



Lufthygienischer Jahresbericht 2010

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 **Polyzyklischen 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 anorganischer Inhaltsstoffe (insbesondere Schwermetalle) im Schwebstaub und in der Deposition. Wie auch im Luftmessnetz Hessen ist die Grundlage der Schwebstaubmessung die Probenahme der Partikelfraktion PM_{10} ; damit wird der sogenannte Feinstaub (PM_{10}) erfasst, der sich aus den in der Atmosphäre verteilten Partikeln mit einem Durchmesser kleiner als $10\ \mu m$ (entsprechend einem Hundertstelmillimeter) zusammensetzt.

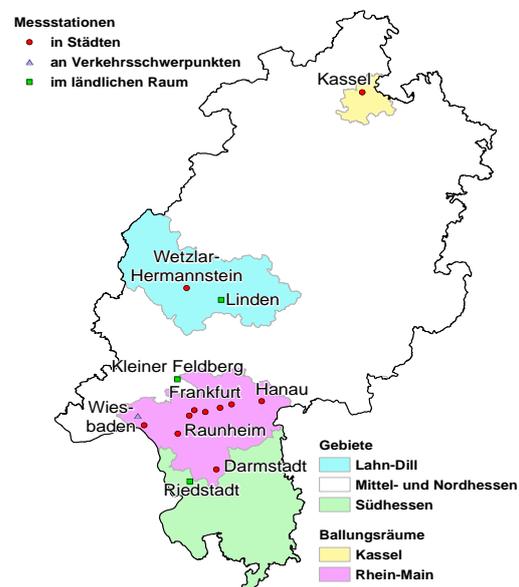
Die Verpflichtung zur landesweiten Immissionsüberwachung ergibt sich aus den EG-Luftqualitätsrichtlinien [1, 2], die durch das Bundes-Immissionsschutzgesetz [3] und die 39. Verordnung dazu [4] in deutsches Recht umgesetzt wurden. Die hier beschriebenen Programme dienen der Umsetzung der 39. BImSchV sowie der Ermittlung von Basisdaten für die Beurteilung der Vorbelastung im Rahmen von Genehmigungsverfahren. Die genannten EG-Richtlinien und deren Umsetzung in deutsches Recht beinhalten unter anderem Vorgaben für die Beurteilung der lufthygienischen Belastungssituation durch Inhaltsstoffe des Schwebstaubs in Form von Grenz- und Zielwerten für einige Schwermetalle und für Benzo(a)pyren. Als Beurteilungsgrundlagen für den Staubniederschlag (Gesamtdeposition) und einige Schwermetalle als Bestandteile der Gesamtdeposition können die Immissionswerte der TA Luft [5] herangezogen werden.

Schwebstaubmessprogramm

In Hessen werden Schwebstaubimmissionsmessungen seit 1976 fortlaufend durchgeführt. 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 2010 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)

○ 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 2010 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 Zielwert festgelegt wurde.

Atmosphärischer Staub

Unter Schwebstaub versteht man in Abgrenzung zu groben Partikeln des Staubniederschlags den Anteil 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 Parti-

kel (siehe auch VDI-Richtlinie 2463, Blatt 1). Die Größe der Partikel und ihre chemische Zusammensetzung bestimmen zu einem Großteil 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 Mikrometer (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/cm³), welche in ruhender oder wirbelfrei strömender Luft dieselbe Sinkgeschwindigkeit hat wie das betrachtete "reale" Teilchen.

In der 39. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (39. 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

Entsprechend der 39. BImSchV ist der Schwebstaub 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: "Polyzyklische 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 Staubimmissionsbelastung. Bis zum Jahr 2000 wurde mit dem gravimetrischen Verfahren der sogenannte Gesamtstaub (TSP, Total Suspended Particulate Mat-

ter) erfasst. Ab 2001 wurde die Probenahme 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 39. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz schreibt unter anderem für PM_{10} 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 (ab 2010 in die 39. 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 Immissionsgrenzwert 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 2010 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" aber auch an der Station "Ffm.-Mitte" erreicht. Der in diesem Jahr relativ hohe Schwebstaubwert an der Station "Ffm.-Mitte" resultiert aus den umfangreichen Abrissarbeiten des Technischen Rathauses. (Die Entfernung zur Messstelle beträgt ca. 60m).

Tabelle 2: Beginn der Messungen der einzelnen Komponenten an den Messstationen

	Stationsname	Gesamtstaub (TSP)	Feinstaub (PM ₁₀)	Arsen	Blei	Cadmium	Nickel	Kontinuierliches Messverfahren ¹⁾
○	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	X
■	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

¹⁾ An diesen Messstationen werden zusätzlich kontinuierliche PM₁₀-Messungen 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	Gesetzliche Grundlagen
PM ₁₀	24-h-Wert	µg/m ³	50 (35mal)	—	2005	39. BImSchV
	Jahresmittel	µg/m ³	40	—	2005	39. BImSchV
Arsen ¹⁾	Jahresmittel	ng/m ³	—	6	2012	39. BImSchV
Blei ¹⁾	Jahresmittel	µg/m ³	0,5	—	2005	39. BImSchV
Cadmium ¹⁾	Jahresmittel	ng/m ³	—	5	2012	39. BImSchV
Nickel ¹⁾	Jahresmittel	ng/m ³	—	20	2012	39. BImSchV

¹⁾ Gesamtgehalt in der PM₁₀-Fraktion

Tabelle 4: Jahresmittelwerte des Schwebstaubs (PM₁₀) und dessen Inhaltsstoffe im Messjahr 2010

	Stationsname	Feinstaub (PM ₁₀)	Arsen	Blei	Cadmium	Nickel
		µg/m ³	ng/m ³	µg/m ³	ng/m ³	ng/m ³
○	Darmstadt	21	0,6	0,005	0,1	0,6
○	Ffm.-Griesheim	24	0,8	0,006	0,3	1,3
○	Ffm.-Höchst	24	0,7	0,005	0,1	0,9
○	Ffm.-Sindlingen	23	0,9	0,006	0,1	0,7
○	Ffm.-Mitte	26	0,8	0,006	0,2	1,1
○	Ffm.-Ost	24	0,7	0,007	0,1	1,1
○	Hanau-Mitte	22	0,6	0,005	0,1	2,4
○	Kassel-Mitte ¹⁾	21	0,5	0,004	0,1	0,8
■	Kleiner Feldberg	11	0,4	0,003	0,1	< 0,5
■	Linden-Leihgestern	19	0,5	0,005	0,1	0,7
○	Raunheim	22	0,6	0,005	0,1	1,2
■	Riedstadt	22	0,8	0,006	0,1	0,8
○	Wetzlar-Hermannstein	23	0,9	0,009	0,2	4,3
▲	Wiesbaden-Ringkirche	26	0,9	0,006	0,1	1,1
○	Wiesbaden-Süd	21	1,1	0,006	0,1	0,7

