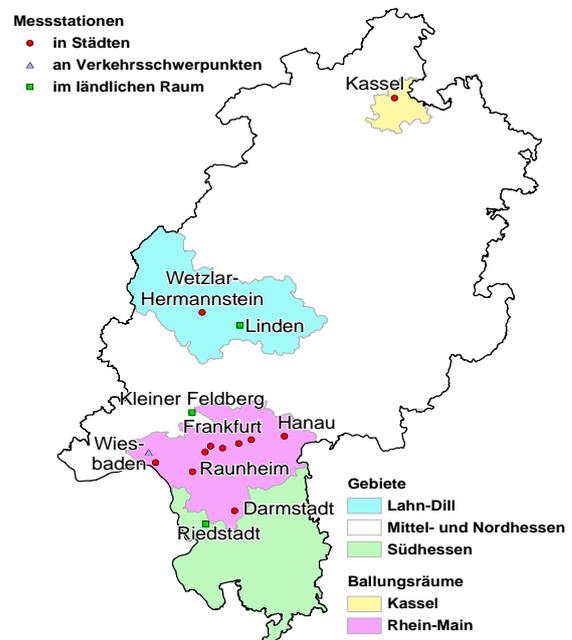
Die Programme dienen der Umsetzung der 22. BImSchV [2] sowie der Ermittlung von Basisdaten für die Beurteilung der Vorbelastung im Rahmen von Genehmigungsverfahren. Vorgaben für die Beurteilung der lufthygienischen Belastungssituation durch Inhaltsstoffe des Schwebstaubs enthalten die 4. EG-Tochterrichtlinie (4. TRL) mit ihren Zielwerten für einige Schwermetalle und für Benzo(a)pyren und die 22. BImSchV, die die 4. TRL in deutsches Recht umgesetzt hat. Als Beurteilungsgrundlagen für den Staubniederschlag (Gesamtdeposition) und einige Schwermetalle als Bestandteile der Gesamtd deposition 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 Hes-

sische 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 2009 wurden an 15 Punkten automatische Probensammler zur Ermittlung der Feinstaubkonzentration ( $PM_{10}$ ) und des Schwermetallgehalts in dieser Fraktion des Schwebstaubs betrieben. Davon liegen 11 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	3475 965	5526 257	158 m	8°39'53"	49°52'20"	Innenstadt, Wohnbezirk
○	Ffm.-Griesheim	3471 694	5551 099	98 m	8°36'17"	50°05'48"	Innenstadt, Mischgebiet
○	Ffm.-Höchst	3467 310	5551 838	104 m	8°32'32"	50°06'07"	Innenstadt, Industrie, verkehrsnah
○	Ffm.-Sindlingen	3465 402	5549 498	99 m	8°30'56"	50°04'51"	Industrie, Wohnbezirk
○	Ffm.-Mitte	3477 480	5552 820	120 m	8°41'06"	50°06'46"	Innenstadt, Wohnbezirk
○	Ffm.-Ost	3481 935	5554 378	100 m	8°44'47"	50°07'31"	Industrie, verkehrsnah
○	Hanau-Mitte	3494 806	5554 915	107 m	8°55'39"	50°07'51"	Innenstadt, Industrie
○	Kassel-Mitte	3533 776	5686 717	181 m	9°29'00"	51°18'51"	Innenstadt, Mischgebiet
■	Kleiner Feldberg	3460 543	5565 240	811 m	8°26'46"	50°13'19"	Mittelgebirge, Kuppenlage
■	Linden-Leihgestern	3477 697	5599 738	172 m	8°41'04"	50°31'59"	Dauergrünland
○	Raunheim	3460 759	5541 699	90 m	8°27'06"	50°00'37"	Innenstadt, Wohnbezirk
■	Riedstadt	3465 305	5521 072	87 m	8°31'01"	49°49'31"	ländlich
○	Wetzlar-Hermannstein	3464 310	5604 814	183 m	8°17'40"	50°20'40"	Wohngebiet, Industrie
▲	Wiesbaden-Ringkirche	3444 979	5549 276	145 m	8°13'49"	50°04'38"	Innenstadt, Straßenkreuzung
○	Wiesbaden-Süd	3445 997	5546 279	121 m	8°14'42"	50°03'01"	Wohnbezirk, industrienah

**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 (PM<sub>10</sub>) 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 2009 ausgewertet und beschrieben. Diese sind: Feinstaub (PM<sub>10</sub>), 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 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 Schwebstaubs. 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<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 „reale“ Teilchen.

In der 22. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (22. BImSchV) wird der Begriff „Partikel“ eingeführt, und es werden u. a. Grenzwerte für den Schutz der menschlichen Gesundheit für die

Partikelfraktion  $PM_{10}$  vorgeschrieben (siehe auch Kapitel „Grenz- und Zielwerte für Schwebstaub und dessen Inhaltsstoffe“). Die Partikelfraktion  $PM_{10}$  enthält alle Teilchen mit einem aerodynamischen Durchmesser  $\leq 10 \mu m$ .

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

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

### Diskontinuierliches Probenahmeverfahren für Schwebstaub

Seit 2001 ist der Schwebstaub nach der 22. BImSchV als  $PM_{10}$ -Fraktion des atmosphärischen Aerosols zu erfassen. Die Probenahme erfolgt mit einem automatischen High Volume Sampler (DHA-80) der Firma Digitel, der mit einem Vorabscheider ausgerüstet ist, der dafür sorgt, dass nur die Staubpartikelfraktion  $PM_{10}$  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 121 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 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  $PM_{10}$  umgestellt. Zu diesem Zweck wurden die Probenahmegeräte mit neuen Vorabscheidern ausgerüstet, mit denen erreicht wird, dass die Staubfraktion  $PM_{10}$  zur Messung gelangt (siehe auch die Definition von  $PM_{10}$  im vorhergehenden Kapitel).

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

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

Die 22. Verordnung zum Bundes-Immissionschutzgesetz (22. BImSchV) schreibt u.a. für Partikel und für Blei Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit 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  $PM_{10}$ -Fraktion des atmosphärischen Aerosols gemessen wurden.

Im Gegensatz zu einem Immissionsgrenzwerten für den Gesundheitsschutz, der innerhalb eines bestimmten Zeitraums erreicht und danach nicht mehr überschritten werden darf, ist ein Zielwert eine Immissionskonzentration, die innerhalb eines festgelegten Zeitraums soweit wie möglich einzuhalten ist. Beides dient dem übergeordneten Ziel, schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit 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  $PM_{10}$ -Fraktion zu ermitteln und zu beurteilen.

In Tabelle 4 sind die Schwebstaub-/Schwermetallmessergebnisse des Jahres 2009 zusammenfassend dargestellt.

