



Elementgehalte in Feinstaub PM₁₀

Räumliche und saisonale Variabilität
Langzeittrends 2011–2020



analytik



Elementgehalte in Feinstaub PM_{10}

Räumliche und saisonale Variabilität
Langzeittrends 2011–2020

Impressum

Elementgehalte in Feinstaub PM₁₀

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)

Bürgermeister-Ulrich-Straße 160

86179 Augsburg

Tel.: 0821 9071-0

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de

Internet: www.lfu.bayern.de/

Konzept/Text:

LfU, Jürgen Diemer

Redaktion:

LfU, Jürgen Diemer

Bildnachweis:

LfU

Stand:

November 2021

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbenden oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 0 89 12 22 20 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
1 Zusammenfassung	6
2 Probenahme und Analytik	8
2.1 Messstationen und Zeiträume	8
2.2 Probenahme der Feinstaubfraktion PM ₁₀	8
2.3 Elementanalytik der Feinstaubproben	9
3 Ergebnisse	9
3.1 Einhaltung der Grenz- bzw. Zielwerte für Blei, Arsen, Nickel und Cadmium	9
3.2 Elementkonzentrationen im Feinstaub: Lokale Charakteristik	10
3.3 Jahregänge der Elementkonzentrationen im Feinstaub	15
3.4 Langzeittrends der Elementkonzentrationen im Feinstaub	23
4 Literatur	30

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Jahresgänge für Natrium im PM ₁₀ an den untersuchten Messstationen (in ng/m ³)	16
Abb. 2:	Jahresgänge für Kalium im PM ₁₀ an den untersuchten Messstationen (in ng/m ³)	17
Abb. 3:	Jahresgänge für Bismut im PM ₁₀ an den untersuchten Messstationen (in ng/m ³)	17
Abb. 4:	Jahresgänge für Arsen im PM ₁₀ an den untersuchten Messstationen (in ng/m ³)	18
Abb. 5:	Jahresgänge für Cadmium im PM ₁₀ an den untersuchten Messstationen (in ng/m ³)	18
Abb. 6:	Jahresgänge für Blei im PM ₁₀ an den untersuchten Messstationen (in ng/m ³)	19
Abb. 7:	Jahresgänge für Aluminium im PM ₁₀ an den untersuchten Messstationen (in ng/m ³)	19
Abb. 8:	Jahresgänge für Cer im PM ₁₀ an den untersuchten Messstationen (in ng/m ³)	20
Abb. 9:	Jahresgänge für Lanthan im PM ₁₀ an den untersuchten Messstationen (in ng/m ³)	20
Abb. 10:	Jahresgänge für Kupfer im PM ₁₀ an den untersuchten Messstationen (in ng/m ³)	21
Abb. 11:	Jahresgänge für Zinn im PM ₁₀ an den untersuchten Messstationen (in ng/m ³)	21
Abb. 12:	PM ₁₀ (in µg/m ³) an der Messstation München/Landshuter Allee	23
Abb. 13:	PM ₁₀ (in µg/m ³) an der Messstation Augsburg/Königsplatz	23
Abb. 14:	PM ₁₀ (in µg/m ³) an der Messstation Augsburg/LfU	23
Abb. 15:	PM ₁₀ (in µg/m ³) an der Messstation Andechs/Rothenfeld	23
Abb. 16:	PM ₁₀ (in µg/m ³) an der Messstation Nürnberg/von-der-Tann-Straße	23
Abb. 17:	PM ₁₀ (in µg/m ³) an der Messstation Würzburg/Stadtring Süd	23
Abb. 18:	Blei im PM ₁₀ (in ng/m ³) an der Messstation München/Landshuter Allee	25
Abb. 19:	Blei im PM ₁₀ (in ng/m ³) an der Messstation Augsburg/Königsplatz	25
Abb. 20:	Blei im PM ₁₀ (in ng/m ³) an der Messstation Augsburg/LfU	25
Abb. 21:	Blei im PM ₁₀ (in ng/m ³) an der Messstation Andechs/Rothenfeld	25
Abb. 22:	Blei im PM ₁₀ (in ng/m ³) an der Messstation Nürnberg/Von-der-Tann-Straße	25
Abb. 23:	Blei im PM ₁₀ (in ng/m ³) an der Messstation Würzburg/Stadtring Süd	25
Abb. 24:	Langfristige Entwicklung des Bleigehalts im Schwebstaub an LÜB-Messstationen (in ng/m ³)	26
Abb. 25:	Zinn im PM ₁₀ (in ng/m ³) an der Messstation München/Landshuter Allee	29
Abb. 26:	Zinn im PM ₁₀ (in ng/m ³) an der Messstation Augsburg/Königsplatz	29
Abb. 27:	Zinn im PM ₁₀ (in ng/m ³) an der Messstation Augsburg/LfU	29
Abb. 28:	Zinn im PM ₁₀ (in ng/m ³) an der Messstation Andechs/Rothenfeld	29
Abb. 29:	Zinn im PM ₁₀ (in ng/m ³) an der Messstation Nürnberg/Von-der-Tann-Straße	29
Abb. 30:	Zinn im PM ₁₀ (in ng/m ³) an der Messstation Würzburg/Stadtring Süd	29

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Übersicht untersuchter LÜB-Messstationen	8
Tab. 2:	Blei-, Arsen-, Nickel- und Cadmiumgehalte im Feinstaub PM10 in den Jahren 2011–2020 als Mittelwert verschiedener bayerischer Messstationen	9
Tab. 3:	Mittelwert der Elementkonzentrationen für den Untersuchungszeitraum (in ng/m ³)	10
Tab. 4:	Elementkonzentrationen für den Untersuchungszeitraum relativ zum bayerischen Hintergrundwert (Station ADRO)	11
Tab. 5:	Mittlere Elementgehalte der in den Jahren 2013 und 2021 untersuchten Bremsbeläge	13
Tab. 6:	Abschätzung des durch Bremsabrieb verursachten PM10-Beitrags mittels Elementanalysen	14
Tab. 7:	Vergleich der mittels Elementanalysen sowie mit Hilfe des Screening-Modells IMMISem/luft ermittelten PM ₁₀ -Immissionen des Bremsabriebes	15
Tab. 8:	Abschätzung des Anteils des Bremsabriebes an Abrieb und Aufwirbelung des lokalen Verkehrs	15
Tab. 9:	Relevante Quellen untersuchter Elemente im Feinstaub	22
Tab. 10:	PM ₁₀ -Trends über 10 Jahre an den untersuchten LÜB-Messstationen	24
Tab. 11:	Trends der Elementkonzentrationen im PM ₁₀ für den Untersuchungszeitraum in % pro Jahr	27
Tab. 12:	Trends der Elementkonzentrationen im PM10 für den Untersuchungszeitraum in % pro Jahr	28

Abkürzungsverzeichnis

Al <i>Aluminium</i>	Cu <i>Kupfer</i>	Na <i>Natrium</i>
As <i>Arsen</i>	Fe <i>Eisen</i>	Ni <i>Nickel</i>
Bi <i>Bismut</i>	K <i>Kalium</i>	Pb <i>Blei</i>
Ca <i>Calcium</i>	La <i>Lanthan</i>	Sb <i>Antimon</i>
Cd <i>Cadmium</i>	LfU <i>Bayerisches Landesamt für Umwelt</i>	Sn <i>Zinn</i>
Ce <i>Cer</i>	Mg <i>Magnesium</i>	Ti <i>Titan</i>
Co <i>Cobalt</i>	Mn <i>Mangan</i>	V <i>Vanadium</i>
Cr <i>Chrom</i>	Mo <i>Molybdän</i>	Zn <i>Zink</i>