○ in Städten

▲ am Verkehrsschwerpunkt

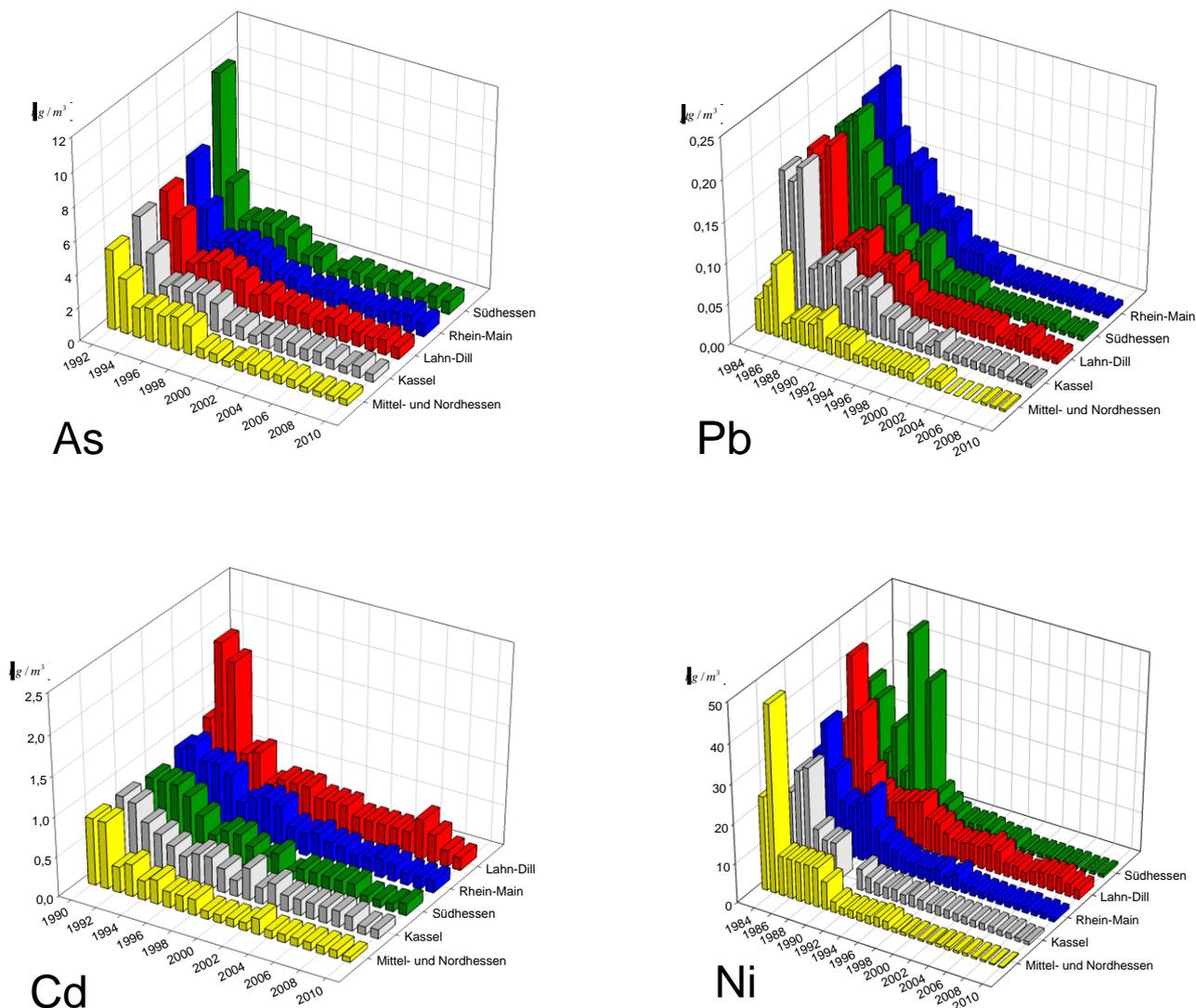
■ im ländlichen Raum

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 Luftmessnetz kontinuierlich erhobenen Daten vorgenommen (siehe Lufthygienischer Jahresbericht Teil I, 2010).

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 39. BImSchV jeweils vorgeschriebenen unteren Beurteilungsschwellen deutlich unterschritten werden. Abbildung 2 stellt die langfristigen Trends der Immissionsbelastung für die Metalle dar, für die in der 39. 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)



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

¹⁾ Diese Stationen werden bereits seit 2007 nicht mehr betrieben.

Wie aus Tabelle 4 und Abbildung 2 zu erkennen ist, werden der Grenzwert für Blei (in Kraft seit 2005) und auch die Zielwerte für Arsen, Cadmium und Nickel (39. BImSchV, 4. TRL) [4, 2], die bis 2013 erreicht werden sollen, bereits heute deutlich unterschritten. Im Allgemeinen geht die Schwermetall-

belastung seit Messbeginn bis 2010 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 Immissionsituation in den beiden erstgenannten Gebieten überwiegend

durch den ländlichen Raum geprägt ist, spielen in den Ballungsräumen Emissionsquellen aus den Bereichen Straßenverkehr, Feuerungsanlagen und Industrie eine bedeutendere Rolle. Dies zeigt sich insbesondere im Gebiet Lahn-Dill, wo die Immissionsituation unter anderem 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 ng/m^3 und erreichen im Jahr 2010 nur noch maximal 18 % 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 im Wesentlichen eine Folge der stufenweisen Reduzierung des Bleigehaltes im Benzin durch das Benzin-Blei-Gesetz [6] und die entsprechende EG-Richtlinie [7].