Die aufgeführten Jahresmittelwerte der  $PM_{10}$ -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 2:** Beginn der Messungen der einzelnen Komponenten an den Messstationen

	Stationsname	Gesamtstaub (TSP)	Feinstaub (PM <sub>10</sub> )	Arsen	Blei	Cadmium	Nickel	Kontinuierliches Messverfahren <sup>1)</sup>
○	Darmstadt	1983	2002	1990	1983	1983	1983	X
○	Ffm.-Griesheim	1983	2002	1990	1983	1983	1983	
○	Ffm.-Höchst	1984	2002	1990	1984	1984	1984	X
○	Ffm.-Sindlingen	—	2008	2008	2008	2008	2008	X
○	Ffm.-Mitte	1983	2003	1990	1983	1983	1983	
○	Ffm.-Ost	—	2001	1990	1984	1984	1984	X
○	Hanau-Mitte	1983	2002	1990	1983	1983	1983	
○	Kassel-Mitte	—	2008	2008	2008	2008	2008	X
■	Kleiner Feldberg	1983	2001	1990	1983	1983	1983	
■	Linden-Leihgestern	1995	2001	1995	1995	1995	1995	
○	Raunheim	1985	2002	1990	1985	1985	1985	X
■	Riedstadt	—	2001	2001	2001	2001	2001	X
○	Wetzlar-Hermannstein	1983	2002	1990	1983	1983	1983	
▲	Wiesbaden-Ringkirche	—	2001	2001	2001	2001	2001	X
○	Wiesbaden-Süd	1983	2001	1990	1983	1983	1983	X

<sup>1)</sup> An diesen Messstationen werden zusätzlich kontinuierliche Messungen mit  $\beta$ -Staubmetern durchgeführt.

○ in Städten

▲ am Verkehrsschwerpunkt

■ im ländlichen Raum

**Tabelle 3:** Grenzwerte/Zielwerte für Partikel/Inhaltsstoffe

Komponente	Kenngröße	Einheit	Grenzwerte (zulässige Überschreitungshäufigkeit pro Jahr)	Zielwerte	einzuhalten ab	Bemerkung
PM <sub>10</sub>	24-h-Wert	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 (35mal)	—	2005	22. BImSchV
	Jahresmittel	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	40	—	2005	22. BImSchV
Arsen <sup>1)</sup>	Jahresmittel	$\text{ng}/\text{m}^3$	—	6	2012	22. BImSchV
Blei <sup>1)</sup>	Jahresmittel	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,5	—	2005	22. BImSchV
Cadmium <sup>1)</sup>	Jahresmittel	$\text{ng}/\text{m}^3$	—	5	2012	22. BImSchV
Nickel <sup>1)</sup>	Jahresmittel	$\text{ng}/\text{m}^3$	—	20	2012	22. BImSchV

<sup>1)</sup> Gesamtgehalt in der PM<sub>10</sub>-Fraktion

**Tabelle 4:** Jahresmittelwerte des Schwebstaubs (PM<sub>10</sub>) und dessen Inhaltsstoffe im Messjahr 2009

	Stationsname	Feinstaub (PM <sub>10</sub> )	Arsen	Blei	Cadmium	Nickel
		[µg/m <sup>3</sup> ]	[ng/m <sup>3</sup> ]	[µg/m <sup>3</sup> ]	[ng/m <sup>3</sup> ]	[ng/m <sup>3</sup> ]
○	Darmstadt	21	0,6	0,006	0,1	0,8
○	Ffm.-Griesheim	24	1,0	0,007	0,2	1,0
○	Ffm.-Höchst	21	1,0	0,005	0,1	1,1
○	Ffm.-Sindlingen	24	1,1	0,006	0,1	0,9
○	Ffm.-Mitte	24	0,7	0,006	0,2	1,0
○	Ffm.-Ost	24	0,9	0,007	0,2	1,3
○	Hanau-Mitte	21	0,8	0,008	0,2	4,6
○	Kassel-Mitte <sup>1)</sup>	21	0,5	0,005	0,1	0,9
■	Kleiner Feldberg	11	0,3	0,003	0,1	< 0,7
■	Linden-Leihgestern	21	0,6	0,006	0,2	0,9
○	Raunheim	23	0,9	0,006	0,2	1,2
■	Riedstadt	21	0,8	0,006	0,1	0,8
○	Wetzlar-Hermannstein	24	1,1	0,011	0,2	5,4
▲	Wiesbaden-Ringkirche	27	1,4	0,007	0,1	1,4
○	Wiesbaden-Süd	22	1,9	0,006	0,1	0,9

○ in Städten

▲ am Verkehrsschwerpunkt

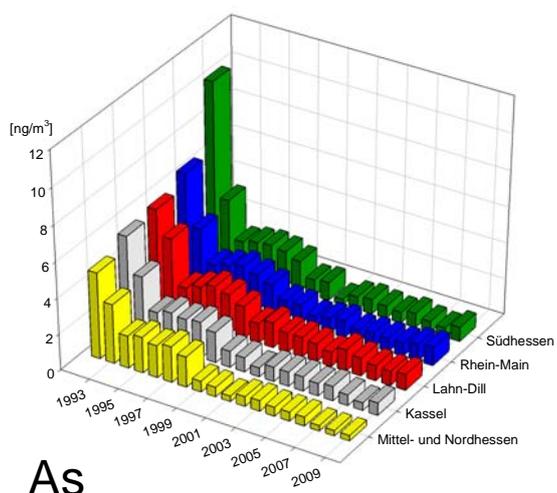
■ im ländlichen Raum

Aufgrund der geringeren Abdeckung des Jahreszeitraumes (mit 121 Proben, 33 % der im Jahr möglichen Tagesmittelwerte) wird auf eine Beurteilung der ermittelten PM<sub>10</sub>-Belastung anhand vorgeschriebener Grenzwerte wie auch auf die Darstellung von Langzeittrends der PM<sub>10</sub>-Immissionsbelastung verzichtet. Diese Beurteilung wird auf Basis der im Luftmessnetz kontinuierlich erhobenen Daten vorgenommen (siehe Lufthygienischer Jahresbericht Teil I, 2009).

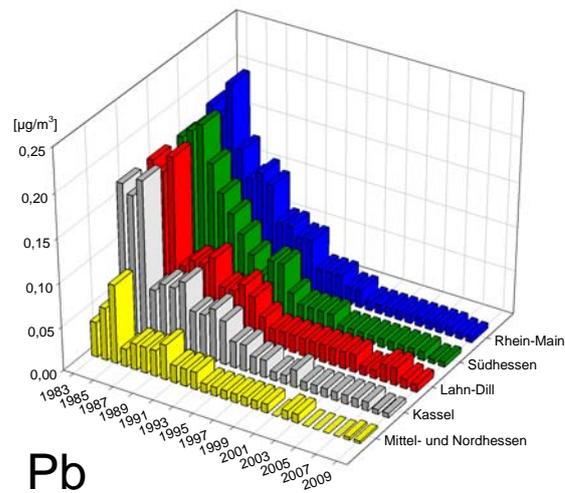
Für die Berechnung der Jahresmittelwerte der Schwermetallkonzentration stehen im Jahr 60 Werte (entsprechend 5 im Monat) pro Station zur Verfügung. Im Probenahmeplan wurde eine gleichmäßige Verteilung der Probenahmetage über die Wochentage und das Jahr festgelegt. Die Probenzahl reicht für die Beurteilung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