1 Zusammenfassung

Die EU-Luftqualitätsrichtlinien 2004/107/EG vom 15.12.2004 und 2008/50/EG vom 21.05.2008, die mit der Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV vom 02.08.2010 in deutsches Recht umgesetzt wurden, geben u. a. für die Elemente Blei, Cadmium, Arsen und Nickel als Bestandteil der Feinstaubfraktion PM_{10} Immissionsgrenz- bzw. Zielwerte vor. Daher untersucht das Bayerische Landesamt für Umwelt seit vielen Jahren (LfU) Elementgehalte in Feinstaubproben, die an ausgewählten Messstationen des Lufthygienischen Landesüberwachungssystems Bayern (LÜB) auf Tagesbasis gesammelt werden. Bei der Analytik dieser Feinstaubproben mittels Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) werden auch noch weitere Elemente bestimmt, deren Untersuchung weitergehende Aussagen über lokale und saisonale Quellen sowie langfristige Entwicklungen von Luftschadstoffen erlaubt. Dieser Bericht fasst wesentliche Ergebnisse und Trends der Analytik von Staubinhaltsstoffen aus einem Jahrzehnt (2011 – 2020) und darüber hinaus zusammen.

Chemische Elemente sind als natürlicher Bestandteil der Erdkruste in der Umwelt ubiquitär vertreten und werden z. B. durch Gesteinsverwitterung, Bodenbildung oder Vulkanausbrüche in die natürlichen Stoffkreisläufe freigesetzt. Deutlich nachweisbar erhöht der Mensch durch Aktivitäten wie Bergbau, Brennstoffeinsatz oder Gebrauch und Verwertung von Industriemetallen deren Freisetzung und Eintrag in die Umwelt. Umweltschädliche Metalle werden beispielsweise durch die Rohstoffförderung, den Energiesektor, Metallverarbeitung und -recycling oder bei Verschleiß metallhaltiger Gebrauchsgegenstände mobilisiert. In einigen Bereichen wie Industrie und Energieerzeugung, aber auch im Bereich der auspuffbezogenen Emissionen des Straßenverkehrs konnte durch emissionsmindernde Maßnahmen die Verbreitung in die Umwelt bereits wieder deutlich reduziert werden. So präsentieren wir in diesem Bericht umfangreiches Datenmaterial aus Messungen vergangener Jahrzehnte, die zeigen, dass die Bleikonzentrationen im Feinstaub PM_{10} an allen LÜB-Messstationen massiv zurückgingen. Die Reduktion ist noch stärker als der Rückgang des PM_{10} selbst. Ursache für diese überproportional starke Abnahme sind weltweit geltende Verbote von Bleizusätzen in Kraftstoffen für Kraftfahrzeuge, sowie seit 2003 geltende Regelungen der Altautoverordnung, die Blei aus KFZ-Bremsbelägen verbannten. Die vom LfU seit 1985 erfassten Daten zeigen klar, dass mit den beschriebenen Maßnahmen die Konzentrationen von Blei im Schwebstaub von über 500 ng/m^3 auf unter 3 ng/m^3 herabgesetzt wurden, was einem Rückgang um einen Faktor von 200 in 35 Jahren entspricht. Auch die Konzentrationen anderer gesetzlich geregelter Elemente wie Cadmium, Arsen und Nickel weisen im PM_{10} überwiegend stark fallende Trends auf, so dass für diese Elemente auch künftig nicht mit Überschreitungen der unteren Beurteilungsschwelle zu rechnen ist.

Mittlerweile gewinnen jedoch im Bereich des Straßenverkehrs die nicht auspuffbezogenen Emissionen immer mehr an Bedeutung. Metallhaltige Stäube können hier z. B. durch den Abrieb von Brems scheiben und Bremsbelägen, Reifen und Fahrbahnbelag sowie durch Aufwirbelung von der Fahrbahn oberfläche entstehen. Unsere Ergebnisse zeigen, dass insbesondere die Konzentrationen der Elemente Kupfer, Zinn, Molybdän, Eisen, Antimon, Chrom und Bismut als Bestandteil der Feinstaubfraktion PM_{10} an verkehrsnahen LÜB-Messstationen deutlich höher als an den LÜB-Standorten im städtischen oder ländlichen Hintergrund sind. Bremsabriebe weisen – anders als viele andere Elemente oder die Konzentration der Feinstaubfraktion PM_{10} selbst – keine sinkenden, sondern gleichbleibende oder ansteigende Langzeitverläufe auf.

Für eine Reihe anderer Elemente konnte gezeigt werden, dass der Straßenverkehr keine relevante Quelle mehr darstellt. So sind die Konzentrationen der Elemente Aluminium, Kalium, Titan und Vanadium an allen untersuchten LÜB-Messstationen vergleichbar, was auf einen eher untergeordneten Einfluss lokaler Emittenten hinweist. Bei diesen Elementen dominieren Quellbeiträge aus Ferntransport oder Aufwirbelung bzw. Erosion. Durch das insgesamt sinkende Konzentrationsniveau gewinnen bei einigen Elementen auch Sondereffekte, wie z. B. Emissionen durch das Neujahrsfeuerwerk, an Bedeutung.

2 Probenahme und Analytik

2.1 Messstationen und Zeiträume

Die Probenahmen erfolgten an verschiedenen Messstationen des Lufthygienischen Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB). Bei der Auswahl der LÜB-Stationen wurde darauf geachtet, dass sowohl die Situation im regionalen Hintergrund (Andechs/Rothenfeld) und im städtischen Hintergrund (Augsburg/LfU) als auch Bereiche mit lokal hoher Verkehrsbelastung (z. B. LÜB-Station München/Landshuter Allee) erfasst werden. Ab dem Jahr 2012 erfolgten ergänzende Untersuchungen an den verkehrsbezogenen LÜB-Messstationen Nürnberg/Von-der-Tann-Straße und Würzburg/Stadtring Süd. Eine Übersicht der Messstationen, ihrer Standortcharakteristik sowie des Untersuchungszeitraums gibt Tab. 1. Details zur Lage, Ausstattung und Charakteristik der Messstationen können auf der Internetseite des LfU abgerufen werden [1].

Tab. 1: Übersicht untersuchter LÜB-Messstationen

Kürzel	Stationscode	Stationsname	Untersuchungszeitraum	Typ
ADRO	DEBY109	Andechs/Rothenfeld	2011–2020	Ländlicher Hintergrund
AULFU	DEBY099	Augsburg/LfU	2011–2020	Vorstädtischer Hintergrund
AUKOE	DEBY006	Augsburg/Königsplatz	2011–2020	Städtisch verkehrsnah
MUELA	DEBY115	München/Landshuter Allee	2011–2020	Städtisch verkehrsnah
NUETAN	DEBY120	Nürnberg/Von-der-Tann-Straße	2012–2020	Städtisch verkehrsnah
WUEST	DEBY119	Würzburg/Stadtring Süd	2012–2020	Städtisch verkehrsnah

2.2 Probenahme der Feinstaubfraktion PM₁₀

Für die Probenahmen werden Filtriersammler, sogenannte „low-volume-Sampler“ verwendet, die mit einem Einlasssystem ausgestattet sind, das Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser größer 10 µm durch Vorabscheidung mittels Impaktion von der Probenahme ausschließt. Die Sammlung erfolgt als Tagesprobe, d. h. pro Kalendertag erfolgt eine integrierende Probenahme. Die Sammelgeräte werden mit Quarzfaserfiltern (47 mm) bestückt, auf denen die Feinstaubfraktion PM₁₀ abgeschieden wird.

