



# Lufthygienischer Jahresbericht 2016

## Teil II: Staub und Staubinhaltsstoffe



## Inhalt

<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>3</b>
<b>QUALITÄTSSICHERUNG.....</b>	<b>3</b>
<b>SCHWEBSTAUBMESSPROGRAMM.....</b>	<b>4</b>
ATMOSPHERISCHER STAUB.....	5
DISKONTINUIERLICHES PROBENAHMEVERFAHREN FÜR SCHWEBSTAUB.....	6
GRENZ- UND ZIELWERTE FÜR SCHWEBSTAUB UND DESSEN INHALTSSTOFFE.....	7
<b>STAUBNIEDERSCHLAGSMESSPROGRAMM.....</b>	<b>11</b>
DEFINITION VON STAUBNIEDERSCHLAG.....	11
PROBENAHMEVERFAHREN FÜR STAUBNIEDERSCHLAG.....	11
STAUBNIEDERSCHLAGSMESSWERTE DES JAHRES 2016.....	12
<b>HESSISCHES PAK-MESSPROGRAMM.....</b>	<b>18</b>
POLYZYKLISCHE AROMATISCHE KOHLENWASSERSTOFFE .....	18
PROBENAHMEVERFAHREN UND DURCHFÜHRUNG DES MESSPROGRAMMS .....	20
PAK-WERTE FÜR 2016 .....	20
<b>BENZOL, TOLUOL, XYLOL (BTX)-PASSIVMESSPROGRAMM .....</b>	<b>22</b>
BTX-AROMATEN.....	23
BTX-WERTE 2016 .....	24
<b>GESETZLICHE GRUNDLAGEN .....</b>	<b>26</b>

## Publikation der Messergebnisse:

- Internet: [www.hlnug.de](http://www.hlnug.de)  
(Lufthygienischer Tagesbericht, Monatskurz-, Monats- und Jahresbericht sowie aktuelle Messwerte)
- Informationstelefon des HLNUG: 0611 6939-666  
(aktuelle Messwerte)
- Videotext – Hessischer Rundfunk – Hessentext:  
Tafeln 160 bis 168 (aktuelle Messwerte)  
Tafeln 174 bis 178 (Wetterdaten)

## Einleitung

Der vorliegende Bericht ergänzt den Luft-hygienischen Jahresbericht Teil I um die Ergebnisse der drei hessischen Messprogramme 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 der Schwermetalle) im Schwebstaub und in der Deposition. Wie auch im Luftmessnetz Hessen ist die Grundlage der Schwebstaubmessung die Probenahme der Partikelfraktion PM<sub>10</sub>; damit wird der sogenannte Feinstaub (PM<sub>10</sub>) erfasst (für nähere Erläuterungen siehe hierzu Kapitel „Atmosphärischer Staub“).

## Qualitätssicherung

Das Dezernat Luftreinhaltung, Immissionen (I2) des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) hat ein effektives Qualitätsmanagementsystem eingeführt und ist seit 11.02.2008 gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2005 akkreditiert. Dabei handelt es sich um die formale Anerkennung als Prüflabor durch eine staatliche Akkreditierungsstelle. Der international anerkannte Kompetenznachweis wurde durch die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) im Rahmen einer Reakkreditierung am 30.01.2013 erneut bestätigt (D-PL-14551-01-00). Der Umfang der Akkreditierung ist über die Internetseite des HLNUG einsehbar.

Bei der Durchführung der in diesem Bericht beschriebenen Programme kommt es zu einer Zweiteilung. Die Probenahme und die Betreuung der

Die Verpflichtung zur landesweiten Immissionsüberwachung ergibt sich aus den EG-Luftqualitätsrichtlinien [1, 2], die durch das Bundes-Immissionsschutzgesetz [3] und die 39. Verordnung [4] dazu in deutsches Recht umgesetzt wurden. Die hier beschriebenen Programme dienen der Umsetzung der 39. BImSchV [4], 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 die aromatische Verbindung 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.

Probenahmesysteme werden von den Mitarbeitern des Dezernates durchgeführt, während die nachfolgende Analytik an ein Fremdlabor vergeben ist. Dieses Laboratorium arbeitet ebenfalls nach einem akkreditierten Qualitätsmanagementsystem gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Das HLNUG wiederum prüft die Plausibilität der Analyseergebnisse und nimmt die Endauswertung vor.

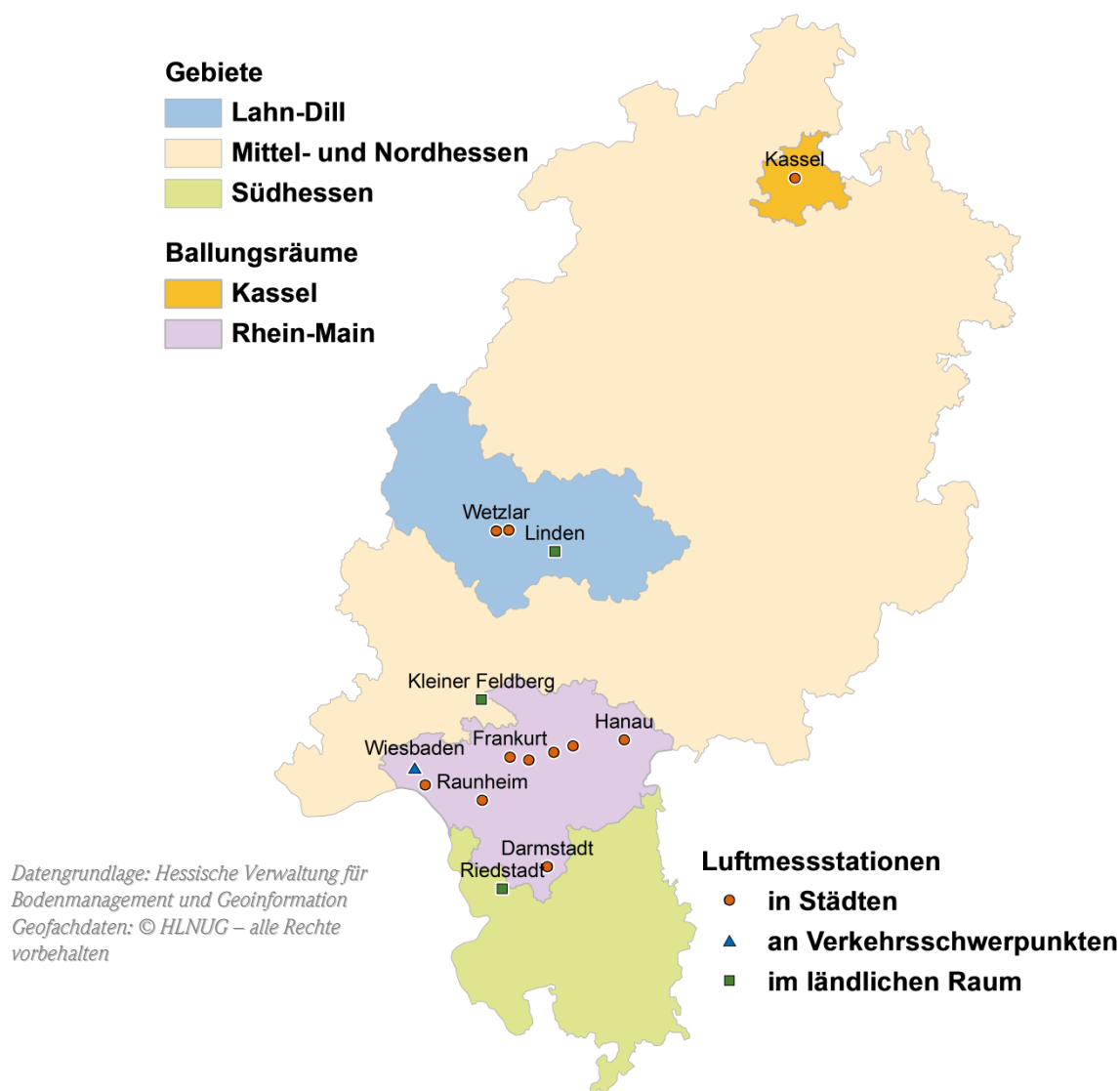
Der komplette Akkreditierungsumfang (Urkunde und Anlage) ist über folgende Internetseite einsehbar: [www.hlnug.de/start/luft/luftmessnetz/qualitaetsicherung.html](http://www.hlnug.de/start/luft/luftmessnetz/qualitaetsicherung.html)

Der Akkreditierungsumfang des Fremdlabores ist unter [www.eurofins.de](http://www.eurofins.de) zu finden.

## Schwebstaubmessprogramm

In Hessen werden seit 1976 fortlaufend Schwebstaubimmissionsmessungen durchgeführt. Zur Überwachung der Immissionsituation in Hessen betreibt das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) 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 Abb. 1 zu entnehmen. Die Standorte sind so gewählt, dass

sowohl eine Überwachung der Immissions-schwerpunkte als auch der Hintergrundbelastung in den Ballungsräumen und im ländlichen Raum gewährleistet ist. Im Jahr 2016 wurden an 15 Punkten automatische Probensammler zur Ermittlung der Feinstaubkonzentration (PM<sub>10</sub>) und des Schwermetallgehaltes in dieser Fraktion des Schwebstaubs betrieben. Davon liegen 11 Stationen in Städten, 3 im ländlichen Raum und 1 Station an einem Verkehrsschwerpunkt.