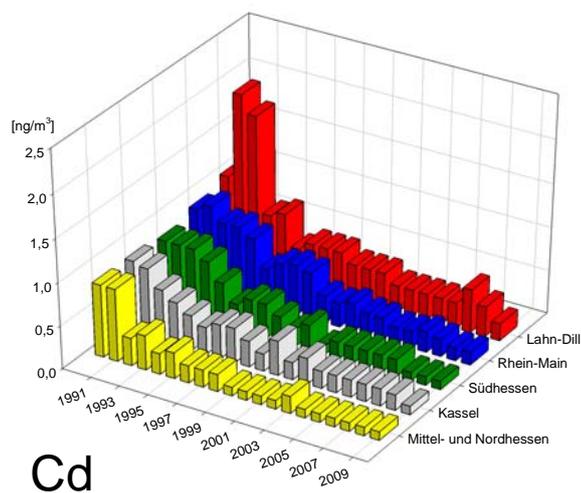
**Abbildung 2:** Zeitreihe der Gebiets-Jahresmittelwerte (Schwermetalle als Bestandteile des Schwebstaubs)



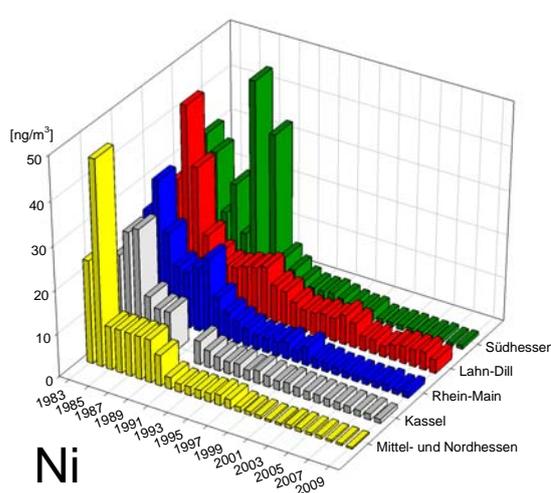
As



Pb



Cd



Ni

Ballungsraum I: Rhein-Main	Darmstadt, Ffm.-Griesheim, Ffm.-Höchst, Ffm.-Sindlingen, Ffm.-Mitte, Ffm.-Ost, Hanau-Mitte, Hanau-Wolfgang <sup>1)</sup> , Raunheim, Wiesbaden-Ringkirche, Wiesbaden-Süd
Ballungsraum II: Kassel	Kassel-Mitte (ab März 2008), Kassel-Nord (von 2001 bis Febr. 2008), Kassel-Bettenhausen <sup>1)</sup>
Gebiet I: Südhausen	Riedstadt (ab 2003), Biebesheim (von 1992 bis 2000), Fürth im Odenwald (von 2003 bis 2006) <sup>1)</sup>
Gebiet II: Lahn-Dill	Linden-Leihgestern, Wetzlar-Hermannstein
Gebiet III: Mittel- und Nordhessen	Kleiner Feldberg, Witzenhausen <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Diese Stationen werden bereits seit 2007 nicht mehr betrieben.

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 2009 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 in allen Gebieten unterhalb des Zielwertes von  $6 \text{ ng/m}^3$  und erreichen im Jahr 2009 nur noch maximal 32 % 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 an allen Messpunkten (Tabelle 4) im Jahr 2009 wie auch in den Vorjahren ab 1991 nicht mehr überschritten. Die Konzentrationswerte zeigen in den letzten sechs Jahren in den einzelnen Messgebieten (Abb. 2) 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 2009

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) für einen Messpunkt Jahresmittelwerte gebildet. Im Jahre 2009 wurde der Staubniederschlag in sieben Messgebieten, an insgesamt 220 Messpunkten ermittelt. Durch die Betrachtung der einzelnen Messpunkte kommen lokale Einflüsse 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  $500 \text{ m} \times 500 \text{ m}$  verdichten, ergänzt die Darstellung. Weitere Angaben zu den Messgebieten können der Tabelle 5 entnommen werden.

### Definition von Staubniederschlag

Als Staubniederschlag wird hier die Gesamtablagerung verstanden, die sich als trockene und nasse Deposition aus der Atmosphäre auf Oberflächen wie Boden, Pflanzen, Gebäuden oder Gewässern 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 kann von dort möglicherweise über das Grundwasser oder über pflanzliche Lebensmittel in die Nahrungskette gelangen. 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 dem Bergerhoffverfahren wird die Gesamtdeposition (trocken und feucht) erfasst. Zur Messung gelangt hierbei die über einen Monat durch eine normierte Auffangfläche (Glasöffnung) in das Bergerhoffglas

niedergegangene (sedimentierte) Masse, die im Wesentlichen durch die trockene Deposition bestimmt wird. Im Idealfall ergeben sich 12 Proben je Messpunkt und Jahr. 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 Messpunkt und Jahr aus den Monatsproben zwei Sammelproben gebildet, indem jeweils die Proben für das erste Halbjahr und das zweite Halbjahr 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 Fassung der TA Luft vom Oktober 2002 zugrunde liegen (siehe Tabelle 6).

## Staubbiederschlagsmesswerte des Jahres 2009

Tabelle 7 stellt die Ergebnisse des Staubbiederschlagsmessprogramms für das Jahr 2009 zusammen. Die Gebietsmittelwerte stützen sich dabei auf alle Messpunkte des jeweiligen Gebietes, wobei der Auswertung für den Staubbiederschlag (soweit

vorhanden) 12 Werte pro Messpunkt zugrunde liegen.