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 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 belegt. Der vorgeschriebene Zielwert von 20 ng/m^3 wird an allen Messpunkten (Tabelle 4) im Jahr 2010 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 Bestandteil 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 2010

Staubniederschlag wird in Hessen seit 1969 gemessen und wurde früher flächenbezogen ($1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ Rasterflächen) ausgewertet. Mit der Neufassung der TA Luft vom 24. Juli 2002 [3] wurde auch für das hessische Staubniederschlagsmessprogramm die messpunktbezogene Auswertung eingeführt. Hierzu werden aus allen 12 Monatsmesswerten Jahresmittelwerte gebildet. Im Jahre 2010 wurde der Staubniederschlag in sieben Messgebieten, an insgesamt 220 Messpunkten ermittelt. Durch die Betrachtung der einzelnen Messpunkte kommen lokale Einflüsse stärker zur Geltung als bei der flächenbezogenen Betrachtung. In Abbildung 3 sind die Bereiche von Hessen, in denen Staubniederschlagsmessungen durchgeführt werden, dargestellt. Sie zeigt in einem Ausschnitt die geographische Lage der unterschiedlichen Messgebiete. Weiterhin sind dort auch die Messraster (Maschenweite: $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$) in den einzelnen Messgebieten 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, hat temporären Charakter und dient der besseren Erfassung der Deposition in einem Gebiet ausgeprägter industrieller Aktivität. 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 niederschlägt. 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 [8] wird die Gesamtdeposition (trocken und feucht) erfasst. Zur Messung gelangt hierbei die über einen Monat durch eine normierte Auffangfläche (Glasöffnung) in das Bergerhoffglas

abgelagerte (sedimentierte) Masse. 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 für das zweite Halbjahr vereinigt werden. Der Jahresmittelwert der Schwermetallniederschlagsrate wird aus den Analyseergebnissen 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) [5] herangezogen, wobei der Beurteilung der Immissionsbelastung in diesem Bericht für alle Messjahre die Immissionswerte der Fassung der TA Luft vom Juli 2002 zugrunde liegen (siehe Tabelle 6).

Staubbiederschlagsmesswerte des Jahres 2010

Tabelle 7 stellt die Ergebnisse des Staubbiederschlagsmessprogramms für das Jahr 2010 zusammen. Die Gebietsmittelwerte stützen sich dabei auf alle Messpunkte des jeweiligen Gebiets, 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 2010. 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 2010 zusammenfassend dargestellt und beschrieben. Wie bereits oben erläutert, wird die Immissionsituation auf Basis der in der TA Luft vom Juli 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 mit gemessen, 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 2010 keine Erhöhung bei den Gebietsmittelwerten für Staubbiederschlag gegenüber 2009. 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 Immissionsituation eher durch die Intensivlandwirtschaft geprägt wird. In den anderen Messgebieten ist die Entwicklung von 2009 auf 2010 uneinheitlich. Während die mittleren Niederschlagsraten in den Gebieten Kassel, Wetzlar und Wiesbaden in 2010 etwas niedriger lagen, waren sie in den restlichen Gebieten etwas höher. Die Unterschiede liegen im Rahmen der in den letzten Jahren beobachteten Schwankungen.

Abbildung 3: Messgebiete und Messpunkte für Staubbiederschlag in Hessen

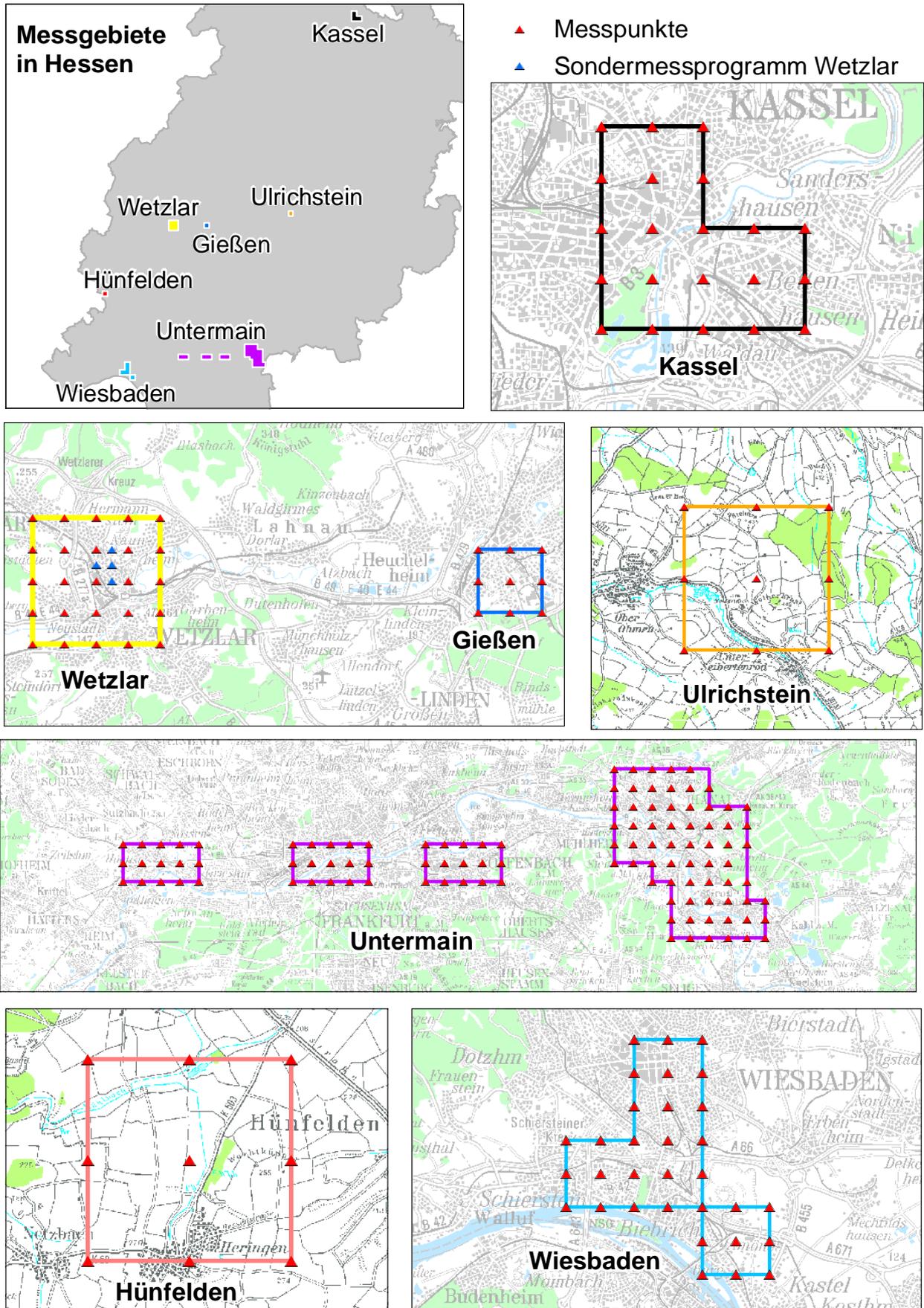


Tabelle 5: Beschreibung der 7 Messgebiete für Staubbiederschlag und dessen Inhaltsstoffe