**Abb. 1:** Probenahmestellen des Schwebstaubmessnetzes.

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



**Tab. 1:** Standorte der Schwebstaubprobenahmestellen

	Stationsname	RW (GK)	HW (GK)	Höhe ü. NN (m)	Längengrad (WGS 84)	Breitengrad (WGS 84)	Stationsklassifizierung
○	Darmstadt	3475965	5526257	158	8°39'53"	49°52'20"	städtisches Gebiet, Hintergrund
○	Ffm.-Griesheim	3471694	5551099	98	8°36'13"	50°5'44"	städtisches Gebiet, Hintergrund
○	Ffm.-Höchst	3467310	5551838	104	8°32'31"	50°6'7"	städtisches Gebiet, Hintergrund
○	Ffm.-Mitte	3477480	5552820	120	8°41'3"	50°6'40"	städtisches Gebiet, Hintergrund
○	Ffm.-Ost	3481935	5554378	100	8°44'47"	50°7'31"	städtisches Gebiet, Hintergrund
○	Hanau-Mitte	3494806	5554915	107	8°55'35"	50°7'49"	städtisches Gebiet, Hintergrund
○	Kassel-Mitte	3533776	5686717	181	9°29'1"	51°18'51"	städtisches Gebiet, Hintergrund
■	Kleiner Feldberg	3460543	5565240	811	8°26'46"	50°13'18"	ländliches Gebiet, Hintergrund
■	Linden-Leihgestern	3477697	5599738	172	8°41'4"	50°31'59"	ländliches Gebiet, Hintergrund
○	Raunheim	3460759	5541699	90	8°27'5"	50°0'37"	städtisches Gebiet, Hintergrund
■	Riedstadt	3465305	5521072	87	8°31'0"	49°49'31"	ländlich stadtnah, Hintergrund
○	Wetzlar-Hermannstein	3464310	5604814	183	8°29'42"	50°34'41"	städtisches Gebiet, Hintergrund
○	Wetzlar-Im Köhlersgarten	3464090	5604530	161	8°29'31"	50°34'31"	städtisches Gebiet, Hintergrund
▲	Wiesbaden-Ringkirche	3444979	5549276	145	8°13'49"	50°4'38"	städtisches Gebiet, Verkehr
○	Wiesbaden-Süd	3445997	5546279	121	8°14'42"	50°3'1"	städtisches Gebiet, Hintergrund

**Abkürzungen:**

**RW:** Rechtswert    **HW:** Hochwert    **GK:** Gauß-Krüger    **Höhe ü. NN:** Höhe über Normalnull    **WGS 84:** World Geodetic System 1984  
 ○ Luftmessstationen in Städten    ▲ Luftmessstationen an Verkehrsschwerpunkten    ■ Luftmessstationen 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).

**Atmosphärischer Staub**

Unter dem Begriff 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 Partikel (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 = milliardstel Meter) bis zu etwa 100 Mikrometer (µm = millionstel Meter). Teilchen mit Durchmessern größer 0,1 µm können durch ihren aerodynamischen Durchmesser (d<sub>ae</sub>) beschrieben

In diesem Bericht werden allerdings nur die Messergebnisse der Komponenten ausgewertet und näher beschrieben, für die ein Immissionswert in der 39. BImSchV [4] vorgegeben ist (siehe hierzu Tab. 3).

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 39. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (39. BImSchV) [4] wurde der Begriff „Partikel“ eingeführt, desweiteren wurden u. a. Grenzwerte zum 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  $PM_{10}$  nach der 39. BImSchV [4] lautet:

*$PM_{10}$  sind die Partikel, die einen größenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von  $10 \mu m$  einen Abscheidegrad von 50 Prozent aufweist.*

## Diskontinuierliches Probenahmeverfahren für Schwebstaub

Entsprechend der 39. BImSchV [4] ist der Schwebstaub als  $PM_{10}$ -Fraktion des atmosphärischen Aerosols zu erfassen. Die Probenahme erfolgt mit einem sogenannten DHA-80, dies ist ein automatischer, mit einem Vorabscheider ausgestatteter High-Volume-Sampler der Firma Digital. Ein Vorabscheider (Probenahmekopf) sorgt dafür, dass nur die geforderte Staubpartikelfraktion  $PM_{10}$  erfasst wird. 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). Eine Ausnahme bildet die Messstelle „Wetzlar-Im Köhlersgarten“. Aufgrund der besonderen Belastungssituation erfolgt hier die Messung täglich. 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

Partikel, die einen aerodynamischen Durchmesser bis ca.  $20 \mu m$  aufweisen, 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.

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 Particulates) erfasst. Ab 2001 erfolgte die Umstellung der Probenahme auf  $PM_{10}$ . Zu diesem Zweck wurden die Probenahmegeräte mit neuen Vorabscheidern ausgerüstet.

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) bauen auf den Ergebnissen der kontinuierlich betriebenen Staubmessgeräte des Luftmessnetzes Hessen auf.

**Tab. 2:** Beginn der Messungen der einzelnen Komponenten an den Messstationen

	Stationsname	Gesamtstaub (TSP)	Feinstaub (PM <sub>10</sub> )	Arsen	Blei	Cadmium	Nickel	k. M. <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.-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	
○	Wetzlar-Im Köhlersgarten <sup>2)</sup>	—	2008	2008	2008	2008	2008	
▲	Wiesbaden-Ringkirche	—	2001	2001	2001	2001	2001	X
○	Wiesbaden-Süd	1983	2001	1990	1983	1983	1983	X

**Erläuterungen:**

**k. M.:** kontinuierliches Messverfahren

<sup>1)</sup> An diesen Messstationen werden zusätzlich kontinuierliche PM<sub>10</sub>-Messungen durchgeführt.

<sup>2)</sup> An dieser Messstation fand keine Messung im Jahr 2009 statt.

○ Luftmessstationen in Städten

▲ Luftmessstationen an Verkehrsschwerpunkten

■ Luftmessstationen im ländlichen Raum

## Grenz- und Zielwerte für Schwebstaub und dessen Inhaltsstoffe

Die 39. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz [4] schreibt, unter anderem für PM<sub>10</sub> und für Blei, Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit vor. Für die Schwermetalle Arsen, Cadmium und Nickel schreibt die europäische Luftqualitätsgesetzgebung [2] Zielwerte vor, die im Jahre 2007 in die 22. BImSchV (ab 2010 in die 39. BImSchV [4]) übernommen wurden. Die Überprüfung der Einhaltung der Zielwerte setzt voraus, dass die Schwermetalle als Bestandteile der PM<sub>10</sub>-Fraktion des atmosphärischen Aerosols gemessen werden. 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 verhüten oder zu verringern. In Tab. 3 sind die für den Schwebstaub und die Elemente Arsen, Blei, Cadmium und Nickel vorgeschriebenen Grenz- und Zielwerte zusammengefasst.

In Tab. 4 sind die Schwebstaub-/Schwermetallmessergebnisse des Jahres 2016 zusammenfassend dargestellt. Die aufgeführten Jahresmittelwerte der PM<sub>10</sub>-Konzentration zeigen eine Struktur mit höheren Belastungen im innerstädtischen Bereich und niedrigeren Werten im ländlichen Raum. Die Maximalbelastung wird am industrienahen Standort „Wetzlar-Im Köhlersgarten“ erreicht.

**Tab. 3:** Grenzwerte/Zielwerte für Partikel/Inhaltsstoffe

Komponente	Kenngroße	Einheit	Grenzwerte	zulässige Überschreitungs-häufigkeit pro Jahr	Zielwerte	gesetzliche Grundlagen
PM <sub>10</sub>	24-h-Wert	µg/m <sup>3</sup>	50	35 mal	—	39. BImSchV
	Jahresmittel	µg/m <sup>3</sup>	40	—	—	39. BImSchV
Arsen <sup>1)</sup>	Jahresmittel	ng/m <sup>3</sup>	—	—	6	39. BImSchV
Blei <sup>1)</sup>	Jahresmittel	µg/m <sup>3</sup>	0,5	—	—	39. BImSchV
Cadmium <sup>1)</sup>	Jahresmittel	ng/m <sup>3</sup>	—	—	5	39. BImSchV
Nickel <sup>1)</sup>	Jahresmittel	ng/m <sup>3</sup>	—	—	20	39. BImSchV

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

**Tab. 4:** Jahresmittelwerte des Schwebstaubs (PM<sub>10</sub>) und dessen Inhaltsstoffe im Messjahr 2016

	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	14	0,3	0,004	0,1	1,3
○	Ffm.-Griesheim	16	0,4	0,004	0,2	1,5
○	Ffm.-Höchst	16	0,4	0,004	0,1	1,6
○	Ffm.-Mitte	19	0,4	0,004	0,1	1,8
○	Ffm.-Ost	17	0,5	0,004	0,1	1,9
○	Hanau-Mitte	15	0,4	0,004	0,1	2,6
○	Kassel-Mitte	17	0,3	0,003	0,1	1,7
■	Kleiner Feldberg	7	0,2	0,002	0,0	1,1
■	Linden-Leihgestern	13	0,3	0,003	0,1	1,4
○	Raunheim	14	0,4	0,004	0,1	1,5
■	Riedstadt	16	0,4	0,004	0,1	1,4
○	Wetzlar-Hermannstein	16	0,6	0,008	0,3	4,4
○	Wetzlar-Im Köhlersgarten	21	1,4	0,033	1,0	12,8
▲	Wiesbaden-Ringkirche	17	0,5	0,004	0,1	1,8
○	Wiesbaden-Süd	14	0,6	0,006	0,1	1,5