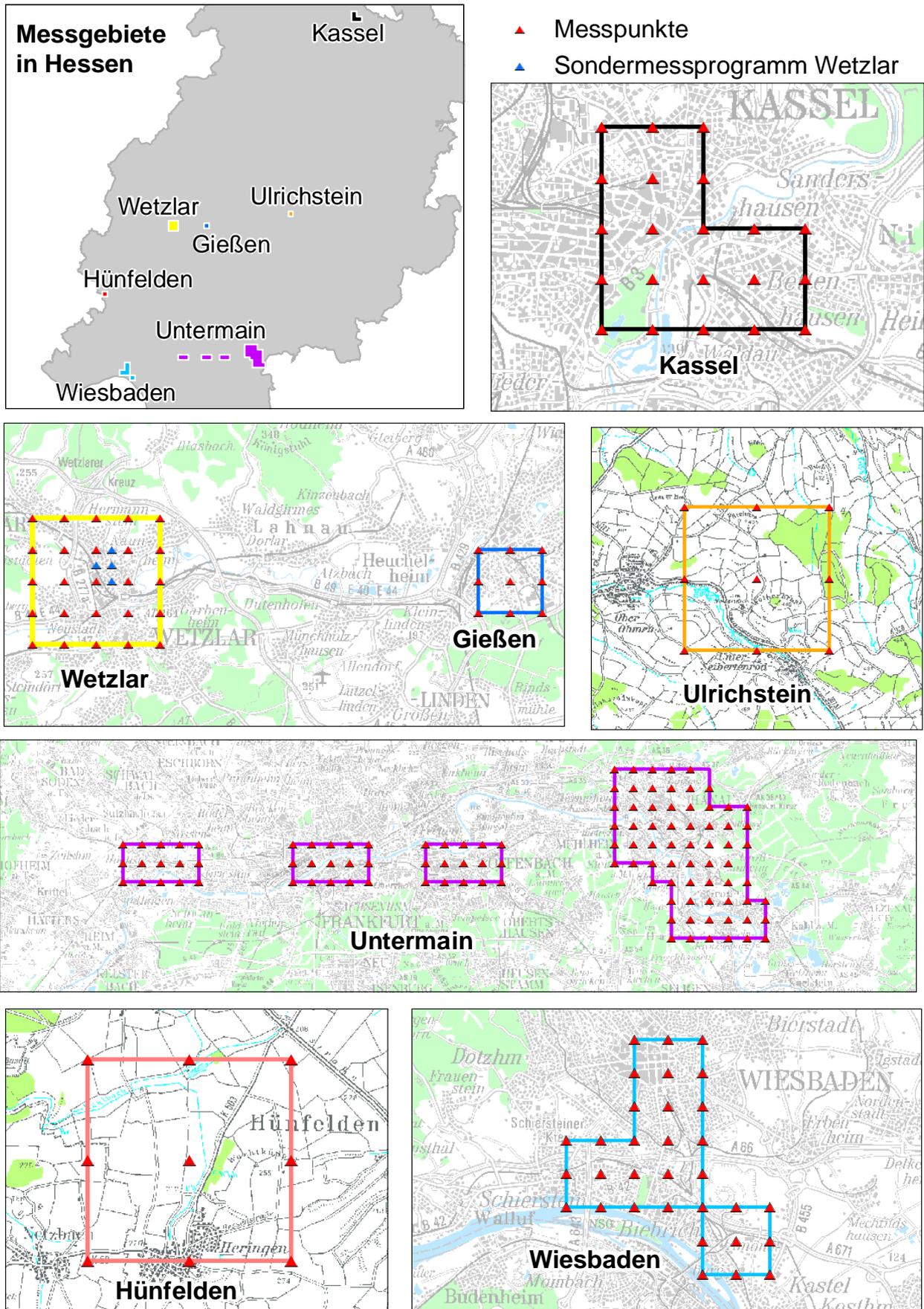
Abbildung 4 beschreibt die zeitliche Entwicklung der Depositionsraten für Staubbiederschlag und die oben genannten Schwermetalle im Zeitraum von 1996 bis einschließlich 2009. Thallium wurde in diese Darstellung nicht mit aufgenommen, da für dieses Element die Nachweisgrenze des angewendeten Verfahrens nicht ausreichte, um eine sinnvolle Trenddarstellung zu erarbeiten.

Nachfolgend werden die Ergebnisse aus den hessischen Staubbiederschlagsmessgebieten für die Messjahre 1996 bis 2009 zusammenfassend dargestellt und beschrieben. Wie bereits oben 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).

Im Bereich Gießen wurden Schwermetalle erst ab dem Jahre 2005 mitgemessen, sodass dort längerfristig rückwirkend, nur Ergebnisse für den Staubbiederschlag ohne die Inhaltsstoffe vorliegen. Entsprechend können in der Trenddarstellung (Abb. 4) die Schwermetallergebnisse aus Gießen erst ab 2005 gezeigt werden.

**Staubbiederschlag:** Abbildung 4 zeigt, dass beim Staubbiederschlag in den Jahren seit 1996 kein eindeutiger Trend der Immissionsbelastung zu erkennen ist. In allen Messgebieten durchläuft die Staubbiederschlagsbelastung in den Jahren 1998 und 1999 ein Minimum und steigt ab 2000 wieder leicht an. Diese nicht eindeutige Entwicklung zeigt sich auch im neuen Jahrzehnt. Die Schwankungen haben ihre Ursache in den von Jahr zu Jahr unterschiedlichen meteorologischen Verhältnissen. Die Messgebiete Hünfelden und Ulrichstein (ländlicher Raum) zeigen für 2009 keine Erhöhung bei den Gebietsmittelwerten für Staubbiederschlag gegenüber 2008. Ulrichstein 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 eher durch die Intensivlandwirtschaft geprägt wird. In allen anderen Messgebieten (Ausnahmen Wiesbaden und Wetzlar) liegt die Belastung durch Staubbiederschlag für das Jahr 2009 etwa auf dem Niveau von 2008, oder niedriger.

Abbildung 3: Messgebiete und Messpunkte für Staubbiederschlag in Hessen



**Tabelle 5:** Beschreibung der 7 Messgebiete für Staubbiederschlag und dessen 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	5548-5557	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 Staubbiederschlag und seine Inhaltsstoffe (TA Luft)

Komponenten	Einheit	Jahresmittelwerte
Staubbiederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	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

Bei Betrachtung der **Gebietsmittelwerte** liegt die Staubbiederschlagsbelastung in allen Messgebieten unterhalb des in der TA Luft vorgeschriebenen Immissionswertes von 350 mg/(m<sup>2</sup> × d). Im Jahr 2009 wurde der höchste Gebietsmittelwert für Staubbiederschlag, mit 116 mg/(m<sup>2</sup> × d) in Wiesbaden ermittelt (siehe auch Tabelle 7). Wie Tabelle 7 weiter zeigt, sind im Jahr 2009 die höchsten Einzelpunktbelastungen durch Staubbiederschlag in den Messgebieten Untermain, Wiesbaden und Wetzlar anzutreffen; doch liegen diese Einzelwerte bis auf eine Ausnahme (Untermain mit 351 mg/(m<sup>2</sup> × d)) unter dem in der aktuellen TA Luft für Staubbiederschlag vorgeschriebenen Immissionswert von 350 mg/(m<sup>2</sup> × d).

**Arsen:** Die Arseneinträge in den Gebieten Untermain, Wetzlar, Kassel und Ulrichstein nahmen seit 1996 bis zum Jahr 2008 mehr oder weniger kontinuierlich ab. Für das Jahr 2009 sind in nahezu allen

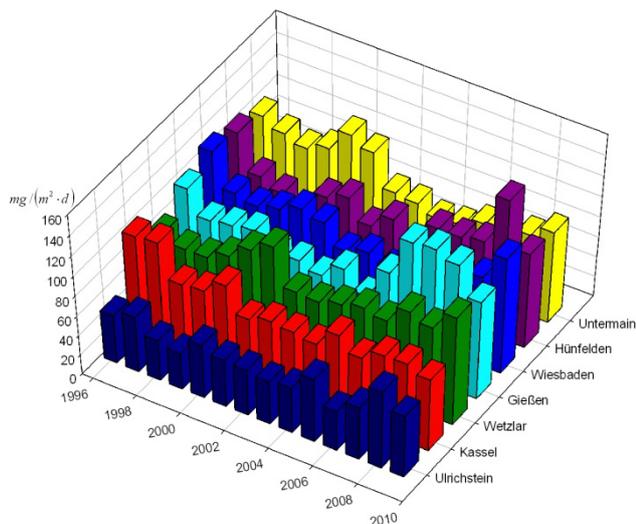
Messgebieten (Ausnahmen: Wiesbaden und Untermain) weiterhin leichte Abnahmen zu verzeichnen. Bei näherer Betrachtung der Maximalwerte für die **punktweise Auswertung** der Arsendeposition, sind Messpunkte mit Intensivlandwirtschaft in Hünfelden und im Untermaingebiet auffällig geworden. Eine weitere Auffälligkeit zeigte ein Messpunkt in Wiesbaden mit Erhöhung der Arsendeposition, in der Nähe eines Kohlekraftwerkes bzw. in der Nähe eines Zementwerkes. Für 2009 weist mit einem Gebietsmittelwert von 1,3 µg/(m<sup>2</sup> × d) Wiesbaden die höchste Depositionsrate der hessischen Messgebiete auf. Die zweithöchste Arsendepositionsrate mit 1,2 µg/(m<sup>2</sup> × d) wurde im Messgebiet Hünfelden ermittelt. Eine Abnahme von 50 % gegenüber 2008 (von 1,2 auf 0,6 µg/(m<sup>2</sup> × d)) ist bei den Sondermesspunkten in Wetzlar für das Jahr 2009 zu verzeichnen.