Messgebiete	Rechtswerte	Hochwerte	Größe des Messgebietes	Gebietsbeschreibung
Gießen	3476-3478	5603-5605	4 km ²	Stadtgebiet, teilweise Industrie
Hünfelden	3436-3438	5576-5578	4 km ²	ländliches, emissionsfernes Vergleichsmessgebiet (Intensivlandwirtschaft)
Kassel	3534-3538	5685-5689	13 km ²	Stadtgebiet, teilweise Industrie
Ulrichstein	3509-3511	5608-5610	4 km ²	ländliches, emissionsfernes Vergleichsmessgebiet (Grünland)
Untermain	3466-3500	5548-5557	73 km ²	Stadtgebiet, teilweise Industrie
Wetzlar	3462-3466	5602-5606	16 km ²	Stadtgebiet, teilweise Industrie
Wiesbaden	3443-3449	5543-5550	21 km ²	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 nach (TA Luft)

Komponenten	Jahresmittelwerte
Staubbiederschlag	350 mg / (m ² × d)
Arsen	4 µg / (m ² × d)
Blei	100 µg / (m ² × d)
Cadmium	2 µg / (m ² × d)
Nickel	15 µg / (m ² × d)
Thallium	2 µg / (m ² × d)

Im Jahr 2010 wurde der höchste Gebietsmittelwert für Staubbiederschlag mit 129 mg/(m² × d) in Gießen ermittelt (siehe auch Tabelle 7). Wie Tabelle 7 weiter zeigt, unterschreiten im Jahr 2010 alle Einzelpunktbelastungen den in der aktuellen TA Luft für Staubbiederschlag vorgeschriebenen Immissionswert von 350 mg/(m² × d).

Arsen: Die Arseneinträge in den Gebieten Untermain, Wetzlar, Kassel und Ulrichstein nahmen seit 1996 bis zum Jahr 2009 mehr oder weniger kontinuierlich ab. Für das Jahr 2010 sind in nahezu allen Messgebieten (Ausnahmen: Gießen und Wetzlar) weiterhin leichte Abnahmen zu verzeichnen. Bei näherer Betrachtung der Maximalwerte für die

punktweise Auswertung der Arsendeposition gemäß TA-Luft, waren in 2009 Messpunkte mit Intensivlandwirtschaft in Hünfelden und im Untermaingebiet auffällig geworden. Hier zeigt sich eine deutliche Abnahme, so dass in 2010 keine Überschreitung des Immissionswertes nach TA Luft festzustellen ist.

Für 2010 weist mit einem Gebietsmittelwert von 1,0 µg/(m² × d) Wiesbaden die höchste Depositionsrates der hessischen Messgebiete auf.

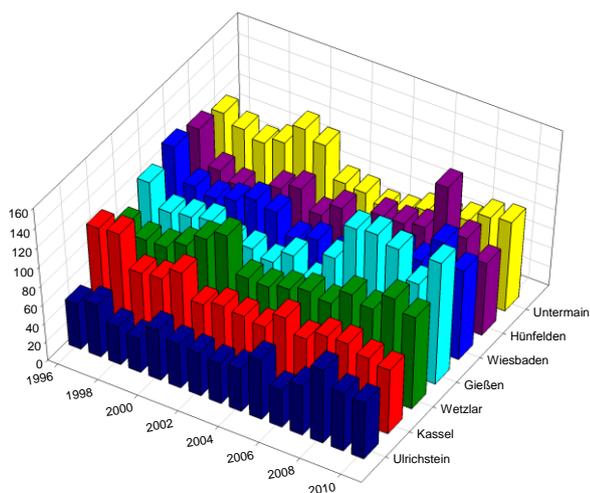
Die zweithöchste Arsendepositionsrates wurde mit 0,9 µg/(m² × d) im räumlich höher aufgelösten Sonder-Messgebiet Wetzlar ermittelt. (Siehe auch Abb. 3, bzw. Tabelle 7)

Tabelle 7: Jahresmittelwerte des Staubniederschlags und dessen Inhaltsstoffe im Messjahr **2010**

Messgebiet	Komponente	Einheit	punktweise Auswertung		Gebietsmittelwert
			Minimum	Maximum	
Gießen	Staubniederschlag	mg/(m ² × d)	51	223	129
	Arsen	µg/(m ² × d)	0,2	0,7	0,4
	Blei	µg/(m ² × d)	2	24	4
	Cadmium	µg/(m ² × d)	0,1	0,32	0,15
	Nickel	µg/(m ² × d)	1,2	6,9	3,9
	Thallium	µg/(m ² × d)	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05
Hünfelden	Staubniederschlag	mg/(m ² × d)	37	159	77
	Arsen	µg/(m ² × d)	0,2	2	0,6
	Blei	µg/(m ² × d)	2	22	5
	Cadmium	µg/(m ² × d)	0,1	1	0,2
	Nickel	µg/(m ² × d)	0,6	4,4	1,7
	Thallium	µg/(m ² × d)	≤ 0,05	0,53	0,08
Kassel	Staubniederschlag	mg/(m ² × d)	38	123	70
	Arsen	µg/(m ² × d)	0,2	0,8	0,3
	Blei	µg/(m ² × d)	2	20	5,8
	Cadmium	µg/(m ² × d)	0,1	0,5	0,1
	Nickel	µg/(m ² × d)	1	5,9	2,1
	Thallium	µg/(m ² × d)	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05
Ulrichstein	Staubniederschlag	mg/(m ² × d)	36	110	62
	Arsen	µg/(m ² × d)	0,2	0,4	0,2
	Blei	µg/(m ² × d)	2	3	2
	Cadmium	µg/(m ² × d)	≤ 0,05	0,14	0,1
	Nickel	µg/(m ² × d)	1,1	4,6	1,7
	Thallium	µg/(m ² × d)	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05
Untermain	Staubniederschlag	mg/(m ² × d)	41	229	94
	Arsen	µg/(m ² × d)	0,2	3	0,5
	Blei	µg/(m ² × d)	2	32	4,2
	Cadmium	µg/(m ² × d)	0,1	1,9	0,1
	Nickel	µg/(m ² × d)	0,9	6,9	2,1
	Thallium	µg/(m ² × d)	≤ 0,05	0,2	≤ 0,05
Wetzlar	Staubniederschlag	mg/(m ² × d)	45	275	99
	Arsen	µg/(m ² × d)	0,2	2,2	0,4
	Blei	µg/(m ² × d)	2	11	4,8
	Cadmium	µg/(m ² × d)	0,1	0,4	0,2
	Nickel	µg/(m ² × d)	1,6	9,9	4,7
	Thallium	µg/(m ² × d)	≤ 0,05	0,2	0,04
Wiesbaden	Staubniederschlag	mg/(m ² × d)	55	231	95
	Arsen	µg/(m ² × d)	0,3	3,8	1
	Blei	µg/(m ² × d)	2	28	5,9
	Cadmium	µg/(m ² × d)	0,1	0,2	0,1
	Nickel	µg/(m ² × d)	1	6,2	2,0
	Thallium	µg/(m ² × d)	≤ 0,05	0,2	≤ 0,05
Sonderprogramm- Wetzlar siehe Abbildung 3 (Blaue Dreiecke)	Staubniederschlag	mg/(m ² × d)	97	143	118
	Arsen	µg/(m ² × d)	0,6	1,5	0,9
	Blei	µg/(m ² × d)	5	23	9,8
	Cadmium	µg/(m ² × d)	0,2	0,6	0,4
	Nickel	µg/(m ² × d)	4,6	21,7	13,6
	Thallium	µg/(m ² × d)	0,06	0,5	0,2