**Erläuterungen:**

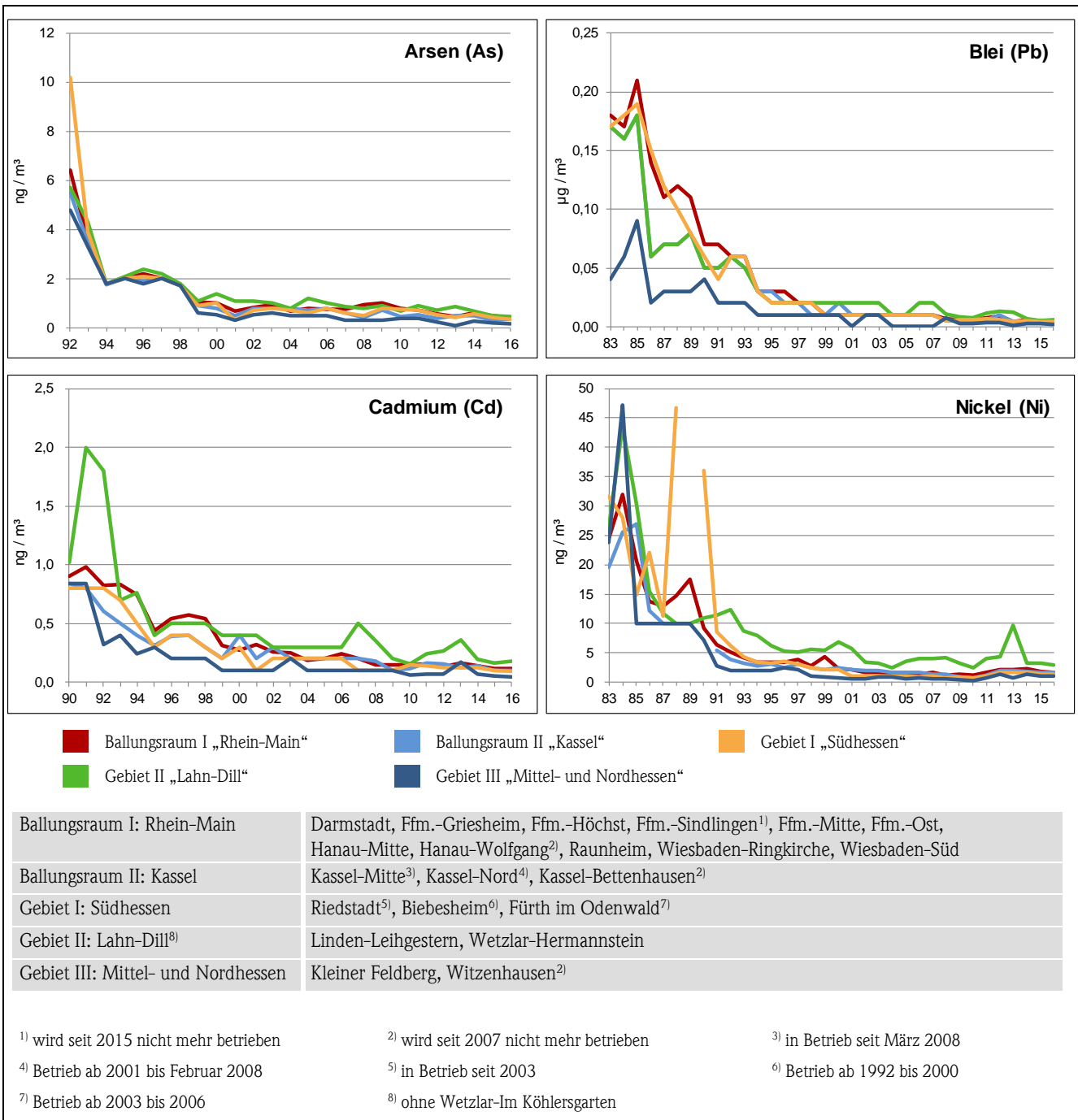
○ Luftmessstationen in Städten

▲ Luftmessstationen an Verkehrsschwerpunkten

■ Luftmessstationen im ländlichen Raum

**ROT:** Überschreitung eines Grenz-/Zielwertes nach 39. BImSchV [4]





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

Aufgrund der geringeren Abdeckung des Jahreszeitraumes mit 122 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. Nur die Messstelle „Wetzlar-Im Köhlersgarten“ weist eine höhere Abdeckung des Jahreszeitraumes auf.

Die Beurteilung der PM<sub>10</sub>-Belastung wird auf Basis der im Luftmessnetz kontinuierlich erhobenen Daten vorgenommen (siehe Lufthygienischer Jahresbericht Teil I, 2016).

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 Schwermetallbelastung aus, da die für die genannten Elemente in der 39. BImSchV [4] jeweils vorgeschriebenen unteren Beurteilungsschwellen bis auf eine Ausnahme deutlich unterschritten werden. Abb. 2 stellt die langfristigen Trends der Immissionsbelastung für die Metalle dar, für die in der 39. BImSchV [4] 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 Analyseverfahren 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.

Wie aus Tab. 4 und Abb. 2 zu erkennen ist, werden die Zielwerte für Arsen, Cadmium und Nickel (39. BImSchV [4]) und auch der Grenzwert für Blei (in Kraft seit 2005) deutlich unterschritten. Im Allgemeinen geht die Schwermetallbelastung seit Messbeginn bis 2016 zurück. Das Belastungsniveau ist in den Gebieten Mittel- und Nordhessen sowie in Südhessen 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 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  $6 \text{ ng/m}^3$  und

erreichen im Jahr 2016 maximal 23 % des Zielwertes, dies allerdings auch nur noch an der Messstelle „Wetzlar-Im Köhlersgarten“.

#### **Blei:**

Das im Schwebstaub enthaltene Blei wird seit 1983 erfasst. Bereits damals wurde der heute vorgeschriebene Grenzwert von  $0,5 \mu\text{g/m}^3$  deutlich unterschritten. Der Rückgang der Bleibelastung ist 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 wird 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 zehn bis fünfzehn Jahren kaum noch.

#### **Nickel:**

Wie bei den drei anderen Metallen, wird durch die Messergebnisse, auch bei Nickel ein deutlicher Konzentrationsrückgang belegt. Der vorgeschriebene Zielwert von  $20 \text{ ng/m}^3$  wird im Jahr 2016 an allen Messpunkten (siehe Tab. 4) eingehalten. Selbst an der, durch benachbarte industrielle Quellen, verhältnismäßig stark belasteten Messstelle „Wetzlar - Im Köhlersgarten“ trat in diesem Jahr keine Überschreitung des Zielwertes auf. Die Konzentrationswerte zeigen in den letzten zehn bis fünfzehn Jahren im Mittel in den einzelnen Messgebieten (Abb. 2) kaum Schwankungen.

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

## **Staubniederschlagsmessprogramm**

Staubniederschlag wird in Hessen seit 1969 gemessen und wurde früher flächenbezogen (1 km × 1 km Rasterflächen) ausgewertet. Mit der Neufassung der TA Luft vom 24. Juli 2002 [5] wurde auch für das hessische Staubniederschlagsmessprogramm die messpunktbezogene Auswertung eingeführt. Hierzu werden aus allen 12 Monatsmesswerten Jahresmittelwerte gebildet. Im Jahr 2016 wurde der Staubniederschlag in sieben Messgebieten, an insgesamt 225 Messpunkten ermittelt. Durch die Betrachtung der einzelnen Messpunkte kommen lokale Einflüsse stärker zur Geltung als bei der flächenbezogenen Betrachtung. In Abb. 3 sind die Bereiche von Hessen, in denen

Staubniederschlagsmessungen durchgeführt werden, dargestellt. Sie zeigt in Ausschnitten die geografische Lage der unterschiedlichen Messgebiete. Weiterhin sind dort auch die Messraster (Maschenweite: 1 km × 1 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 m × 500 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 Tab. 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 Böden, 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 dem Bergerhoffgefäß 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 Staubniederschlags 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.

## Staubniederschlagsmesswerte des Jahres 2016

Für die Bewertung der Schwermetallniederschlagsraten werden die Immissionswerte aus der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) [5] in der Fassung vom Juli 2002 herangezogen (siehe Tab. 6).

Tab. 7 stellt die Ergebnisse des Staubniederschlagsmessprogramms für das Jahr 2016 zusammen. Die Gebietsmittelwerte stützen sich dabei auf alle Messpunkte des jeweiligen Gebiets, wobei der Auswertung für den Staubniederschlag (soweit vorhanden) 12 Werte pro Messpunkt zugrunde liegen.