**Tabelle 7:** Jahresmittelwerte des Staubniederschlags und dessen Inhaltsstoffe im Messjahr 2009

Messgebiet	Komponente	Einheit	punktweise Auswertung		Gebietsmittelwert
			Minimum	Maximum	
Gießen	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	42	162	99
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,2	0,4	0,3
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	2	4	2,7
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,07	0,17	0,11
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,0	5,2	2,6
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05
Hünfelden	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	49	219	95
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,2	7,1	1,2
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	2	16	4,1
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,1	0,5	0,2
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,9	18,4	3,6
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	0,46	0,08
Kassel	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	32	148	74
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,3	2,0	0,5
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	3	23	5,0
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,1	0,6	0,2
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,2	7,2	2,3
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05
Ulrichstein	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	39	102	64
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,1	0,4	0,2
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1	2	1
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	0,12	0,1
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,8	1,5	1,2
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05
Untermain	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	43	351	91
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,2	10,5	0,65
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	2	205	5,8
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,1	1,6	0,2
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,0	18,2	2,4
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	0,2	≤ 0,05
Wetzlar	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	49	256	110
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,2	2,0	0,4
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1	26	4,1
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,7	1,0	0,2
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,3	11,1	3,5
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	0,6	0,07
Wiesbaden	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	56	284	116
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,4	6,4	1,3
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	2	28	5,2
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,1	0,8	0,2
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,1	4,8	2,0
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	0,2	≤ 0,05
Sonderprogramm- Wetzlar siehe Abbildung 3 (Blaue Dreiecke)	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	86	125	107
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,3	0,9	0,6
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	2	10	5,8
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,2	0,5	0,3
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	4,6	15,8	8,7
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	≤ 0,05	0,2	0,1

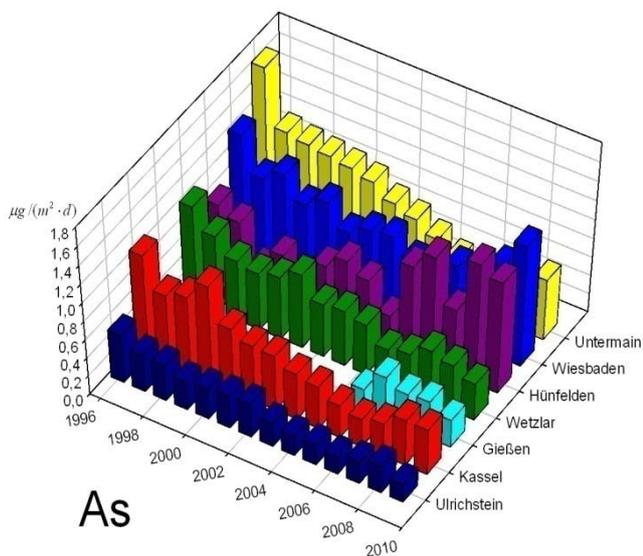
**ROT:** Überschreitung eines Immissionswertes nach TA Luft [3]

**Abbildung 4:** Zeitreihen der mittleren Belastung durch Staubniederschlag und seine Inhaltsstoffe in den hessischen Messgebieten für den Zeitraum von 1996 bis 2009

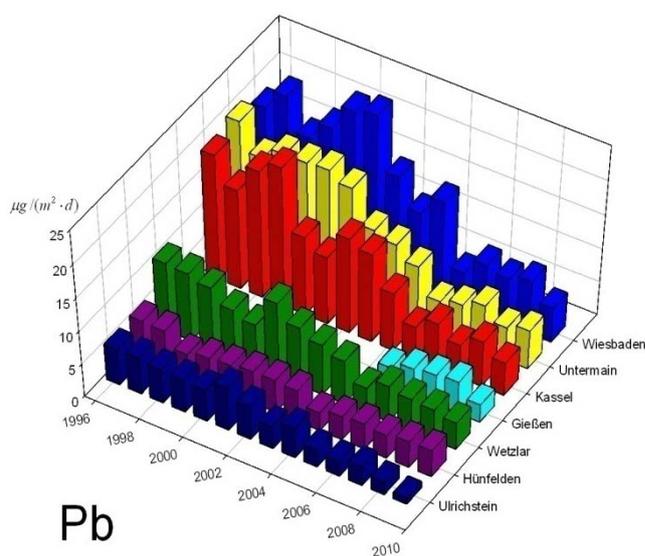


**Staubniederschlag**

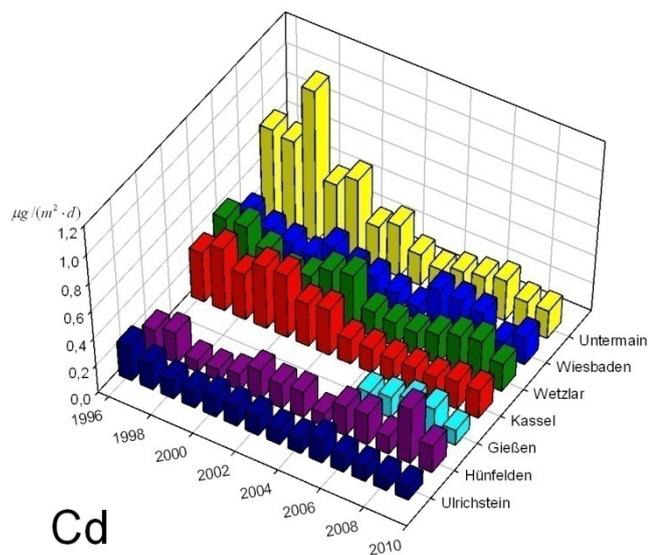
7 Messgebiete	Anzahl der Messpunkte	Größe
Untermain	111	73 km <sup>2</sup>
Kassel	21	13 km <sup>2</sup>
Wiesbaden	32	21 km <sup>2</sup>
Gießen	9	4 km <sup>2</sup>
Wetzlar	25	16 km <sup>2</sup>
Hünfelden	9	4 km <sup>2</sup>
Ulrichstein	9	4 km <sup>2</sup>