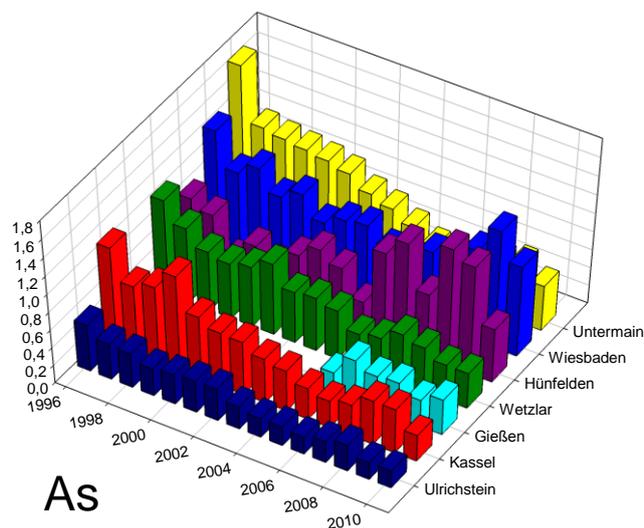
ROT: Überschreitung eines Immissionswerts nach TA Luft]

Abbildung 4: Zeitreihen der mittleren Belastung durch Staubniederschlag und seine Inhaltsstoffe in den hessischen Messgebieten für den Zeitraum von 1996 bis 2010

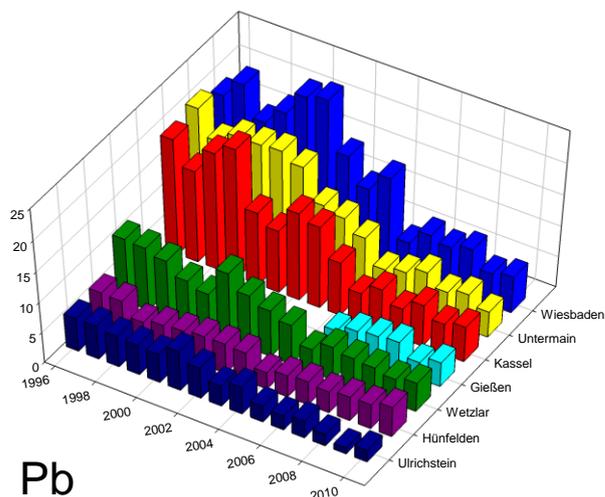


7 Messgebiete	Anzahl der Messpunkte	Größe
Untermain	111	73 km ²
Kassel	21	13 km ²
Wiesbaden	32	21 km ²
Gießen	9	4 km ²
Wetzlar	25	16 km ²
Hünfelden	9	4 km ²
Ulrichstein	9	4 km ²

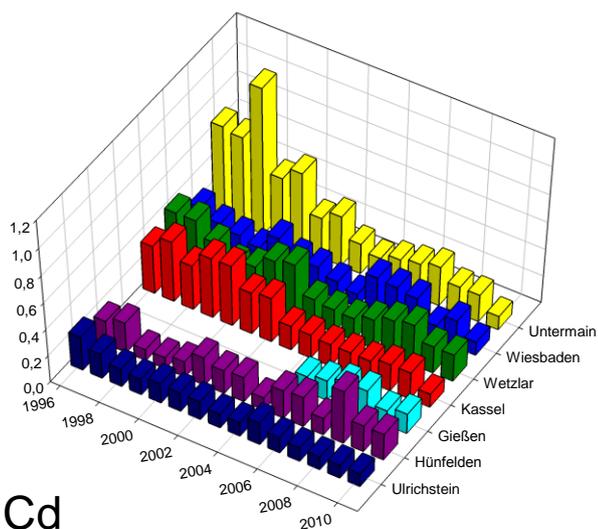
Staubniederschlag



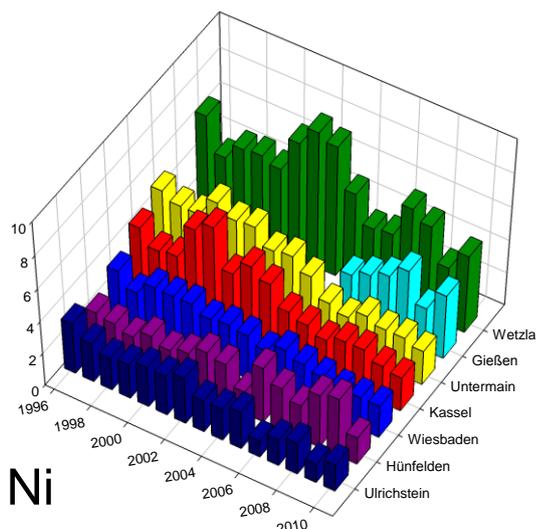
As



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 emittententfern 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 2010 lässt sich feststellen, dass für annähernd alle Messgebiete (Ausnahme Untermain) bei den Gebietsmittelwerten, leichte Erhöhungen gegenüber 2009 zu verzeichnen sind. Der in der TA Luft für die Bleideposition vorgeschriebene Immissionswert von $100 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$ wurde 2010 an allen Messpunkten des Depositionsmessnetzes deutlich unterschritten.