Abb. 4 beschreibt die zeitliche Entwicklung der Depositionsraten für Staubniederschlag und der oben genannten Schwermetalle im Zeitraum von 1996 bis einschließlich 2016. 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 dem hessischen Staubniederschlagsmessprogramm für die Jahre 1996 bis 2016 zusammenfassend dargestellt und beschrieben. Wie bereits oben erläutert, wird die Immissionsituation auf Basis der in der TA Luft vom Juli 2002 [5] für Arsen, Blei, Cadmium, Nickel und Thallium vorgeschriebenen Immissionswerte beurteilt.

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

### Staubniederschlag:

Abb. 4 zeigt, dass beim Staubniederschlag in den Jahren seit 1996 kein eindeutiger Trend der Immissionsbelastung zu erkennen ist. In allen Messgebieten durchläuft die Staubniederschlagsbelastung in den Jahren 2002 bis 2004 ein Minimum und steigt danach wieder an. Diese Entwicklung zeigt sich auch in den Folgejahren, ist jedoch von relativ starken Schwankungen begleitet. Die Schwankungen können ihre Ursache in den von Jahr zu Jahr unterschiedlichen meteorologischen Verhältnissen haben. Bei den Gebietsmittelwerten 2016 zeigt sich für die Gebiete Ulrichstein, Kassel und Wetzlar ein Rückgang gegenüber dem vorhergehenden Jahresmittel. Alle übrigen Gebiete weisen leichte Zunahmen auf, wobei Hünfelden den deutlichsten Anstieg zeigt. Diese Unterschiede liegen aber weiterhin im Rahmen der in den letzten Jahren beobachteten Schwankungen.



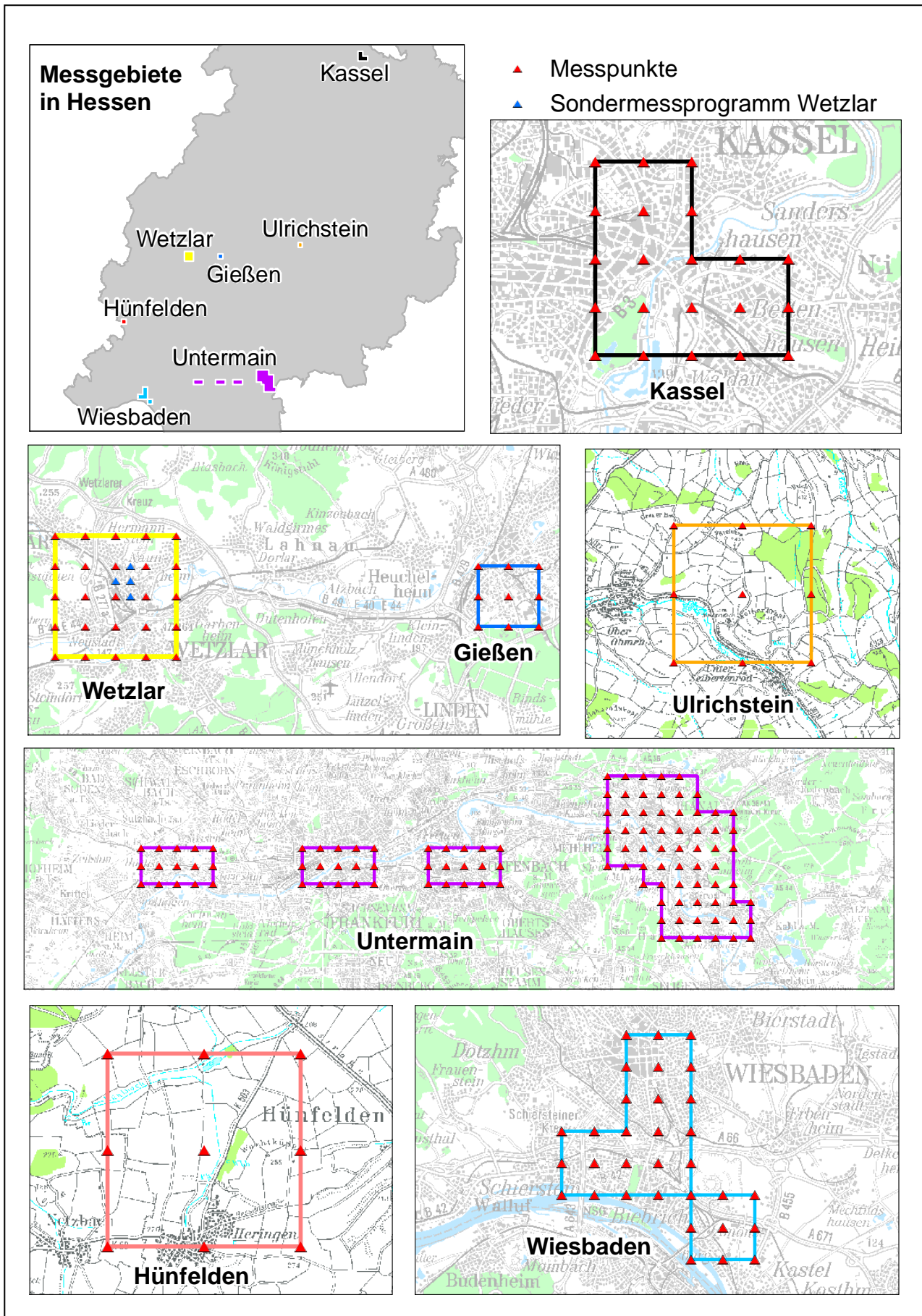


Abb. 3: Messgebiete und Messpunkte für Staubbiederschlag in Hessen



**Tab. 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.

**Tab. 6:** Immissionswerte für den Staubbiederschlag und seine Inhaltsstoffe nach TA Luft

Komponente	Immissionswert
Staubbiederschlag	350 mg/(m <sup>2</sup> × d)
Arsen	4 µg/(m <sup>2</sup> × d)
Blei	100 µg/(m <sup>2</sup> × d)
Cadmium	2 µg/(m <sup>2</sup> × d)
Nickel	15 µg/(m <sup>2</sup> × d)
Thallium	2 µg/(m <sup>2</sup> × d)

Im Jahr 2016 wurde der höchste Gebietsmittelwert für Staubbiederschlag mit 164 mg/(m<sup>2</sup> × d) im Messgebiet Hünfelden ermittelt (Tab. 7). Wie Tab. 7 weiter zeigt, überschreiten im Jahr 2016 zwei Maximalwerte den in der TA Luft für die Einzel-punktbelastung vorgeschriebenen Immissionswert in Höhe von 350 mg/(m<sup>2</sup> × d). Ein Messpunkt befindet sich in Hünfelden mit 944 mg/(m<sup>2</sup> × d) und ein weiterer im Messgebiet Untermain mit 528 mg/(m<sup>2</sup> × d).

#### Arsen:

Die Arseneinträge in den Gebieten Untermain, Wetzlar, Kassel und Ulrichstein nahmen seit 1996 bis zum Jahr 2010 mehr oder weniger kontinuierlich ab. Nach leichten Zunahmen in 2011 und über-