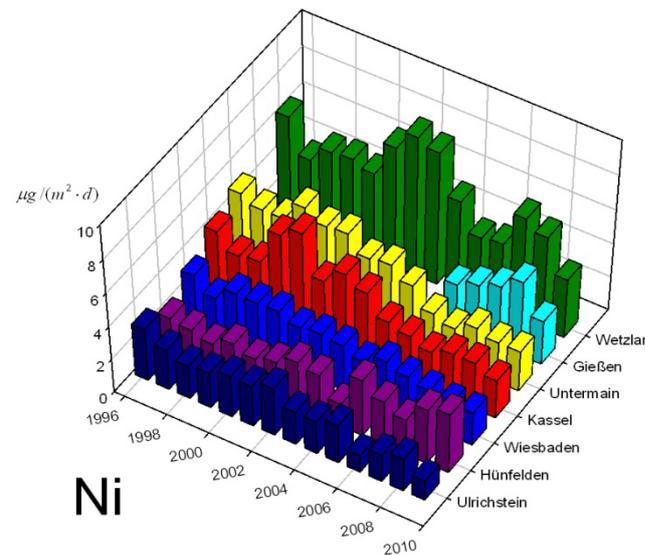
**As**



**Pb**



**Cd**



**Ni**

**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 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 relativ hohen 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 dieser Zeit dort noch keine Schwermetalle gemessen wurden. Für das Jahr 2009 lässt sich feststellen, dass für die Bereiche Hünfelden und Untermain bei den **Gebietsmittelwerten**, leichte Erhöhungen zu verzeichnen sind. In allen anderen Gebieten ergibt sich eine leichte Absenkung der Werte für das Jahr 2009. Auch ist im Bereich der vier Sondermesspunkte im Messgebiet Wetzlar eine Absenkung von vormals  $12,8 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  in 2008 auf  $5,8 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  in 2009 zu verzeichnen. Der in der TA Luft für die Bleideposition vorgeschriebene Immissionswert von  $100 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  wurde 2009 an der überwiegenden Zahl der Messpunkte des Depositionsmessnetzes deutlich unterschritten. Lediglich an einem Messpunkt (Punktauswertung) im Süden von Hessen wurde 2009 für den Bleieintrag ein Höchstwert von  $205 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  ermittelt.

**Cadmium:** Cadmium spielt überwiegend in der Metall verarbeitenden Industrie eine Rolle. Entsprechend können in solchen Gebieten höhere Depositionsraten auftreten. Wie der zeitliche Verlauf in annähernd allen Messgebieten zeigt, haben dort emissionsmindernde Maßnahmen im Bereich der Metallindustrie zu einem Rückgang der Cadmiumbelastung geführt. Für 2009 ist im Bereich Wiesbaden und Hünfelden eine leichte Zunahme gegenüber 2008 zu verzeichnen. Alle anderen Messgebiete zeigen in 2009 einen Gleichstand bzw. eine leichte Abnahmen gegenüber 2008.

Insgesamt wird ersichtlich, dass der Cadmиеintrag im Jahre 2009 an allen hessischen Messpunkten den in der TA Luft vorgeschriebenen Immissionswert von  $2 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  (Tab. 7) deutlich unterschreitet.

**Nickel:** Der in Abbildung 4 dargestellte zeitliche Trend der Immissionsbelastung durch die Deposition von Nickel entspricht mit Hinblick auf eine

Abnahmetendenz z.T. dem für Cadmium beschriebenen Bild. In den Bereichen Gießen, Kassel, Ulrichstein, Untermain, Wetzlar und Wiesbaden zeigt sich für 2009 ein Rückgang bzw. ein Gleichstand der Immissionsbelastung bezogen auf das Jahr 2008. Hünfelden zeigt eine leichte Zunahme bei den Gebietsmittelwerten gegenüber 2008. In Ballungsräumen wurden früher höhere Einträge für Nickel ermittelt als in den beiden emittentenfern gelegenen Gebieten Hünfelden und Ulrichstein. Jedoch zeigt sich auch für Nickel, dass sich die Depositionsraten in den Ballungsräumen und den emittentenfernen Bereichen weiter aneinander angleichen. Ausnahmen bzw. Ausnahmeerscheinungen bei der **punktweisen Auswertung** für 2009 bilden Hünfelden mit  $18,4 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$ , Untermain mit  $18,2 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  und ein Sondermesspunkt in Wetzlar mit  $15,8 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$ .

Hier ein Rückblick 2006 bis 2009 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, stieg im Jahre 2008 wieder auf  $27,8 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  und ging im Jahre 2009 auf  $15,8 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  zurück.

Somit liegt in 2009 in den Messgebieten Hünfelden, Untermain und Wetzlar eine Überschreitung des in der TA Luft vorgeschriebenen Immissionswertes von  $15 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  vor.

**Thallium:** Für Thallium wurde in Abbildung 4 auf die Trenddarstellung verzichtet, weil die ermittelte Immissionsbelastung meist unterhalb der Nachweisgrenze des angewendeten Messverfahrens liegt. Wie Tabelle 7 zeigt, wird der in der TA Luft für den Thalliumeintrag vorgeschriebene Immissionswert von  $2 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  in allen Fällen sehr deutlich unterschritten.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass (bis auf wenige Ausnahmen) seit 1996 in den hessischen Messgebieten ein Rückgang der Schwermetalldepositionsraten zu verzeichnen ist, während die Staubniederschlagsbelastung derzeit keinen eindeutigen Trend sondern eher einen Gleichstand in den Jahren 2007 bis 2009 aufweist.

## Hessisches PAK-Messprogramm

PAK (Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe) 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. Andere Belastungsquellen sind Straßenstaub und Tabakrauch. 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 durch den Niederschlag, Regen (Regen, Schnee) 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.

## Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe

PAK wurden seit Mitte der 80er Jahre sporadisch im Rahmen von Sondermessprogrammen unter anderem für die Erstellung von Luftreinhalteplänen gemessen. Eine Beschreibung dieser ersten Messprogramme sowie deren Ergebnisse für die Jahre 1986 bis 2004 können 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] über-

nommen wurden. In der 4. Tochterrichtlinie [5] wurde für Benzo(a)pyren als Indikatortestsubstanz für die Immissionsbelastung durch PAK ein Zielwert festgelegt.

Der Zielwert beträgt als Jahresmittelwert  $1 \text{ ng/m}^3$  und soll ab dem Jahr 2012 eingehalten werden.

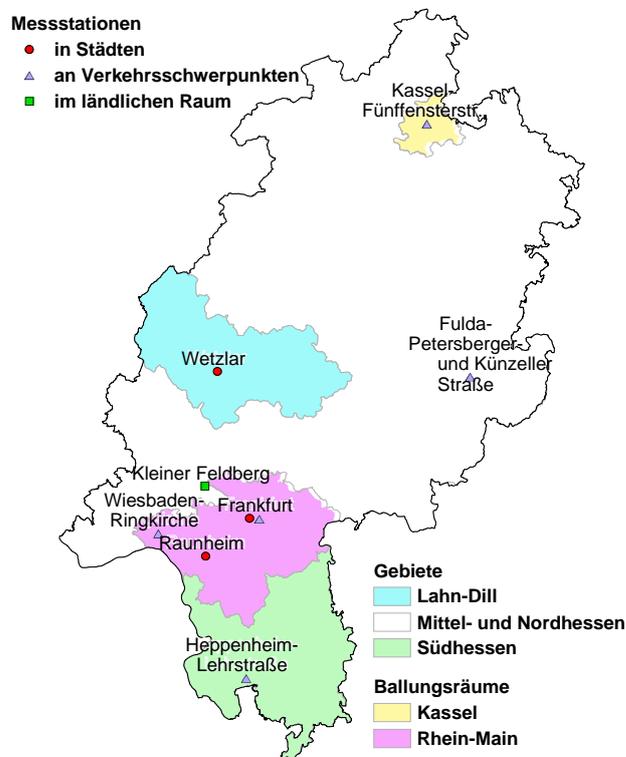
Die Messungen der PAK Benzo(a)pyren und zusätzlich Benz(a)anthracen, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(j)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren, Indeno(1.2.3-cd)pyren und Dibenz(ah)anthracen erfolgen nach der 22. BImSchV [2] als Bestandteile der  $\text{PM}_{10}$ -Staubfraktion.