Für zuverlässige Analytik sind möglichst niedrige und gleichmäßige Verfahrensblindwerte erforderlich. Da Quarzfaserfilter für einige Elemente erhebliche Blindwerte aufweisen können, die zudem chargenabhängig sind, werden jeweils vor der Beschaffung von Filtern Proben dieser Quarzfaserfilter auf ihre Elementgehalte geprüft. Um über einen längeren Zeitraum gleichmäßige Blindwerte zu gewährleisten, erfolgt die Beschaffung dann in größerem Rahmen (5.000–10.000 Filter von einer Charge eines Herstellers).

2.3 Elementanalytik der Feinstaubproben

Um einerseits den Aufwand für die Analytik in akzeptablem Rahmen zu halten, andererseits aber die Möglichkeit zu haben, saisonale Trends abzubilden, werden die Feinstaub-Tagesproben nach der gravimetrischen Staubmengenbestimmung aliquotiert und zu Mischproben zusammengefasst. Dabei werden die ungeraden Tage eines Monats sowie die geraden Tage eines Monats zusammengefasst und getrennt analysiert. Die Ergebnisse werden zu Monatswerten gemittelt.

Die Analytik erfolgt in Anlehnung an das in DIN EN 14902 beschriebene Verfahren für die Elementanalytik der PM₁₀-Fraktion des Schwebstaubs der Außenluft. Zur Bestimmung der Schwermetall- und Elementgehalte in Feinstaubproben wird durch Vierteln des Filters oder Ausstanzen der bestaubten Fläche eine Teilprobe erzeugt und mittels Mikrowellendruckaufschluss bei > 200°C oxidativ aufgeschlossen. Abweichend von DIN EN 14902, die einen Aufschluss mit Salpetersäure und Wasserstoffperoxid vorsieht, wird zusätzlich eine geringe Menge Salzsäure zugegeben. Dies ermöglicht die Bildung von Chlorokomplexen, was für einige Elemente (z. B. Sb, Sn) die Wiederfindungsraten erhöht und die Bestimmung der übrigen Elemente nicht beeinträchtigt. Ein Aliquot der Aufschlusslösung wird nach Zugabe von Rhodium und Lutetium als internem Standard mittels Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS, inductively coupled plasma–mass spectrometry) auf die Elementgehalte untersucht. Das hierfür verwendete ICP-MS-Gerät verfügt über eine Kollisionszelle zur Reduktion polyatomarer Interferenzen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die folgenden Elemente in der PM₁₀-Fraktion des Feinstaubes untersucht:

Aluminium (Al), Antimon (Sb), Arsen (As), Bismut (Bi), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Calcium (Ca), Cer (Ce), Chrom (Cr), Cobalt (Co), Eisen (Fe), Kalium (K), Kupfer (Cu), Lanthan (La), Magnesium (Mg), Mangan (Mn), Molybdän (Mo), Natrium (Na), Nickel (Ni), Titan (Ti), Vanadium (V), Zink (Zn) und Zinn (Sn).

3 Ergebnisse

3.1 Einhaltung der Grenz- bzw. Zielwerte für Blei, Arsen, Nickel und Cadmium

Tab. 2 zeigt die Ergebnisse der Elementanalytik von Feinstaubproben als Zehnjahresmittelwerte 2011–2020 im Vergleich mit den Immissionsgrenz- bzw. Zielwerten der 39. BImSchV.

Tab. 2: Blei-, Arsen-, Nickel- und Cadmiumgehalte im Feinstaub PM₁₀ in den Jahren 2011–2020 als Mittelwert verschiedener bayerischer Messstationen

Elementgehalte im Feinstaub PM ₁₀	Mittelwert der von 2011–2020 untersuchten Stationen ADRO, AULFU, AUKOE, MUELA	Grenz- bzw. Zielwert 39. BImSchV	Untere Beurteilungsschwelle
Blei	2,9 ng/m ³	0,5 µg/m ³	0,25 µg/m ³
Arsen	0,39 ng/m ³	6 ng/m ³	2,4 ng/m ³
Nickel	1,4 ng/m ³	20 ng/m ³	10 ng/m ³
Cadmium	0,09 ng/m ³	5 ng/m ³	2 ng/m ³

An allen untersuchten Messstationen werden sowohl die Immissionsgrenz- und Zielwerte als auch die unteren Beurteilungsschwellen deutlich unterschritten. Weitere Informationen zu den PM₁₀-Inhaltsstoffen sind auf den Internetseiten des LfU zu finden [2].

3.2 Elementkonzentrationen im Feinstaub: Lokale Charakteristik

Zur Ermittlung standortspezifischer bzw. lokaler Charakteristika der Elementgehalte werden die Ergebnisse der Elementanalytik für jede Messstation über den gesamten Untersuchungszeitraum gemittelt. In Tab. 3 sind diese Mittelwerte aufgeführt.

Tab. 3: Mittelwert der Elementkonzentrationen für den Untersuchungszeitraum (in ng/m³)

Station	Einheit	ADRO	AULFU	AUKOE	MUELA	NUETAN	WUEST
Zeitraum		2011–2020	2011–2020	2011–2020	2011–2020	2012–2020	2012–2020
Al	ng/m ³	86	107	148	184	167	176
As	ng/m ³	0,21	0,32	0,41	0,47	0,52	0,50
Bi	ng/m ³	0,19	0,41	0,62	1,9	0,98	0,68
Ca	ng/m ³	402	345	708	1117	457	460
Cd	ng/m ³	0,061	0,094	0,10	0,10	0,14	0,10
Ce	ng/m ³	0,10	0,16	0,30	0,45	0,35	0,29
Co	ng/m ³	0,041	0,067	0,17	0,24	0,20	0,23
Cr	ng/m ³	0,69	1,9	6,9	12	7,7	8,6
Cu	ng/m ³	2,7	9,5	26	91	55	52
Fe	ng/m ³	108	276	1003	2053	1476	2052
K	ng/m ³	147	190	197	272	224	200
La	ng/m ³	0,059	0,085	0,17	0,17	0,17	0,14
Mg	ng/m ³	72	76	145	188	94	95
Mn	ng/m ³	3,2	5,8	14	20	16	20
Mo	ng/m ³	0,21	0,60	1,3	3,7	2,1	2,2
Na	ng/m ³	103	158	236	720	482	364
Ni	ng/m ³	0,44	0,76	2,5	2,0	1,5	1,9
Pb	ng/m ³	2,0	2,9	3,4	3,3	4,4	3,9
Sb	ng/m ³	0,50	1,2	2,3	8,2	7,0	5,6
Sn	ng/m ³	0,68	2,1	5,7	21	12	10
Ti	ng/m ³	3,4	5,0	7,7	9,8	11	10
V	ng/m ³	0,30	0,38	0,63	0,78	0,83	0,92
Zn	ng/m ³	10	15	24	40	37	26

Es ist augenfällig, dass bei einigen Elementen die Konzentrationsunterschiede an den untersuchten Messstationen ausgeprägt sind, während die Konzentration anderer Elemente von Station zu Station nur wenig variiert. Noch deutlicher wird dies, wenn die Ergebnisse auf einen Referenzwert normiert

werden. Als Referenzwert wird die Konzentration des jeweils betrachteten Elements am Hintergrundstandort Andechs / Rothenfeld herangezogen. In Tab. 4 sind alle Elementkonzentrationen relativ zu diesem „bayerischen Hintergrundwert“ dargestellt.