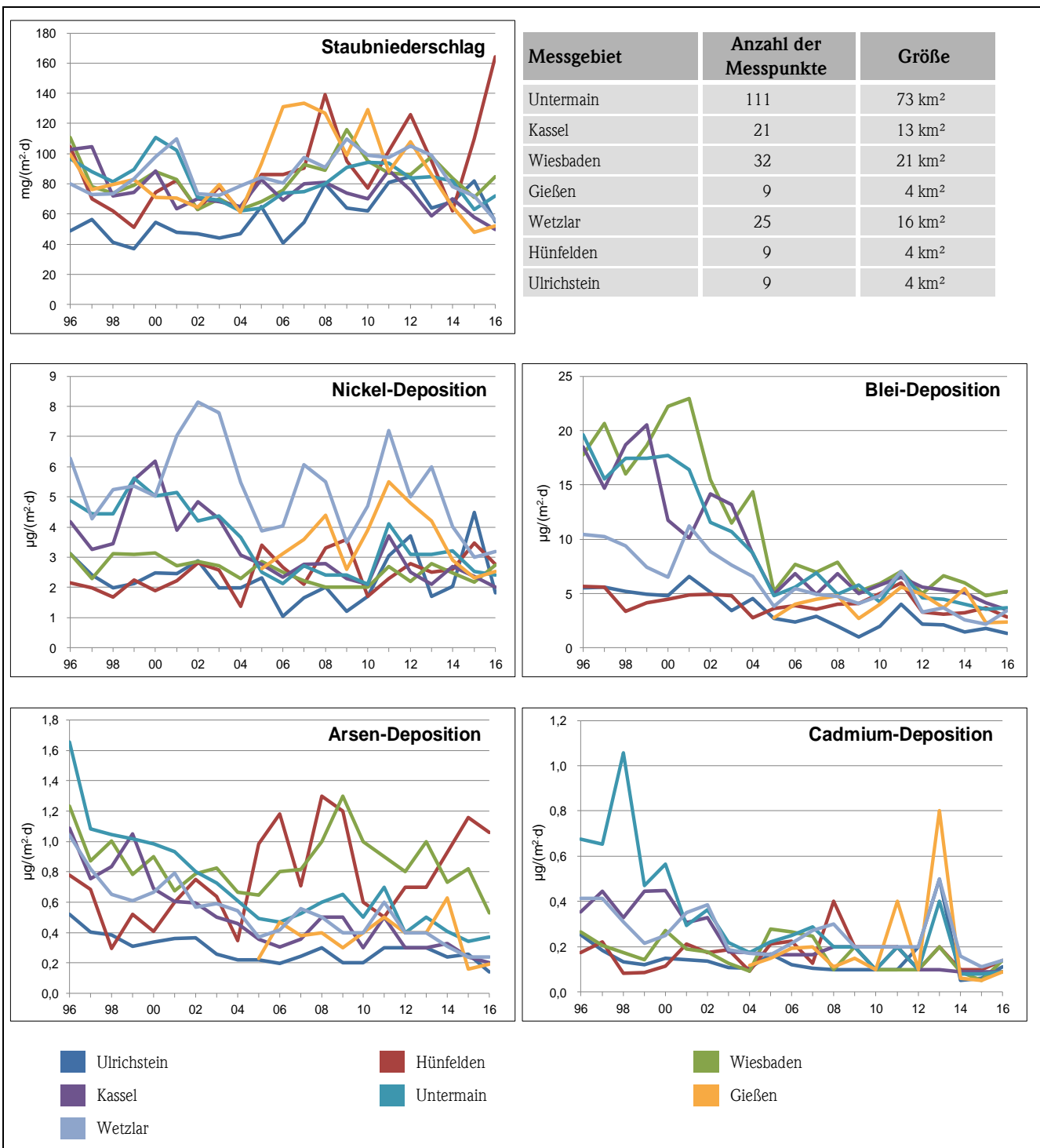
wiegend Abnahmen für das Jahr 2012 folgte in 2013 ein Gleichstand in nahezu allen Messgebieten. Im Vergleich zum Vorjahr sind die Arseneinträge 2016 in fast allen Messgebieten zurückgegangen. Nur für die Gebiete Untermain und Gießen sind leichte Zunahmen zu verzeichnen. Wie im Vorjahr wurde der höchste Gebietsmittelwert der Arsen-depositionsrate mit 1,06 µg/(m<sup>2</sup> × d) wieder im Messgebiet Hünfelden ermittelt (siehe Tab. 7).

Bei näherer Betrachtung der Maximalwerte für die punktweise Auswertung der Arsendepositionen sind im Jahr 2016 zwei Überschreitungen des Immissionswertes nach TA Luft [5] zu verzeichnen: Im Messgebiet Hünfelden (6,97 µg/(m<sup>2</sup> × d)) und im Messgebiet Untermain (7,10 µg/(m<sup>2</sup> × d)).

**Tab. 7:** Jahresmittelwerte des Staubniederschlags und dessen Inhaltsstoffe im Messjahr 2016

Messgebiet	Komponente	Einheit	punktweise Auswertung		Gebietsmittelwert
			Minimum	Maximum	
Gießen	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	30	117	52
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,10	0,32	0,19
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,59	4,42	2,40
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,03	0,38	0,09
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,59	4,99	2,53
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,01	0,05	0,02
Hünfelden	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	28	944	164
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,11	6,97	1,06
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,10	14,00	2,83
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,03	0,68	0,14
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,59	15,55	2,77
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,01	0,27	0,05
Kassel	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	26	151	50
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,09	0,80	0,20
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,50	24,87	3,50
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,03	0,37	0,09
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,93	11,23	2,00
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,01	0,03	0,01
Ulrichstein	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	35	87	55
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,09	0,28	0,14
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,09	2,27	1,35
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,03	0,32	0,11
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,89	5,32	1,83
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,01	0,04	0,01
Untermain	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	23	528	72
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,02	7,10	0,37
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,41	50,01	3,69
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,03	0,82	0,09
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,90	12,46	2,42
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,01	0,24	0,02
Wetzlar	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	20	165	56
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,05	0,64	0,24
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,04	17,35	3,42
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,04	0,46	0,14
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,07	9,01	3,18
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,01	0,23	0,04
Wiesbaden	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	38	242	85
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,13	2,73	0,53
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	2,17	50,96	5,22
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,05	1,00	0,14
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	1,10	21,10	2,75
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,01	0,18	0,03
Sondermessgebiet Wetzlar siehe Abbildung 3 (Blaue Dreiecke)	Staubniederschlag	mg/(m <sup>2</sup> × d)	34	97	54
	Arsen	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,26	1,30	0,63
	Blei	µg/(m <sup>2</sup> × d)	2,10	12,68	5,71
	Cadmium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,08	0,34	0,16
	Nickel	µg/(m <sup>2</sup> × d)	5,51	26,16	13,38
	Thallium	µg/(m <sup>2</sup> × d)	0,01	1,38	0,36

**ROT:** Überschreitung eines Immissionswerts nach TA Luft



**Abb. 4:** Zeitreihen der mittleren Belastung durch Staubniederschlag und seine Inhaltsstoffe in den hessischen Messgebieten für den Zeitraum von 1996 bis 2016

**Blei:**

Im Vergleich zu den beiden zuvor beschriebenen Parametern, zeigt der in Abb. 4 dargestellte zeitliche Verlauf des gemessenen Bleieintrages bis zum Jahr 2004, einen deutlicheren 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 Bleide-

positionsraten in den unterschiedlichen Messgebieten mehr und mehr angeglichen. Im Jahr 2016 ist, mit Ausnahme der Messgebiete Wetzlar und Wiesbaden, bei allen Gebietsmittelwerten eine Abnahme bzw. ein gleichbleibendes Niveau gegenüber 2015 zu verzeichnen. Der in der TA Luft vorgeschriebene Immissionswert für die Bleideposition von  $100 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  wurde 2016 wieder 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, liegen leichte Änderungen im Bereich der üblichen Schwankungsbreite vor. Für das Jahr 2016 lässt sich feststellen, dass bei den Gebietsmittelwerten in allen Messgebieten ein leichter Anstieg bzw. ein gleichbleibendes Niveau gegenüber 2015 zu verzeichnen ist. Der in der TA Luft vorgeschriebene Immissionswert von  $2 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  wird in 2016 an keinem der hessischen Messpunkte überschritten.

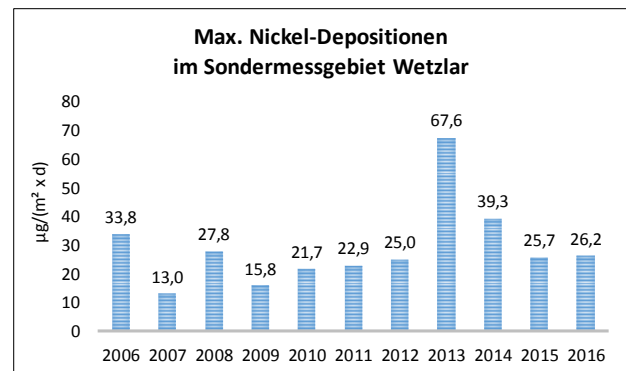
#### Nickel:

Der in Abb. 4 dargestellte zeitliche Trend der Immissionsbelastung durch die Deposition von Nickel entspricht im Hinblick auf eine allgemeine Abnahmetendenz etwa dem für Arsen beschriebenen Bild. In 2016 ist die Nickeldepositionsrate in den Messgebieten Wiesbaden, Wetzlar und Gießen gegenüber dem Vorjahr leicht angestiegen. Für alle übrigen Gebiete ist ein Rückgang bzw. ein gleichbleibendes Niveau gegenüber 2015 festzustellen.

In Ballungsräumen wurden früher höhere Einträge für Nickel ermittelt, als z. B. in den beiden emittentenfern gelegenen Gebieten Hünfelden und Ulrichstein. Jedoch zeigt sich für Nickel, dass sich die Depositionsraten in den Ballungsräumen und den emittentenfernen Bereichen weiter aneinander angleichen. Der Gebietsmittelwert für das Sondermessgebiet Wetzlar ist im Vergleich zum Vorjahr geringfügig angestiegen, bewegt sich aber weiterhin unterhalb dem in der TA Luft vorgeschriebenen

Immissionswert in Höhe von  $15 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$ . Bei der punktuellen Auswertung überschreiten drei Maximalwerte den für Nickel vorgegebenen Immissionswert: in Hünfelden mit  $15,55 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$ , in Wiesbaden mit  $21,10 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  und im Sondermessgebiet Wetzlar mit  $26,16 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$ .

Hier ein grafischer Rückblick über die maximal ermittelten Nickeleinträge der Jahre 2006 bis 2016 im Rahmen des Sondermessprogramms in Wetzlar:



#### Thallium:

Für Thallium wurde in Abb. 4 auf die Trenddarstellung verzichtet, weil die ermittelte Immissionsbelastung meist unterhalb der Nachweisgrenze des angewandten Messverfahrens lag. Wie Tab. 7 zeigt, wird der in der TA Luft [5] für den Thalliumeintrag vorgeschriebene Immissionswert von  $2 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \times \text{d})$  in allen Fällen auch in 2016 weiterhin unterschritten.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass (bis auf wenige Ausnahmen) seit 1996 in den hessischen Messgebieten entweder ein Rückgang bzw. nur leichte Erhöhungen der Schwermetalldepositions-raten (im Rahmen üblicher Schwankungsbreiten) zu verzeichnen sind. Ein langfristiger eindeutiger Trend für die Staubbiederschlagsbelastung ist derzeit noch nicht auszumachen. Begleitet von relativ starken jährlichen Schwankungen ist nach Durchlaufen eines Minimums zwischen 2002 und 2004 aber eine Tendenz zu ansteigenden Werten zu beobachten.