Auch im Jahre 2009 wurden an 10 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, 4 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 2009

	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
●	Fulda-Künzellerstraße (Zentralfriedhof)	35493	56012	295	9°40'10"	50°31'02"	Innenstadt, städtischer Hintergrund
▲	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, emittentenfern
●	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 PM<sub>10</sub>-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, und dafür sorgt, dass nur die Staubpartikelfraktion PM<sub>10</sub> erfasst wird. Die eingesetzten Probenahmegeräte sind als automatische Probenwechsler ausgelegt, die bis zu 14 Filter nacheinander selbstständig 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 PM<sub>10</sub>-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 PM<sub>10</sub>-Staub aus einem Luftvolumen von ca. 720 m<sup>3</sup>.

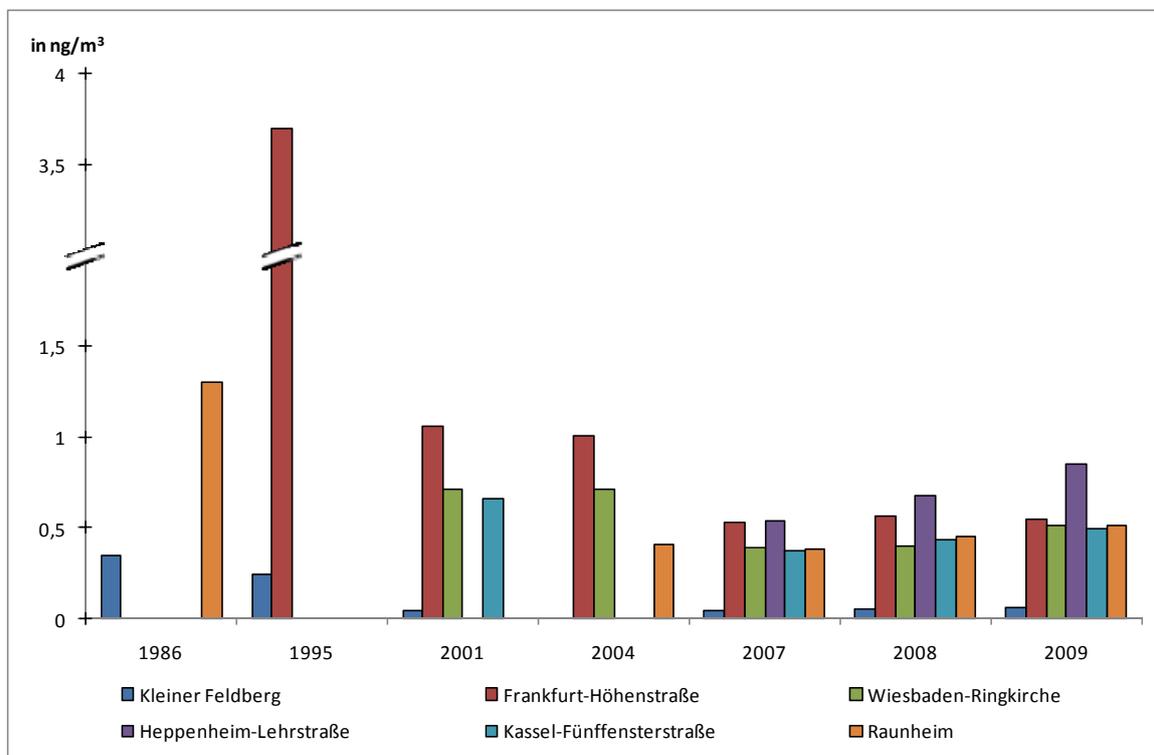
Die Bestimmung der PM<sub>10</sub>-Konzentrationswerte und die anschließende Analyse der Proben auf die vorgenannten PAK (Benzo(a)pyren, Benz(a)anthracen, Benzo(b+k+j)fluoranthren, Indeno(1.2.3-cd)pyren und Dibenz(ah)anthracen) wurden von einem externen Analyseninstitut durchgeführt.

## PAK-Werte für 2009

**Tabelle 9:** Jahresmittelwerte der gemessenen PAK im Jahr 2009

		BaP	BaA	BF (b+j+k)	DBA	INP
		Benzo(a)pyren	Benzo(a)-anthracen	Benzo( b,j,k )-fluoranthen	Dibenz(ah)-anthracen	Indeno-(1.2.3-cd)-pyren
		[ng/m <sup>3</sup> ]	[ng/m <sup>3</sup> ]	[ng/m <sup>3</sup> ]	[ng/m <sup>3</sup> ]	[ng/m <sup>3</sup> ]
	<b>Zielwerte</b>	<b>1</b>	-	-	-	-
	<b>Stationsname</b>					
▲	Ffm.-Höhenstraße	0,55	0,52	1,52	0,08	0,7
●	Ffm.-Palmengarten	0,33	0,20	0,94	0,06	0,45
▲	Fulda-Petersberger-Str.	0,52	0,43	1,36	0,08	0,64
●	Fulda-Künzeller-Str.	0,48	0,24	2,5	0,08	0,64
▲	Heppenheim-Lehrstraße	0,85	0,61	2,16	0,12	0,99
▲	Kassel-Fünffensterstraße	0,49	0,35	1,29	0,08	0,60
■	Kleiner Feldberg	0,06	0,05	0,22	0,02	0,10
●	Raunheim	0,51	0,27	1,35	0,82	0,62
●	Wetzlar	0,60	0,34	1,50	0,90	0,70
▲	Wiesbaden-Ringkirche	0,51	0,56	1,39	0,08	0,63

- In Städten
- Im ländlichen Raum
- ▲ Am Verkehrsschwerpunkt



**Abbildung 6:** Zeitreihe der an den PAK-Messstationen ermittelten Jahresmittelwerte für Benzo(a)pyren 1986 bis 2009

**Benzo(a)pyren (BaP):** Bei der ersten Erfassung des BaP in Hessen im Jahr 1986/87 wurden Messwerte bis zu 2,3 ng/m<sup>3</sup> ermittelt (siehe auch Umweltatlas Hessen unter <http://atlas.umwelt.hessen.de/atlas>). Bei der zweiten Erhebung im Jahr 1995/96 wurde mit Ausnahme der Messstelle Höhenstraße in Frankfurt am Main ( Jahresmittelwert 1995 für Benzo(a)pyren 3,7 ng/m<sup>3</sup>) an allen Messstellen der ab 2012 einzuhaltende Zielwert von 1 ng/m<sup>3</sup> unterschritten. Doch selbst am Standort Höhenstraße wird der Zielwert seit 2001 eingehalten.