Tab. 4: Elementkonzentrationen für den Untersuchungszeitraum relativ zum bayerischen Hintergrundwert (Station ADRO)

Station	Einheit	ADRO	AULFU	AUKOE	MUELA	NUETAN	WUEST
Zeitraum		2011–2020	2011–2020	2011–2020	2011–2020	2012–2020	2012–2020
Al		1	1,2	1,7	2,1	1,9	2,0
As		1	1,5	2,0	2,2	2,5	2,4
Bi		1	2,2	3,3	10	5,2	3,6
Ca		1	0,86	1,8	2,8	1,1	1,1
Cd		1	1,5	1,6	1,6	2,3	1,6
Ce		1	1,6	3,0	4,5	3,5	2,9
Co		1	1,6	4,1	5,9	4,9	5,6
Cr		1	2,8	10	17	11,2	12
Cu		1	3,5	10	34	20	19
Fe		1	2,6	9,3	19	14	19
K		1	1,3	1,3	1,9	1,5	1,4
La		1	1,4	2,9	2,9	2,9	2,4
Mg		1	1,1	2,0	2,6	1,3	1,3
Mn		1	1,8	4,4	6,3	5,0	6,3
Mo		1	2,9	6,2	18	10	11
Na		1	1,5	2,3	7,0	4,7	3,5
Ni		1	1,7	5,7	4,5	3,4	4,3
Pb		1	1,5	1,7	1,7	2,2	2,0
Sb		1	2,4	4,6	16	14	11
Sn		1	3,1	8,4	31	18	15
Ti		1	1,5	2,3	2,9	3,2	2,9
V		1	1,3	2,1	2,6	2,8	3,1
Zn		1	1,5	2,4	4,0	3,7	2,6

Die Elementkonzentrationen von Aluminium, Arsen, Cadmium, Kalium, Blei, Titan und Vanadium sind an allen untersuchten Messstationen vergleichbar, was auf einen eher untergeordneten Einfluss lokaler Belastungen hinweist. Dagegen bestehen ausgeprägte Unterschiede bei den Elementen Kupfer, Zinn, Molybdän, Eisen, Antimon, Chrom und Bismut.

Die Konzentration von Kupfer im PM_{10} an der stark verkehrsbelasteten Landshuter Allee war im Untersuchungszeitraum ca. 34-fach höher und an der Von-der-Tann-Straße in Nürnberg ca. 20-fach höher als an der ländlichen Hintergrundstation in Andechs. Aufgrund der Stationscharakteristika liegt die Annahme nahe, dass der Straßenverkehr die maßgebliche Quelle der erhöhten Konzentrationen im PM_{10} darstellt. Dasselbe gilt für die Elemente Kupfer, Zinn, Molybdän, Eisen, Antimon und Bismut. Gestützt wird dieser Befund durch Ergebnisse eigener Staubniederschlagsanalysen, die an verkehrsnahen LÜB-Messstationen ebenfalls deutlich erhöhte Depositionen der Elemente Kupfer, Zinn, Molybdän, Eisen, Antimon, Chrom und Bismut aufzeigen [3]. Einschlägiger Literatur (z. B. [4]) ist zu entnehmen, dass die genannten Elemente Bestandteile von Brems scheiben und -belägen sind. Beim Bremsen werden diese Elemente durch Abrieb emittiert und können als Bestandteil des PM_{10} nachgewiesen werden.

Um dies zu überprüfen, erfolgten eigene Analysen der Elementgehalte in Bremsbelägen. Dazu wurden in verschiedenen KfZ-Werkstätten gebrauchte Bremsbeläge gesammelt, gereinigt, vom Träger getrennt, analysenfein vermahlen und mittels energiedispersiver Röntgenfluoreszenzanalyse gemessen. Diese in den Jahren 2013 und 2021 durchgeführten Untersuchungen an insgesamt 162 KFZ-Bremsbelägen (siehe Tab. 5) belegen, dass das Belagmaterial die Elemente Eisen, Kupfer, Zinn, Molybdän, Antimon und Bismut im Mittel in hohen Konzentrationen enthält.

Tab. 5: Mittlere Elementgehalte der in den Jahren 2013 und 2021 untersuchten Bremsbeläge

Element	Einheit	Mittlerer Elementgehalt der 2013 untersuchten Bremsbelägen (n=65)	Mittlerer Elementgehalt der 2021 untersuchten Bremsbelägen (n=97)	Mittlerer Elementgehalt von Bremsbelägen im Untersuchungszeitraum (n=162)
Al	mg/kg	33400	47400	41800
As	mg/kg	30	40	40
Ba	mg/kg	45100	43600	44200
Bi	mg/kg	780	1450	1180
Ca	mg/kg	25300	36300	31900
Cr	mg/kg	6400	9200	8000
Cu	mg/kg	41700	24000	31100
Fe	mg/kg	148000	163000	157000
Mn	mg/kg	1250	2000	1700
Mo	mg/kg	3020	3200	3130
Ni	mg/kg	148	165	160
Pb	mg/kg	560	90	280
Sb	mg/kg	4400	7400	6220
Sn	mg/kg	28200	13700	19500
Ti	mg/kg	11700	9900	10700
Zn	mg/kg	29900	20900	24500
Zr	mg/kg	10700	12300	11700

Wird diese Belagzusammensetzung als repräsentativ für die Fahrzeugflotte im Untersuchungszeitraum erachtet, so kann unter der Annahme, dass der Abrieb von Bremsbelägen die dominierende Quelle einiger Elemente im PM_{10} ist und der Annahme, dass die Zusammensetzung des Bremsbelagstaubs am Immissionsort der Zusammensetzung des Bremsbelags entspricht, der durch Bremsabrieb verursachte PM_{10} -Beitrag wie folgt abgeschätzt werden:

$$PM_{10}(\text{Bremsabrieb}) = c_{\text{Element}}(PM_{10}) \cdot \frac{1000000 \frac{\text{mg}}{\text{kg}}}{c_{\text{Element}}(\text{Bremsbelag})} \cdot \frac{1 \mu\text{g}}{1000 \text{ ng}}$$

$PM_{10}(\text{Bremsabrieb})$ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Beitrag des Bremsabriebs zur lokal gemessenen PM_{10} -Konzentration
$c_{\text{Element}}(PM_{10})$ [ng/m^3]	Konzentration eines Elements im lokal gemessenen PM_{10}
$c_{\text{Element}}(\text{Bremsbelag})$ [mg/kg]	Massenanteil des betreffenden Elements im Bremsbelag
1/1000 $\mu\text{g}/\text{ng}$	Umrechnung von ng/m^3 auf $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Mit den Elementgehalten aus Tab. 3 und den mittleren Elementgehalten aller untersuchten Bremsbeläge aus Tab. 5 ergeben sich bei Auswertung über die Elemente Bismut, Chrom, Molybdän und Antimon Abschätzungen des durch Bremsabrieb verursachten PM₁₀-Beitrags (siehe Tab. 6).