## Hessisches PAK-Messprogramm

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 im Verdacht, ein krebserzeugendes Potential zu besitzen.

PAK-Partikel 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. Die im Rahmen der europäischen Luftqualitätsgesetzgebung zu untersuchenden PAK-Verbindungen – insbesondere auch

Benzo(a)pyren – liegen jedoch zum größten Teil partikelgebunden vor. Für die Beurteilung dieser Verbindungen beschränken sich die Probenahme und die Analyse daher auf die Partikelphase.

Die schwebstaubgebundenen PAK werden durch trockene und nasse Deposition aus der Atmosphäre 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.

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

Der Zielwert ist seit dem 1. Januar 2013 einzuhalten und beträgt als Jahresmittelwert  $1 \text{ ng/m}^3$ .

Die Messungen der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe Benzo(a)pyren (BaP), Benzo(a)anthracen (BaA), Benzo(b,j,k)fluoranthren (BF (b+j+k)), Dibenz(a,h)anthracen (DBA) und Indeno(1,2,3-cd)pyren (INP) erfolgen nach der

39. BImSchV § 20 [4] als Bestandteile der  $\text{PM}_{10}$ -Staubfraktion. BaA, BF (b+j+k), DBA und INP werden zusätzlich zur geforderten Leitkomponente BaP erfasst.

Auch im Jahre 2016 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 [4] berücksichtigt. 6 Messstationen sind verkehrsbezogen, 3 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 Tab. 8 zu entnehmen.



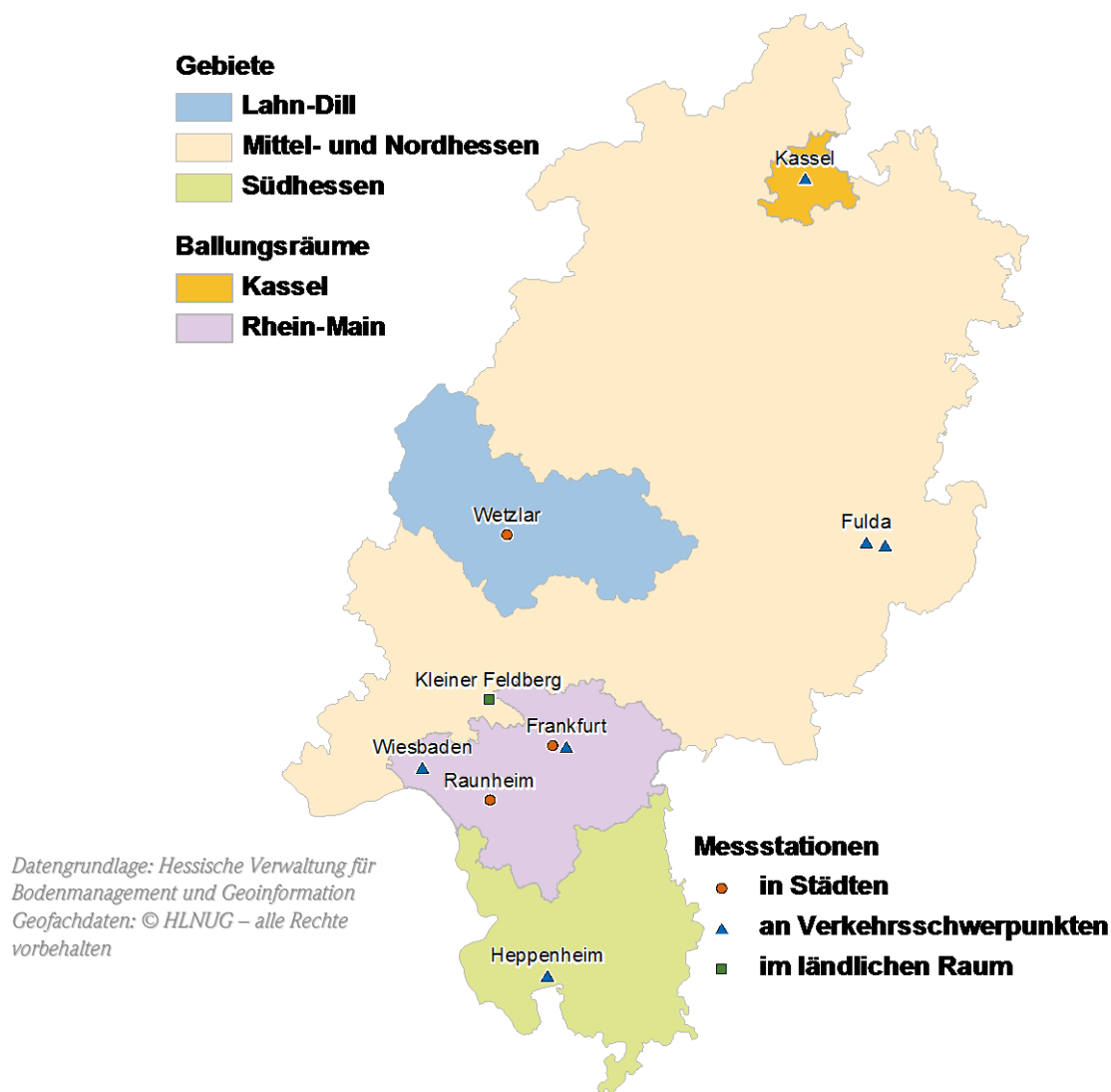


Abb. 5: Probenahmestellen des PAK-Messnetzes

Tab. 8: Standorte der PAK-Probenahmestellen 2016

	Stationsname	RW (GK)	HW (GK)	Höhe ü. NN (m)	Längengrad (WGS 84)	Breitengrad (WGS 84)	Stationsklassifizierung
▲	Ffm.-Höhenstraße	3478630	5554250	122	8°42'0"	50°7'27"	städtisches Gebiet, Verkehr
●	Ffm.-Palmengarten	3475450	5554400	107	8°39'20"	50°7'32"	städtisches Gebiet, Hintergrund
▲	Fulda-Petersberger-Straße	3548600	5601820	281	9°41'05"	50°33'0"	städtisches Gebiet, Verkehr
▲	Fulda-Künzeller-Straße	3549300	5601200	295	9°41'40"	50°32'41"	städtisches Gebiet, Verkehr
▲	Heppenheim-Lehrstraße	3474180	5500790	120	8°38'29"	49°38'36"	städtisches Gebiet, Verkehr
▲	Kassel-Fünffensterstraße	3534340	5686470	167	9°29'29"	51°18'43"	städtisches Gebiet, Verkehr
■	Kleiner Feldberg	3460580	5565200	825	8°26'48"	50°13'18"	ländliches Gebiet, Hintergrund
●	Raunheim	3460780	5541650	91	8°27'6"	50°0'36"	städtisches Gebiet, Hintergrund
●	Wetzlar	3464700	5603640	154	8°30'2"	50°34'3"	städtisches Gebiet, Verkehr
▲	Wiesbaden-Ringkirche	3445000	5549280	120	8°13'51"	50°4'38"	städtisches Gebiet, Verkehr

**Abkürzungen:**

RW: Rechtswert    HW: Hochwert    GK: Gauß-Krüger    Höhe ü. NN: Höhe über Normalnull    WGS 84: World Geodetic System 1984  
 ● Luftmessstationen in Städten    ▲ Luftmessstationen an Verkehrsschwerpunkten    ■ Luftmessstationen im ländlichen Raum

## Probenahmeverfahren und Durchführung des Messprogramms

Nach der 39. BImSchV [4] sind bestimmte PAK als Bestandteile der PM<sub>10</sub>-Fraktion des atmosphärischen Aerosols zu erfassen. Die Probenahme erfolgt mit einem High-Volume-Sampler der Firma Digital (DHA-80), 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 von dem Probenahmegerät selbstständig konstant gehalten, so dass 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 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 PM<sub>10</sub>-Staub aus einem angesaugten Luftvolumen von ca. 720 m<sup>3</sup>.