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. In 2010 wird an keinem der hessischen Messpunkte der in der TA Luft vorgeschriebene Immissionswert von $2 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$ (Tab. 7) überschritten.

Nickel: Der in Abbildung 4 dargestellte zeitliche Trend der Immissionsbelastung durch die Deposition von Nickel entspricht mit Hinblick auf eine Abnahmetendenz zum Teil dem für Cadmium beschriebenen Bild. In den Bereichen Kassel, Hünfelden, Untermain, Wiesbaden zeigt sich für 2010 ein Rückgang bzw. ein Gleichstand der Immissionsbelastung bezogen auf das Jahr 2009. Gießen, Wetzlar und Ulrichstein zeigen leichte Erhöhungen bei den Gebietsmittelwerten gegenüber 2009.

In Ballungsräumen wurden früher höhere Einträge für Nickel ermittelt als in den beiden emittententfern gelegenen Gebieten Hünfelden und Ulrichstein. Jedoch zeigt sich auch für Nickel, dass sich die Depositionsraten in den Ballungsräumen und den emittententfernten Bereichen weiter aneinander angleichen. Ausnahme bei der punktwisen Auswertung für 2010 bildet ein Sondermesspunkt in Wetzlar mit $21,7 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$.

Hier ein Rückblick über die Jahre 2006 bis 2010 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 und erhöhte sich in 2010 auf $21,7 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$. Somit liegt in 2010 im Messgebiet 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 lässt sich feststellen, dass (bis auf wenige Ausnahmen) seit 1996 in den hessischen Messgebieten ein Rückgang der Schwermetalldepositionsraten zu verzeichnen ist, während die Staubb- und Arsenniederschlagsbelastung derzeit keinen eindeutigen Trend sondern eher ein im Rahmen der auftretenden Schwankungen gleichbleibendes Niveau in den Jahren 2007 bis 2010 aufweist.

Hessisches PAK-Messprogramm 2010

PAK (Polyzyklische 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 aus 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 wie Regen und 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.

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

PAK-Immissionskonzentrationen wurden seit Mitte der 80er Jahre sporadisch im Rahmen von Messprogrammen unter anderem für die Erstellung von Luftreinhalteplänen erhoben. 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.

In der 4. Tochterrichtlinie zur Luftqualität [2] wurde für Benzo(a)pyren als Leitkomponente für die Immissionsbelastung durch PAK ein Zielwert festgelegt.

Der Zielwert beträgt als Jahresmittelwert 1 ng/m^3 und soll ab dem Jahr 2013 eingehalten werden.

Die Messungen der PAK Benzo(a)pyren und zusätzlich Benz(a)anthracen, Benzo(b,j,k)fluoranthren, Dibenz(ah)anthracen und Indeno(1.2.3-cd)pyren erfolgen nach der 39. BImSchV [3] als Bestandteile der PM_{10} -Staubfraktion.

Auch im Jahre 2010 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 39. BImSchV berücksichtigt. 5 Messstationen sind verkehrsbezogen, 4 Messstationen überwachen die PAK-Belastung im städtischen Hintergrund. Eine weitere Station im ländlichen Raum dient als Vergleichsstandort.

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

Abbildung 5: Probenahmestellen des PAK-Messnetzes

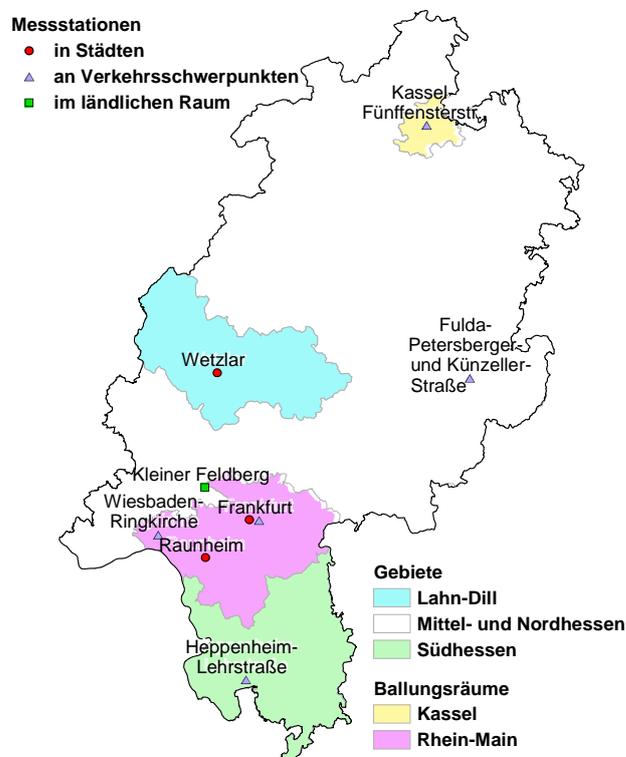


Tabelle 8: Standorte der PAK-Probenahmestellen 2010

	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-Künzeller-Straße	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 39. 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 und dafür sorgt, dass nur die Staubpartikelfraktion PM₁₀ 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 m³/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 wird im Labor weiter untersucht. 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. 720 m³.

PAK-Werte für 2010

Tabelle 9: Jahresmittelwerte der gemessenen PAK im Jahr 2010

		BaP	BaA	BF (b+j+k)	DBA	INP
		Benzo(a)pyren [ng/m ³]	Benzo(a)- anthracen [ng/m ³]	Benzo(b,j,k)- fluoranthen [ng/m ³]	Dibenz(ah)- anthracen [ng/m ³]	Indeno-(1.2.3- cd)-pyren [ng/m ³]
	Zielwerte	1	-	-	-	-
	Stationsname					
▲	Ffm.-Höhenstraße	0,45	0,39	1,31	0,07	0,56
●	Ffm.-Palmengarten	0,26	0,17	0,84	0,05	0,34
▲	Fulda-Petersberger- Straße	0,49	0,37	1,28	0,07	0,54
●	Fulda-Künzeller- Straße	0,45	0,23	1,18	0,07	0,55
▲	Heppenheim- Lehrstraße	0,78	0,66	1,96	0,10	0,87
▲	Kassel- Fünffensterstraße	0,39	0,30	1,08	0,06	0,47
■	Kleiner Feldberg	0,06	0,05	0,24	0,01	0,11
●	Raunheim	0,32	0,22	1,00	0,05	0,42
●	Wetzlar	0,43	0,26	1,13	0,07	0,51
▲	Wiesbaden- Ringkirche	0,39	0,44	1,09	0,06	0,47