Tab. 6: Abschätzung des durch Bremsabrieb verursachten PM₁₀-Beitrags mittels Elementanalysen

Station	Untersuchungszeitraum	Feinstaub PM ₁₀ aus Bremsabrieb
Andechs/Rothenfeld	2011–2020	0,04–0,15 µg/m ³
Augsburg/LfU	2011–2020	0,11–0,33 µg/m ³
Augsburg/Königsplatz	2011–2020	0,3–0,5 µg/m ³
München/Landshuter Allee	2011–2020	1,1–1,5 µg/m ³
Nürnberg/Von-der-Tann-Straße	2012–2020	0,6–1,1 µg/m ³
Würzburg/Stadtring Süd	2012–2020	0,6–1,1 µg/m ³

Dabei ist anzumerken, dass die durch Bremsabrieb verursachten PM₁₀-Anteile überschätzt werden können, da die am Immissionsort gemessene Elementkonzentration vollständig der Quelle „Bremsabrieb“ zugeordnet wird. Für einige der Elemente gibt es jedoch noch andere Quellen. Dies ist auch der Grund, wieso einige Elemente, die in Bremsbelägen in hohen Konzentrationen vorkommen (z. B. Calcium, Eisen, Kupfer), für diese Abschätzung nicht herangezogen wurden. Zum Vergleich wurde der PM₁₀-Beitrag des Bremsabriebs anhand der in [5] im Kap. 8.2 zitierten Emissionsfaktoren mit Hilfe des Screening-Modells IMMIS^{em/luft} für die LÜB-Stationen München/Landshuter Allee und Nürnberg/Von-der-Tann-Straße abgeschätzt. Folgende Emissions- und Korrekturfaktoren wurden nach [5] angesetzt:

Emissionsfaktoren für den Bremsabrieb im Gesamtschwebstaub (EF_{TSPBrems})

- Personenkraftwagen (Pkw): 7,5 mg/km
- schwere Nutzfahrzeuge (sNfz): 32,7 mg/km

Korrekturfaktoren

- EF_{TSPBrems}-Umrechnung in PM₁₀: 0,98
- Geschwindigkeitsumrechnung bei 50 km/h: 1,4

Mit den o. g. Emissions- und Korrekturfaktoren ergeben sich die Emissionsfaktoren für den Bremsabrieb im PM₁₀ (EF_{PM10Brems}) wie folgt:

- Pkw: 10,3 mg/km
- sNfz: 44,9 mg/km

Die ermittelten EF_{PM10Brems} für Pkw und sNfz wurden unter Verwendung der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) und des Anteils der sNfz an der DTV am jeweiligen LÜB-Standort als Eingangsgröße für das Screening-Modell IMMIS^{em/luft} verwendet. Dabei wurden an den untersuchten LÜB-Standorten die in Tab. 7 aufgeführten PM₁₀-Immissionsbeiträge des Bremsabriebs ermittelt.

Aus den Verursacheranalysen der 5. Fortschreibung des Luftreinhalteplans für München [6] und der 2. Fortschreibung des Luftreinhalteplans für Nürnberg [7] wurden die PM₁₀-Immissionsbeiträge des lokalen Verkehrs durch Abrieb (Bremsscheiben, Bremsbeläge, Reifen- und Straßenbelag) und Aufwirbelung (auf der Straßenoberfläche liegende Partikel) für das Bezugsjahr 2019 abgeschätzt. Diese

PM₁₀-Immissionsbeiträge durch Abrieb und Aufwirbelung des lokalen Verkehrs an den LÜB-Standorten sind ebenfalls in Tab. 7 dargestellt.

Tab. 7: Vergleich der mittels Elementanalysen sowie mit Hilfe des Screening-Modells IMMIS^{em/luft} ermittelten PM₁₀-Immissionen des Bremsabriebes

LÜB-Messtation	PM ₁₀ -Immissionen des Bremsabrieb		PM ₁₀ -Immissionen durch Abrieb und Aufwirbelung gesamt
	ermittelt aus Elementanalytik	berechnet mit IMMIS ^{em/luft}	berechnet
München Landshuter Allee	1,1–1,5 µg/m ³	1,2 µg/m ³	10 µg/m ³
Nürnberg Von-der-Tann-Straße	0,6–1,1 µg/m ³	1,0 µg/m ³	5 µg/m ³

Aus den in Tab. 7 angegebenen Immissionsbeiträgen kann wiederum der PM₁₀-Bremsabriebanteile (Bremsscheiben und Bremsbeläge) am PM₁₀-Anteil für Abrieb und Aufwirbelung des lokalen Verkehrs abgeschätzt werden (siehe Tab. 8).

Tab. 8: Abschätzung des Anteils des Bremsabriebes an Abrieb und Aufwirbelung des lokalen Verkehrs

LÜB-Messtation	Anteil des Bremsabriebes an Abrieb und Aufwirbelung	
	ermittelt aus Elementanalytik	berechnet
München Landshuter Allee	11–15 %	12 %
Nürnberg Von-der-Tann-Straße	12–22 %	20 %

Die mittels Staubinhaltsstoffanalytik und Berechnung mit IMMIS^{em/luft} abgeschätzten PM₁₀-Immissionsbeiträge des Bremsabriebes stimmen gut überein.

3.3 Jahrgänge der Elementkonzentrationen im Feinstaub

Zur Ermittlung der saisonalen Variabilität der Elementgehalte wurden die jeweils an den untersuchten Messstationen erhobenen Daten zu Monatsmittelwerten für den gesamten Untersuchungszeitraum zusammengefasst. Beispielsweise wurde aus den Januar-Monatsmittelwerten der Jahre 2011–2020 ein Mittelwert „Januar“ für den gesamten Untersuchungszeitraum gebildet. Dies erfolgte für jede Messstation. Bereits durch Betrachtung dieser Jahrgänge lassen sich Rückschlüsse auf relevante Quellen der betreffenden Elemente ziehen.

Die deutlichsten Jahresgänge wurden für das Element Natrium im PM₁₀ an den verkehrsnahen LÜB-Messstationen ermittelt (siehe Abb. 1). Insbesondere an den verkehrsnahen LÜB-Messstationen werden im Winter sehr hohe Gehalte gemessen, die auf die Aufwirbelung von auf die Fahrbahnen ausgebrachtem Streusalz zurückzuführen sind [8, 9]. An den Hintergrundmessstationen sind sowohl die Konzentrationen als auch die Unterschiede zwischen Winter und Sommer wesentlich geringer.