## PAK-Werte für 2016

Tab. 9: Jahresmittelwerte der gemessenen PAK im Jahr 2016

		BaP	BaA	BF (b+j+k)	DBA	INP
		Benzo(a)pyren	Benzo(a)-anthracen	Benzo(b,j,k)-fluoranthen	Dibenz(a,h)-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>	1	-	-	-	-
	<b>Stationsname</b>					
▲	Ffm.-Höhenstraße	0,28	0,16	0,67	0,06	0,27
●	Ffm.-Palmengarten	0,16	0,07	0,39	0,04	0,17
▲	Fulda-Petersberger-Straße	0,27	0,14	0,60	0,05	0,25
▲	Fulda-Künzeller-Straße	0,31	0,12	0,66	0,06	0,30
▲	Heppenheim-Lehrstraße	0,44	0,24	0,96	0,08	0,39
▲	Kassel-Fünffensterstraße	0,22	0,14	0,55	0,04	0,22
■	Kleiner Feldberg	0,03	0,02	0,07	0,01	0,04
●	Raunheim	0,24	0,10	0,56	0,05	0,24
●	Wetzlar	0,28	0,13	0,64	0,05	0,27
▲	Wiesbaden-Ringkirche	0,22	0,19	0,52	0,04	0,19

### Erläuterungen:

● Luftmessstationen in Städten

▲ Luftmessstationen an Verkehrsschwerpunkten

■ Luftmessstationen im ländlichen Raum

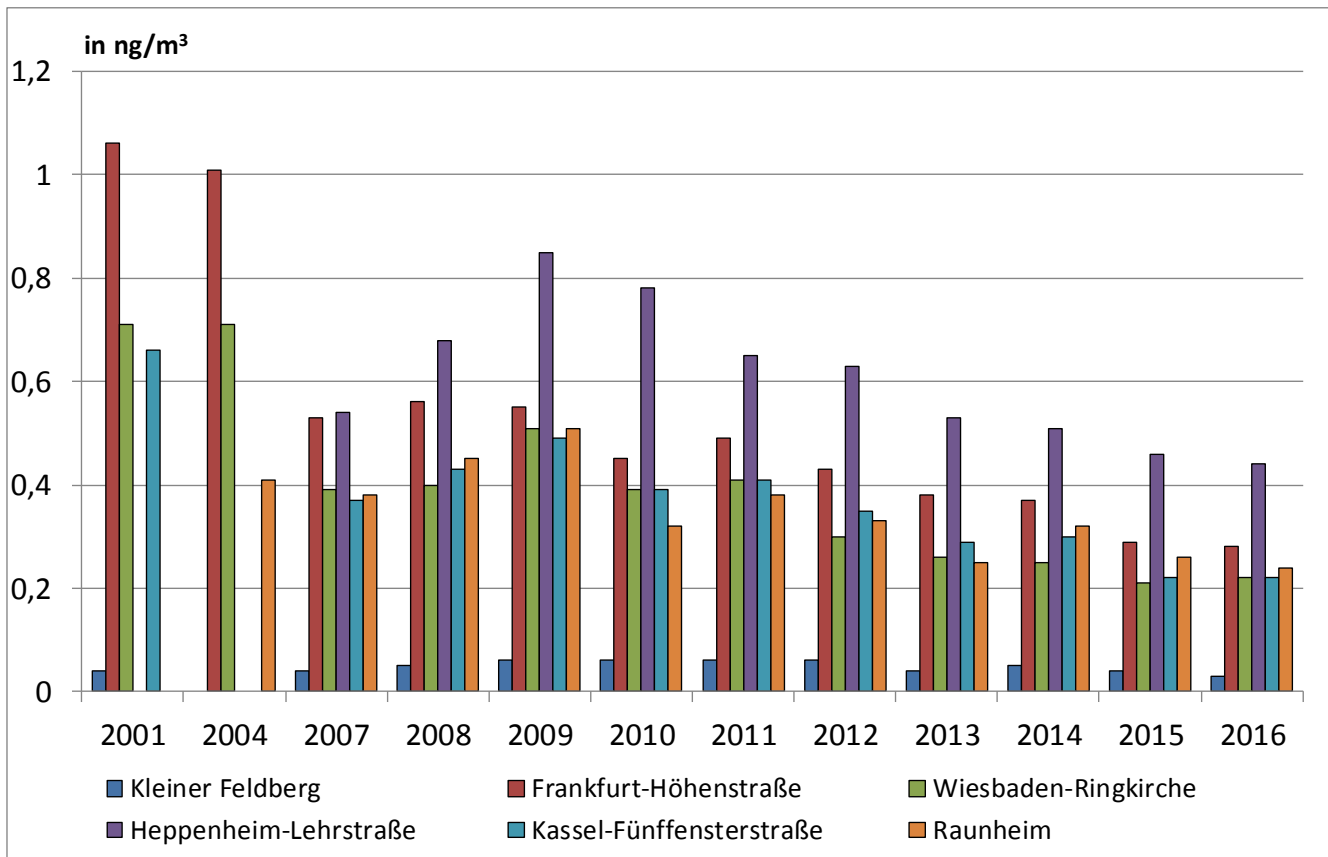


Abb. 6: Zeitreihe der an den PAK-Messstationen ermittelten Jahresmittelwerte für Benzo(a)pyren 2001 bis 2016

### Benzo(a)pyren (BaP):

Bei der ersten Erfassung des BaP in Hessen im Jahr 1986/87 wurden Messwerte bis zu  $2,3 \text{ ng/m}^3$  ermittelt. Bei der zweiten Erhebung im Jahr 1995/96 wurde, mit Ausnahme der Messstelle Höhenstraße in Frankfurt am Main (Jahresmittelwert 1995 für Benzo(a)pyren  $3,7 \text{ ng/m}^3$ ), an allen Messstellen der seit 1. Januar 2013 einzuhaltende Zielwert von  $1 \text{ ng/m}^3$  unterschritten. Am Standort Frankfurt-Höhenstraße wird der Zielwert bereits seit 2001 eingehalten bzw. im Nachkommabereich einmal leicht überschritten (Wert für 2001:  $1,06 \text{ ng/m}^3$ ).

Verkehrsbezogene Stationen liefern erfahrungsgemäß höhere Messwerte als städtische oder ländliche Hintergrundstationen. Insbesondere an der emittent fern gelegenen Station am Kleinen Feldberg wurde eine deutliche Abnahme bis zu einem aktuellen Wert von  $0,03 \text{ ng/m}^3$  ermittelt.

Die Konzentration von Benzo(a)pyren und auch der anderen gemessenen PAK gingen von 2001 bis zum Jahre 2007 kontinuierlich zurück. 2008 erfolgte 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, die Station Kleiner Feldberg zeigte einen Gleichstand. In 2011 waren an 6 Stationen die Werte gegenüber 2010 leicht angestiegen. Der Vergleich des Jahres 2011 mit 2012 zeigt bei 2 Stationen einen Gleichstand und an 8 Stationen eine Abnahme gegenüber 2011. In 2013 lagen die BaP-Jahresmittelwerte an allen Messstellen erneut niedriger als im Vorjahr. Somit liegen auch für das Jahr 2016 keine Zielwertüberschreitungen beim Benzo(a)pyren vor. Auch der höchste in 2016 erhobene Jahresmittelwert von  $0,44 \text{ ng/m}^3$ , gemessen an der Station in Heppenheim, unterschreitet den Zielwert von  $1 \text{ ng/m}^3$  deutlich.

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

Erstmals im Jahr 2000 konnten, durch den großflächigen Einsatz an insgesamt 60 Messpunkten, mit BTX-Passivsammlern in Südhessen sehr gute Erfahrungen – auch was die Qualität der Messergebnisse betrifft – gemacht werden. Aufgrund dieser guten Erfahrungen werden ab dem Jahr 2007 verkehrsbezogene Stationen des Luftmessnetzes Hessen, in denen u.a. aus Platzgründen kein kontinuierlich messender BTX-Analysator eingesetzt werden kann, mit Passivsammlern ausgerüstet (siehe Tab. 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.

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

	Stationsname	RW (GK)	HW (GK)	Höhe ü. NN (m)	Längengrad (WGS 84)	Breitengrad (WGS 84)	Stationsklassifizierung
▲	Frankfurt-Friedb. Landstraße	3478042	5554310	119	8°41'30"	50°7'28"	städtisches Gebiet, Verkehr
▲	Gießen-Westanlage	3476601	5605432	162	8°40'6"	50°35'2"	städtisches Gebiet, Verkehr
▲	Heppenheim-Lehrstraße	3474218	5500787	110	8°38'31"	49°38'35"	städtisches Gebiet, Verkehr
▲	Kassel-Fünfensterstraße	3534316	5686479	179	9°29'28"	51°18'43"	städtisches Gebiet, Verkehr
●	Limburg	3433288	5583454	128	8°3'39"	50°23'59"	städtisches Gebiet, Hintergrund
▲	Marburg-Universitätsstraße	3483818	5630202	186	8°46'10"	50°48'25"	städtisches Gebiet, Verkehr
▲	Offenbach-Untere Grenzstraße	3484680	5551717	108	8°47'5"	50°6'5"	städtisches Gebiet, Verkehr
▲	Wiesbaden-Ringkirche	3444979	5549276	145	8°13'49"	50°4'37"	städtisches Gebiet, Verkehr

### Abkürzungen:

**RW:** Rechtswert    **HW:** Hochwert    **GK:** Gauß-Krüger    **Höhe. ü. NN:** Höhe über Normalnull    **WGS 84:** World Geodetic System 1984  
 ● Passivsammler in Städten    ▲ Passivsammler an Verkehrsschwerpunkten    ■ Passivsammler im ländlichen Raum

## BTX-Aromaten

BTX ist die Abkürzung für die Lösemittel Benzol, Toluol und Xylol, die zu den Aromaten und damit zu den organischen 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 in die Außenluft gelangen. Seit dem 01.01.2000 ist für Ottokraftstoffe ein Maximalgehalt von 1 % Benzol zugelassen (EU-Richtlinie 98/70/EG).