Allgemein kann gesagt werden, dass die verkehrsbezogenen Stationen im Regelfall höhere Messwerte liefern als vergleichbare Stadt- und Hintergrundstationen. Insbesondere 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 2009 ermittelt.

Die Benzo(a)pyrenkonzentration und auch die Konzentrationen der anderen gemessenen PAK gingen von 1986 bis zum Jahre 2007 kontinuierlich zurück. Im Jahre 2007 wurden die niedrigsten BaP-Konzentrationen im gesamten Messzeitraum ermittelt. 2008 erfolgte jedoch eine leichte Erhöhung gegenüber 2007. Im Jahre 2009 ist bei 8 von 10 Messstationen erneut eine leichte Erhöhung der ermittelten Benzo(a)pyrenkonzentrationen gegenüber 2008 zu verzeichnen. Die Messwerte bewegen sich jedoch nur auf leicht erhöhtem Niveau gegenüber dem Vorjahr 2008. Auch der höchste Jahresmittelwert von 0,85 ng/m<sup>3</sup> gemessen an der Station in Heppenheim, bleibt unterschreitet den Zielwert von 1 ng/m<sup>3</sup>. Es liegen daher für das Jahr 2009 keine Zielwertüberschreitungen vor (Abbildung 6).

Am Kleinen Feldberg im Taunus ist seit 2001 keine wesentliche Veränderung der BaP-Konzentration 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 aufgeführte Station in Wiesbaden dient der Qualitätssicherung der BTX-Messung mit Passivsammlung durch Vergleichsmessungen mit der dort parallel laufenden kontinuierlichen Messung.

Passivsammler im vorliegenden Fall: Aktivkohleröhrchen zeichnen sich auch dadurch aus, dass sie deutlich preisgünstiger als ein BTX-Messplatz sind und dennoch gleichwertige Ergebnisse liefern können. Dies gilt allerdings nur insofern, als lediglich der Vergleich mit dem vorgeschriebenen Jahresmittel als Grenzwert gefordert und daher eine hohe zeitliche Auflösung der Messergebnisse nicht unbedingt notwendig 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
Gießen-Westanlage	3476601	5605432	171	8°40'11"	50°35'07"	Innenstadt, Straßenschlucht
Marburg-Universitätsstraße	3483818	5630202	195	8°46'14"	50°48'29"	Innenstadt, Straßenschlucht
Wiesbaden-Ringkirche	3444979	5549276	145	8°13'54"	50°04'42"	Innenstadt, Kreuzungsreich, Verkehrsmesspunkt
Reinheim	3488002	5521264	161	8°49'56"	49°49'40"	Innenstadt, Straßenschlucht

**Abkürzungen:**

**RW:** Rechtswert (Gauß-Krüger)

**HW:** Hochwert (Gauß-Krüger)

**H. ü. NN:** Höhe über Normalnull

## BTX-Aromaten

BTX ist die Abkürzung für die Lösemittel 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 aktive oder 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 Lösemittel. 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. Seit dem 01.01. 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.

**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.

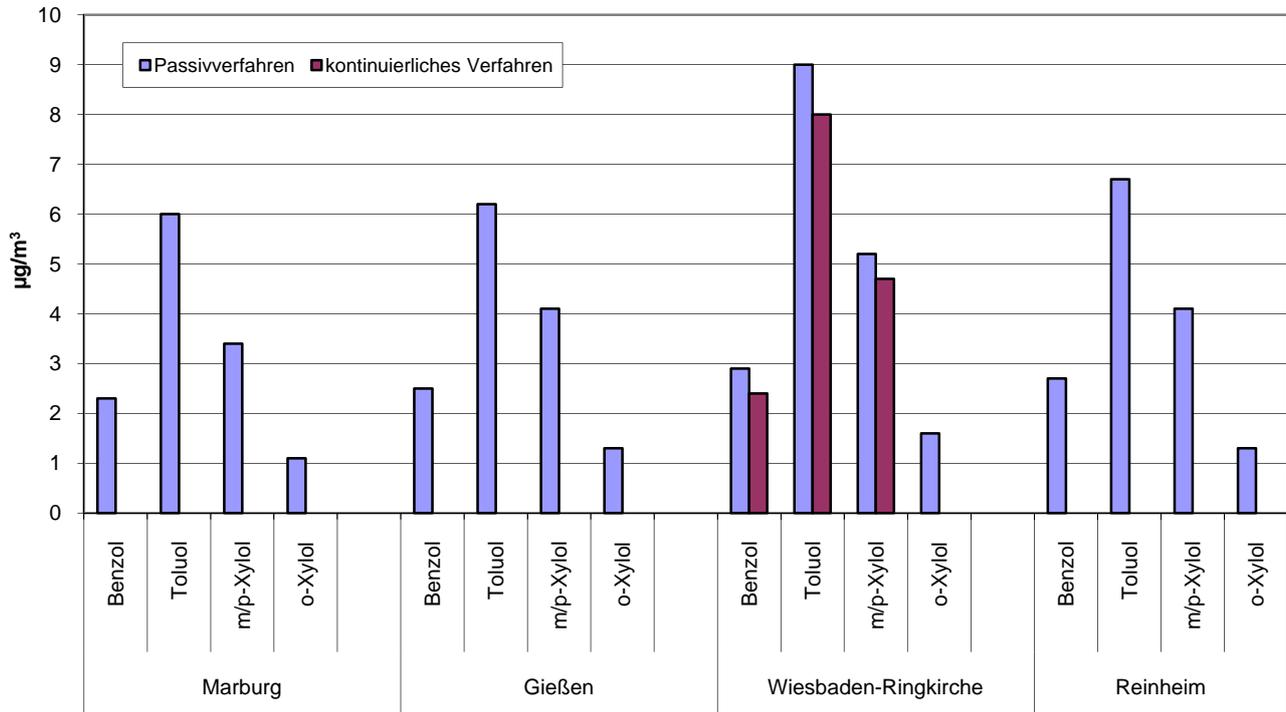
Wie Toluol ist auch Xylol gesundheitsschädlich.

Xylol wird aus den aromatischen Fraktionen in Erdölraffinerien gewonnen. In der Industrie verwendet man Xylol (hierbei handelt es sich um ein Gemisch aus den 3 Isomeren) als Lösemittel. Außerdem ist es ein Ausgangsprodukt zur Kunststoffherstellung.

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 2009

**Abbildung 7:** Jahresmittelwerte der BTX-Konzentration erhoben nach der Passivsammelmethode sowie Vergleich mit den Ergebnissen des kontinuierlich registrierenden BTX-Messplatzes an einem Standort



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 den in der 22. BImSchV ab 2010 vorgeschriebenen Grenzwert von  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahresmittel. 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 2009, Teil I, enthält und beschreibt weitere Ergebnisse der im Jahr 2009 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 (GMBI. 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, Cadmium, 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 Ottokraftstoffen für Kraftfahrzeugmotoren (Benzinbleigesetz – BzBlG) 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:**

Dipl. - Ing. Christoph Deuter

Dipl. - Ing. Nicolai Föll

Dipl. - Ing. Detlef Hagemann

Dipl. - Ing. Rolf Paul

(Hessisches Landesamt für Umwelt  
und Geologie 2009)

### **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.hessen.de](mailto:vertrieb@hlug.hessen.de)