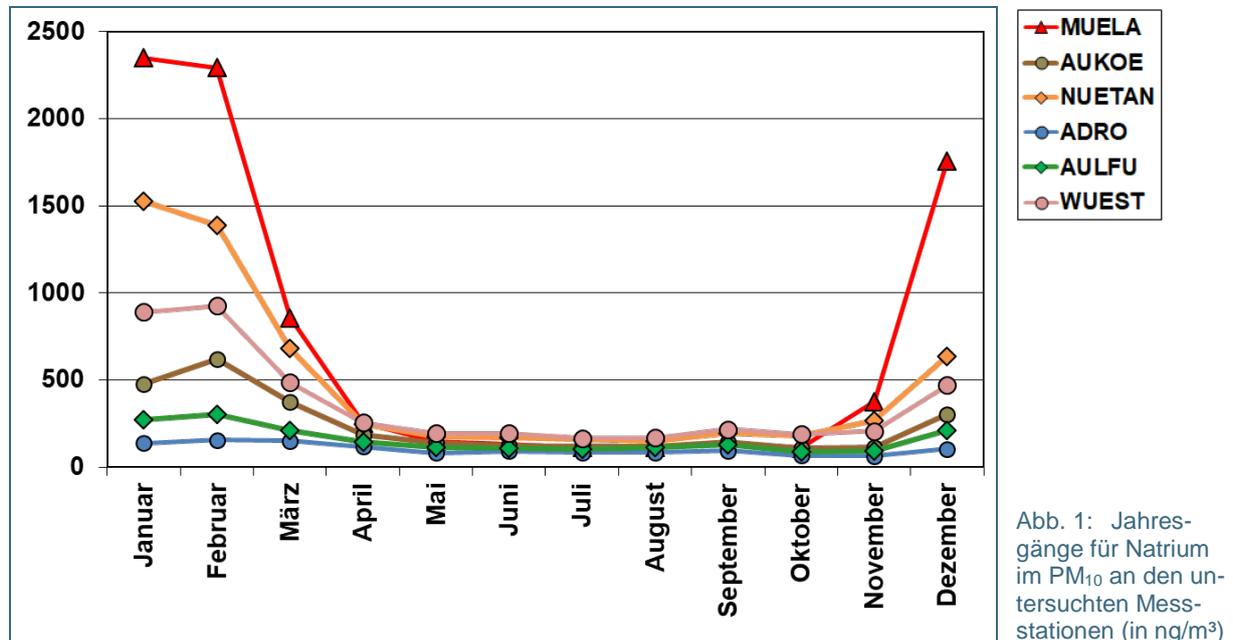


Abb. 1: Jahresgänge für Natrium im PM₁₀ an den untersuchten Messstationen (in ng/m³)

Ein weiteres Element mit starken saisonalen Unterschieden ist Kalium. Die Jahresgänge sind an verschiedenen Station ähnlich (siehe Abb. 2). Kalium wird bei der Holzverbrennung emittiert und kann als Tracer hierfür herangezogen werden [10]. Allerdings wird Kalium auch in größerem Umfang in pyrotechnischen Artikeln (Kaliumnitrat als Bestandteil des Schwarzpulvers) eingesetzt, was die durch das Neujahrfeuerwerk verursachten sehr hohen Gehalte im Januar an allen städtischen Stationen erklärt. Eine ausgeprägte Erhöhung der Konzentration im Monat Januar wird auch für das Element Bismut beobachtet (siehe Abb. 3), das ebenfalls in pyrotechnischen Artikeln (Crackling- oder Knallsterne) verwendet wird. Daneben ist Bismut in manchen Bremsbelägen (siehe 3.2) enthalten, was die großen Konzentrationsunterschiede zwischen den verkehrsnahen LÜB-Messstationen und LÜB-Messstationen im (vor)städtischen und ländlichen Hintergrund erklärt.

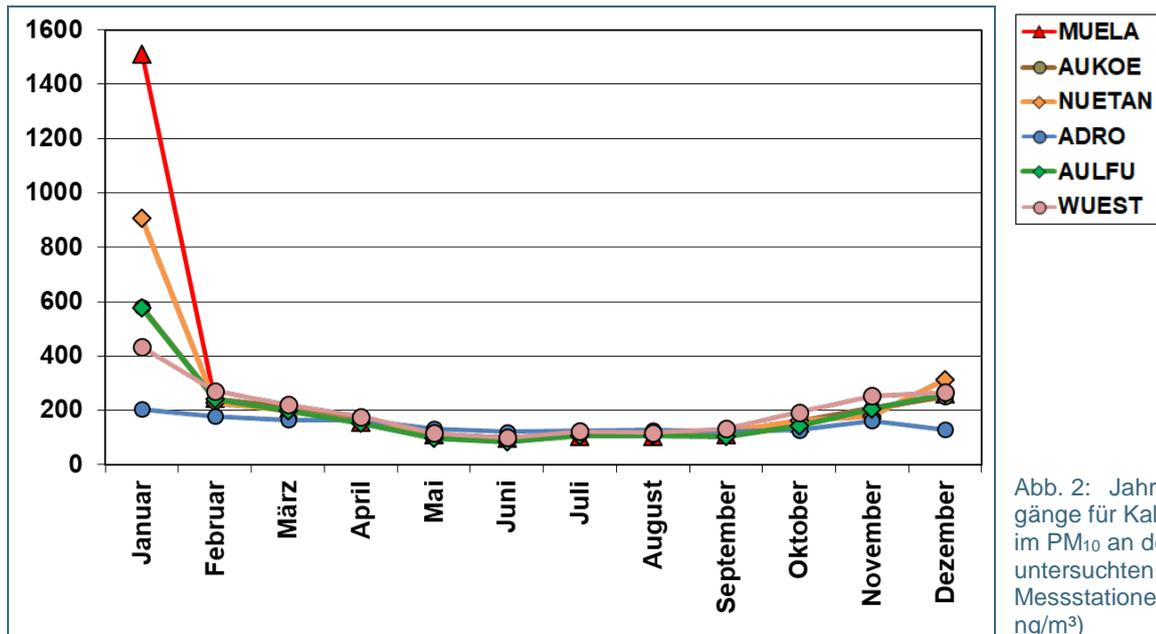


Abb. 2: Jahresgänge für Kalium im PM₁₀ an den untersuchten Messstationen (in ng/m³)

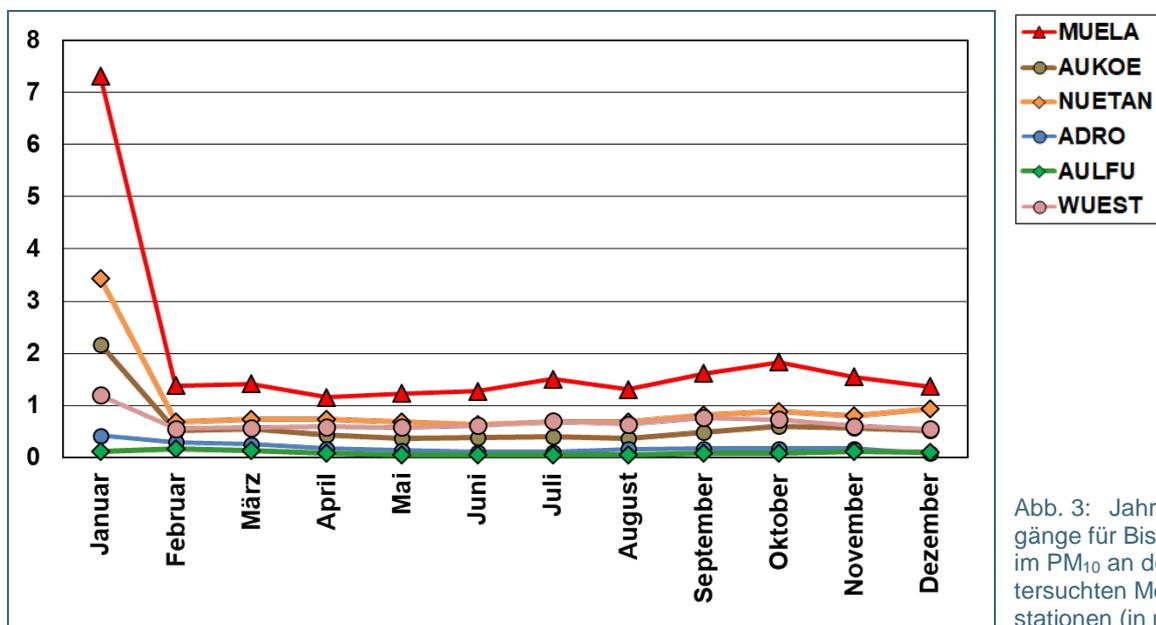


Abb. 3: Jahresgänge für Bismut im PM₁₀ an den untersuchten Messstationen (in ng/m³)