In der 39. BImSchV [4] wurde für die Außenluftkonzentration ein Grenzwert von  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als Jahresmittelwert festgelegt, der seit dem Jahr 2010 verbindlich einzuhalten ist.

### Toluol:

Toluol besitzt den gleichen ringförmigen Aufbau wie Benzol, mit dem Unterschied, dass beim Toluol ein Wasserstoffatom durch eine Methylgruppe ( $\text{CH}_3$ ) 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 leichter nachweisbar ist.

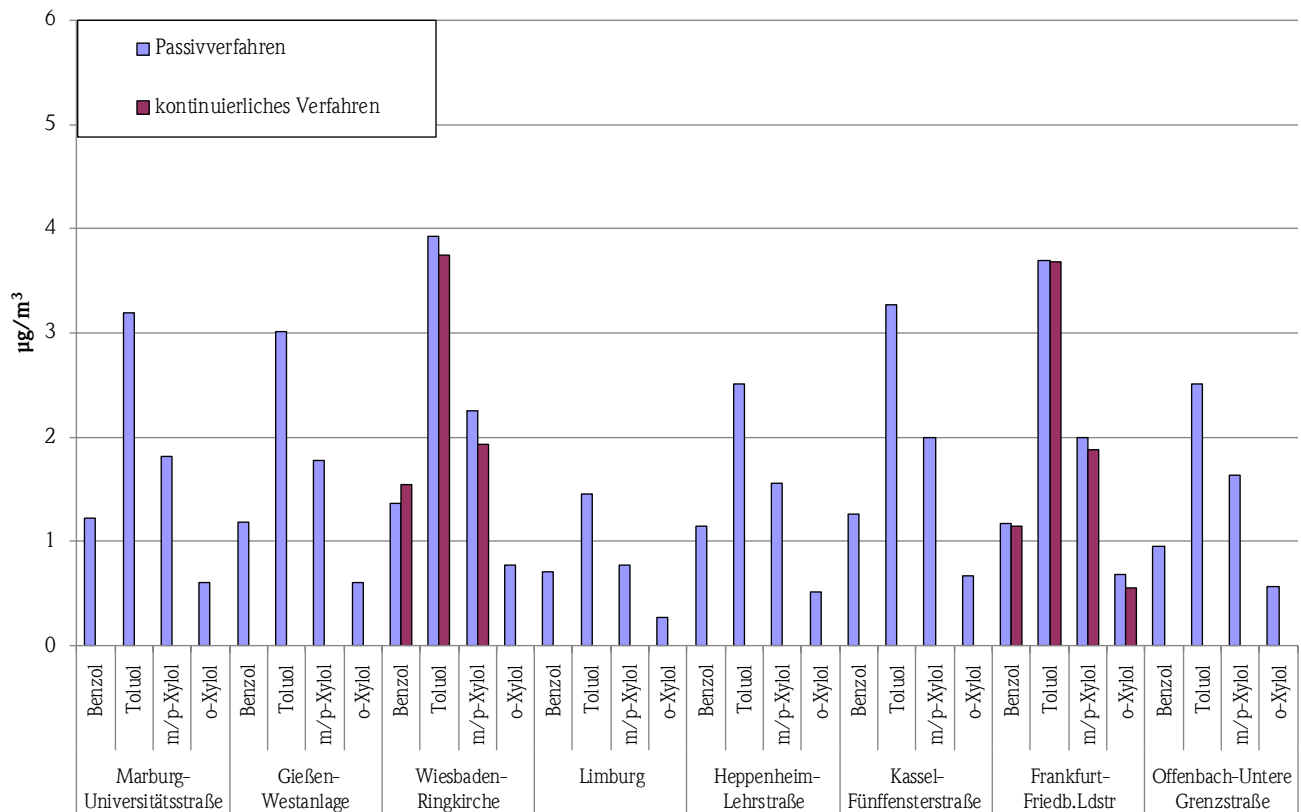
Wie Toluol ist auch Xylol gesundheitsschädlich.

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.



## BTX-Werte 2016

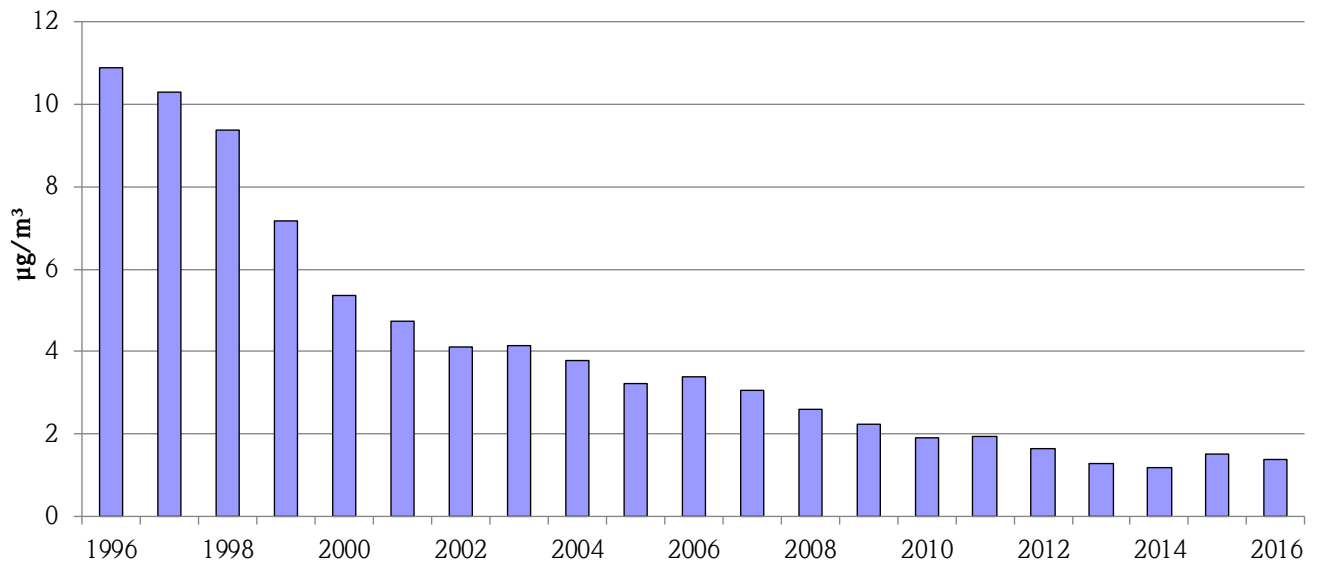


**Abb. 7:** Jahresmittelwerte der BTX-Konzentration erhoben nach der Passivsammelverfahren sowie Vergleich mit den Ergebnissen des kontinuierlich registrierenden BTX-Messplatzes

Wie die oben stehende Abbildung zeigt, unterschreiten die Benzolkonzentrationen an den sieben aufgeführten verkehrsbezogenen Messpunkten mit Jahresmittelwerten unterhalb von  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  den in der 39. BImSchV seit 2010 vorgeschriebenen Grenzwert von  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahresmittel deutlich. Als Ausnahme bildet die Messstation in Limburg den städtischen Hintergrund ab. Damit belegen auch die Messungen mit dem

Passivsammelverfahren das inzwischen niedrige Konzentrationsniveau. Abb. 8 zeigt beispielhaft den deutlichen Rückgang der Benzolkonzentration, die Mitte der 90er Jahre im Straßenraum noch in der Größenordnung von  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lag.

Der Lufthygienische Jahresbericht 2016, Teil I, enthält und beschreibt weitere Ergebnisse der im Jahr 2016 in Hessen durchgeführten kontinuierlichen BTX-Messungen.



**Abb. 8:** Zeitliche Entwicklung der Benzol-Jahresmittelwerte, Station Wiesbaden-Ringkirche (Erhebung mit kontinuierlich messendem BTX-Analysator)

## 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 17.05.2013 (BGBl. I S. 1274, ber. S. 3753).
- [4] Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV) in der Fassung vom 2. 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 (GMBL. 25-29 vom 24.07.2002, S. 511).
- [6] 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).
- [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 durch Richtlinie 2009/30/EG am 23. April 2009 (ABl. EU L140 vom 05.06.2009, S. 88).
- [8] VDI-Richtlinie 4320 Blatt 2, Ausgabe Jan. 2012, Messung atmosphärischer Deposition, Bestimmung des Staubsiederschlags nach der Bergerhoff-Methode (VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 4).



## Impressum

### Lufthygienischer Jahresbericht 2016

#### Teil II: Staub und Staubinhaltsstoffe

Titelbild: Staubniederschlagsammler im Heinrich-Fischer-Bad Hanau

Bearbeitung:

Dipl.-Ing. N. Föll  
Prof. Dr. S. Jacobi  
W. Travnicek M. Sc.  
K. Wolf B. Sc.

Layout: Dipl.-Ing. N. Föll

Herausgeber: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie  
Postfach 3209  
65022 Wiesbaden

Telefon: 0611 6939-0  
Fax: 0611 6939-555  
Homepage: [www.hlnug.de](http://www.hlnug.de)



© Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie 2017 – alle Rechte vorbehalten