- in Städten
- im ländlichen Raum
- ▲ am Verkehrsschwerpunkt

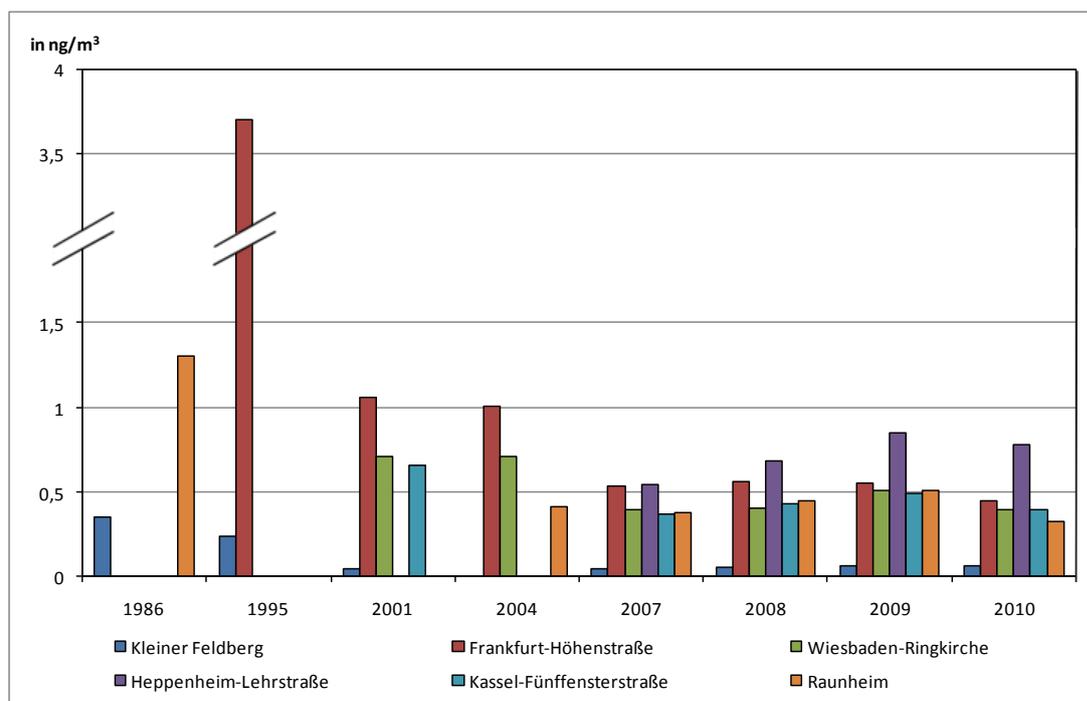


Abbildung 6: Zeitreihe der an den PAK-Messstationen ermittelten Jahresmittelwerte für Benzo(a)pyren 1986 bis 2010

Benzo(a)pyren (BaP): Bei der ersten Erfassung des BaP in Hessen im Jahr 1986/87 wurden Messwerte bis zu 2,3 ng/m³ 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/m³) an allen Messstellen der ab 2012 einzuhaltende Zielwert von 1 ng/m³ unterschritten. Auch am Standort "Frankfurt Höhenstraße", wird der Zielwert seit 2001 eingehalten.

Verkehrsbezogenen Stationen liefern erfahrungsgemäß höhere Messwerte als vergleichbare Stadt- und Hintergrundstationen. Insbesondere an der emittentenfern gelegenen Station am Kleinen Feldberg im Taunus wurde eine deutliche Abnahme bis hin zu einem Wert von 0,06 ng/m³ in den Jahren 2009 und 2010 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 war bei 8 von 10 Messstationen eine leichte Erhöhung der ermittelten Benzo(a)pyrenkonzentrationen gegenüber 2008 zu verzeichnen. Im Jahre 2010 sind an 9 Messstationen die Werte gegenüber 2009 leicht gesunken, der "Kleine Feldberg" zeigt einen Gleichstand. Auch der höchste Jahresmittelwert von 0,78 ng/m³ gemessen in 2010 an der Station in Heppenheim, unterschreitet den Zielwert von 1 ng/m³. Es liegen daher für das Jahr 2010 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 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, an denen der Einsatz eines konventionellen BTX-Messplatzes, der auch eine Stromversorgung benötigt, nicht möglich ist.

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, Kreuzungsbereich, 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 39. 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 einzuhalten ist.

Toluol: Toluol besitzt den gleichen ringförmigen Aufbau wie Benzol, mit dem Unterschied, dass beim Toluol ein Wasserstoffmolekül durch eine Methylgruppe (CH_3) ersetzt ist. 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.

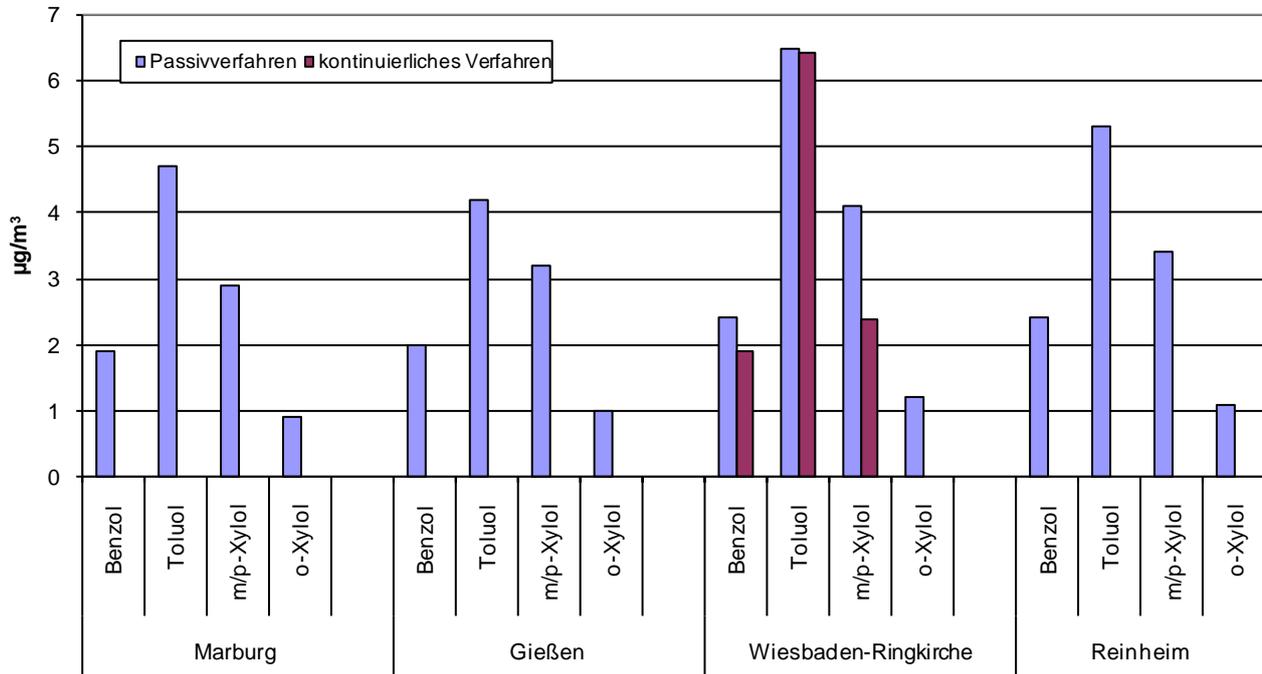
Xylol: Xylol ähnelt dem Toluol und dem Benzol. Beim Xylol ersetzen im Gegensatz zu Toluol zwei Methylgruppen je zwei Wasserstoffatome. Seine Summenformel lautet C_8H_{10} . Je nach Stellung dieser Methylgruppen zueinander unterscheidet man drei Xylol-Isomere. Da eine Trennung der Xylol-Isomere meta- 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.