Jahresgänge mit hohen Gehalten im Winter und niedrigen Gehalten im Sommer finden sich auch bei den Elementen Arsen, Cadmium und Blei (siehe Abb. 4 bis

Abb. 6). Die Verläufe ähneln sich an den untersuchten Stationen und legen nahe, dass weder Straßenverkehr noch Neujahrfeuerwerk eine wesentliche Quelle dieser Elemente darstellt. Die höheren Konzentrationen an den beiden nordbayerischen Stationen sowie die erhöhten Werten im Winter weisen eher auf Ferntransport aus Osteuropa hin.

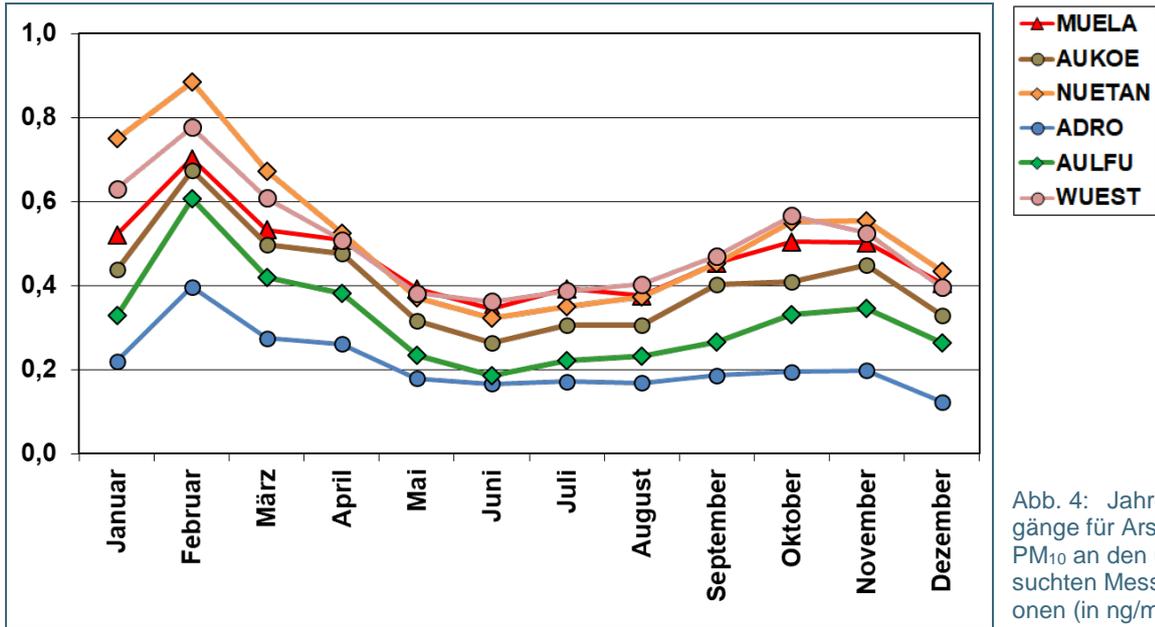


Abb. 4: Jahresgänge für Arsen im PM₁₀ an den untersuchten Messstationen (in ng/m³)

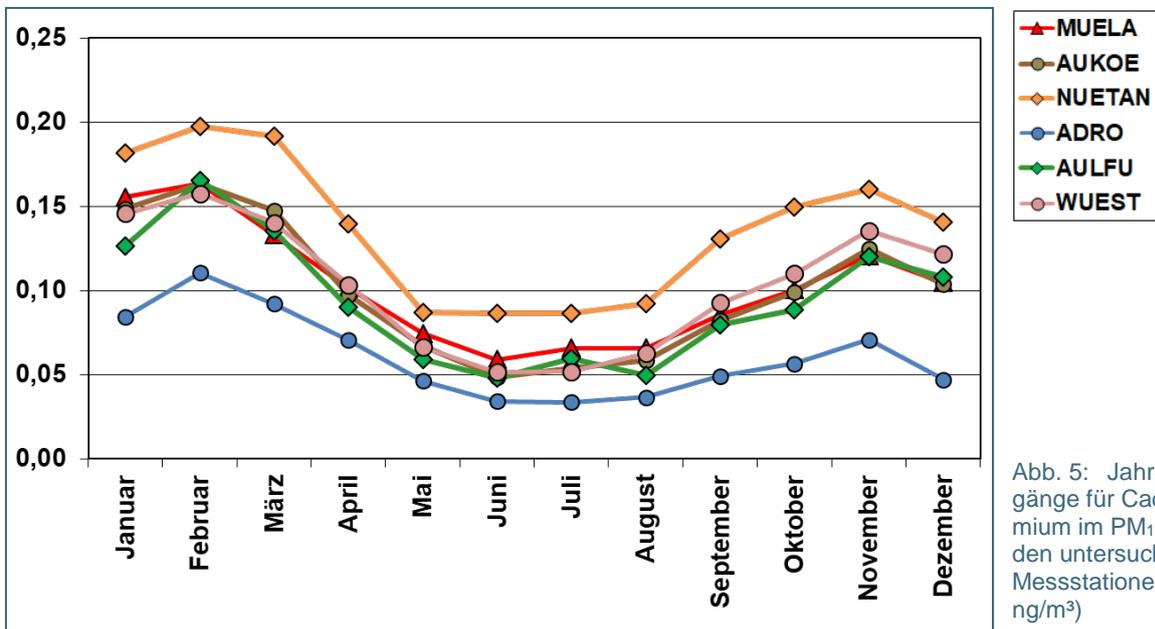


Abb. 5: Jahresgänge für Cadmium im PM₁₀ an den untersuchten Messstationen (in ng/m³)