Die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft 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 39. BImSchV nicht vorgeschrieben.

Abbildung 7: Jahresmittelwerte der BTX-Konzentration erhoben nach der Passivsammlungsmethode sowie Vergleich mit den Ergebnissen des kontinuierlich registrierenden BTX-Messplatzes

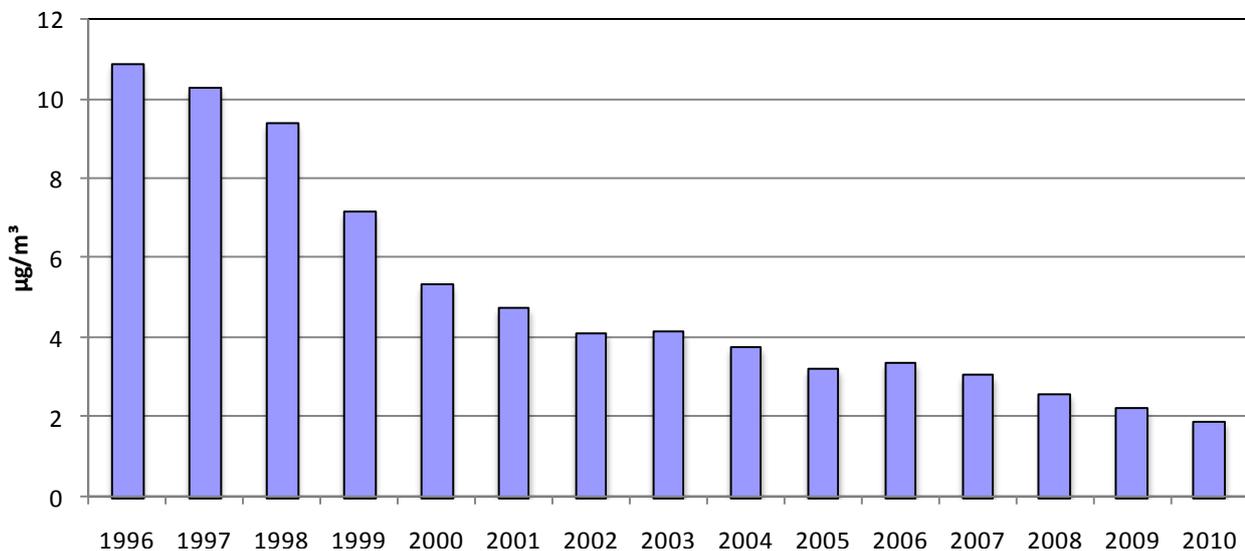


Wie die oben stehende Abbildung zeigt, unterschreiten die Benzolkonzentrationen an den vier aufgeführten verkehrsbezogenen Messpunkten mit Jahresmittelwerten unterhalb von $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ den in der 39. BImSchV ab 2010 vorgeschriebenen Grenzwert von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel deutlich. Damit belegen auch die Messungen mit den Passivsammlungsverfahren das inzwischen niedrige Konzen-

trationsniveau. Abbildung 8 zeigt beispielhaft den deutlichen Rückgang der Benzolbelastung, die Mitte der 90er Jahre im Straßenraum noch in der Größenordnung von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lag.

Der Lufthygienische Jahresbericht 2010, Teil I, enthält und beschreibt weitere Ergebnisse der im Jahr 2010 in Hessen durchgeführten BTX-Messungen.

Abbildung 8: Zeitliche Entwicklung der Benzol-Jahresmittelwerte, Station Wiesbaden-Ringkirche



Gesetzliche Grundlagen

- [1] Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft in Europa (ABl. L 152 vom 11.06.2008, S.1)
- [2] Richtlinie 2004/107/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Dezember 2004 über Arsen, Kadmium, Quecksilber, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Luft (ABl. L 23 vom 26.01.2005, S.3)
- [3] 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)
- [4] Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV) in der Fassung vom 5. August 2010 (BGBl. I S. 1065)
- [5] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002 (GMBI. 25-29 vom 30.07.2002, S. 511)
- [6] Gesetz zur Verminderung von Luftverunreinigungen durch Bleiverbindungen in Ottokraftstoffen für Kraftfahrzeugmotoren (Benzinbleigesetz – BzBIG) vom 5. August 1971 (BGBl. I S. 1234), zuletzt geändert durch Artikel 58 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)
- [7] 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)
- [8] VDI-Richtlinie 2119 Blatt 2, Ausgabe Sept. 1996, Messung partikelförmiger Niederschläge mit Auffanggefäßen aus Glas (Bergerhoff-Verfahren) oder Kunststoff. (VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 4)

Bearbeiter:

Dipl. - Ing. Christoph Deuter

Dipl. - Ing. Detlef Hagemann

Dipl. - Ing. Rolf Paul

Herausgeber:

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

Internet: www.hlug.de

Vertrieb: vertrieb@hlug.hessen.de