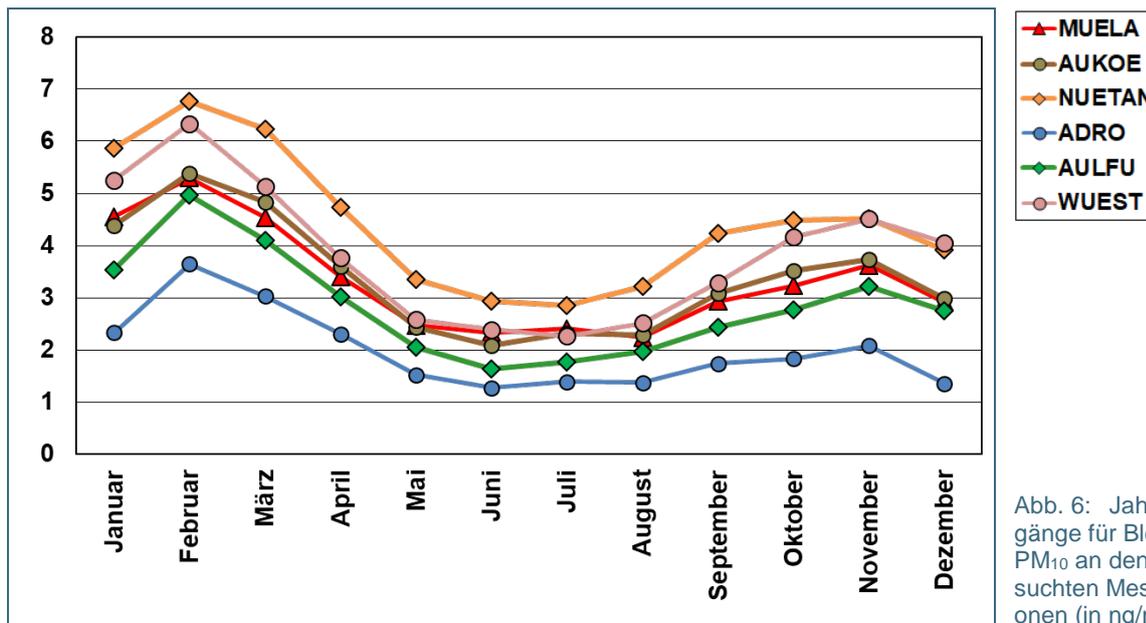


Abb. 6: Jahresgänge für Blei im PM₁₀ an den untersuchten Messstationen (in ng/m³)

Dagegen weist eine Reihe von Elementen Jahressgänge mit niedrigeren Gehalten im Winter und erhöhten Gehalten im Sommer auf (siehe Abb. 7 bis Abb. 9). Da die im Winter wesentlich häufiger auftretenden Witterungsperioden mit feuchten, gefrorenen oder schneebedeckten Oberflächen die Aufwirbelung reduzieren, ist zu erwarten, dass Elemente, deren wesentliche Quelle die Aufwirbelung durch Wind (aber auch durch Straßenverkehr) darstellt, im Winter niedrigere Konzentrationen aufweisen. Diese finden sich beispielsweise bei den Elementen Aluminium, Cer, Lanthan und Titan. Die Verläufe ähneln sich an den untersuchten Stationen, wobei durchaus unterschiedliche Konzentrationsniveaus vorliegen, die auf erhöhte Wiederaufwirbelung an Standorten mit erhöhter Verkehrsbelastung hinweist.

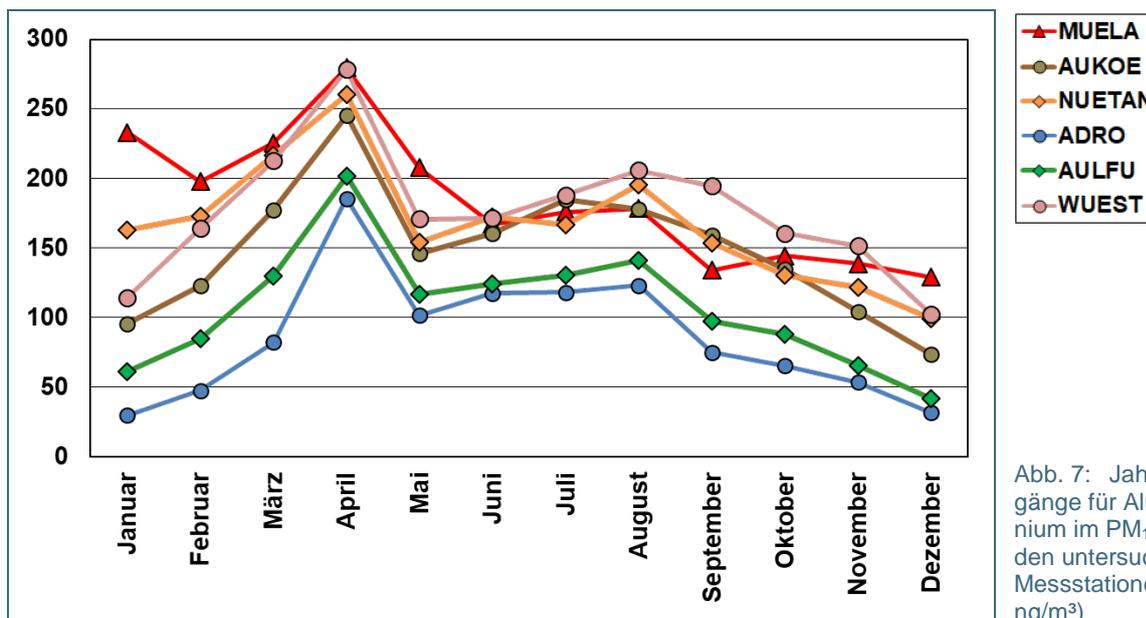


Abb. 7: Jahresgänge für Aluminium im PM₁₀ an den untersuchten Messstationen (in ng/m³)

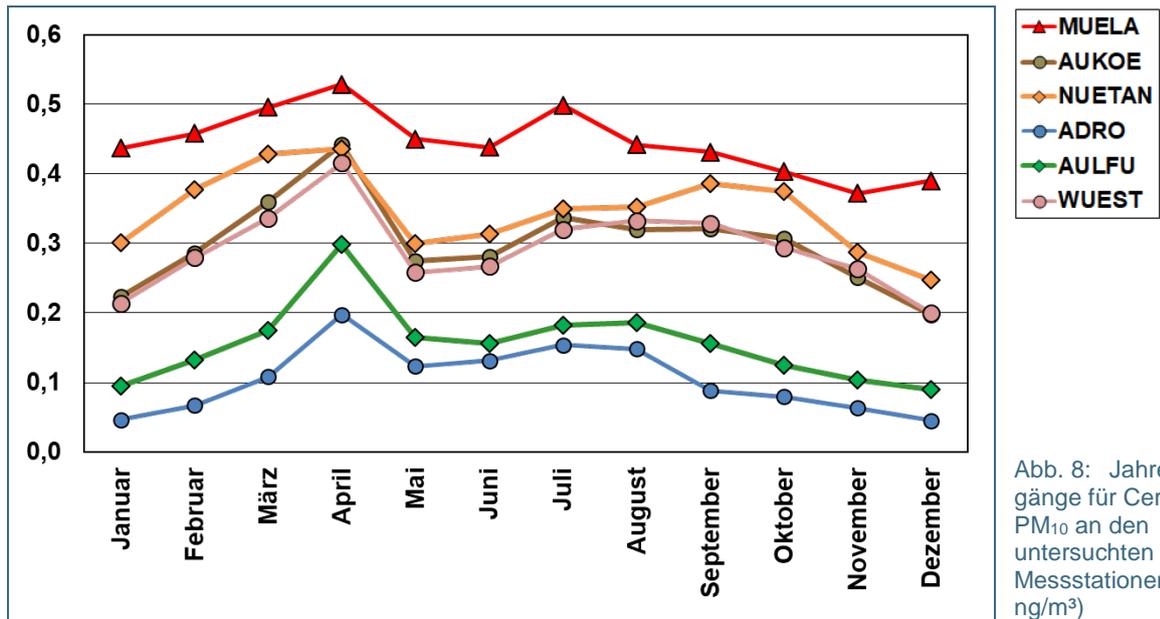


Abb. 8: Jahresgänge für Cer im PM₁₀ an den untersuchten Messstationen (in ng/m³)

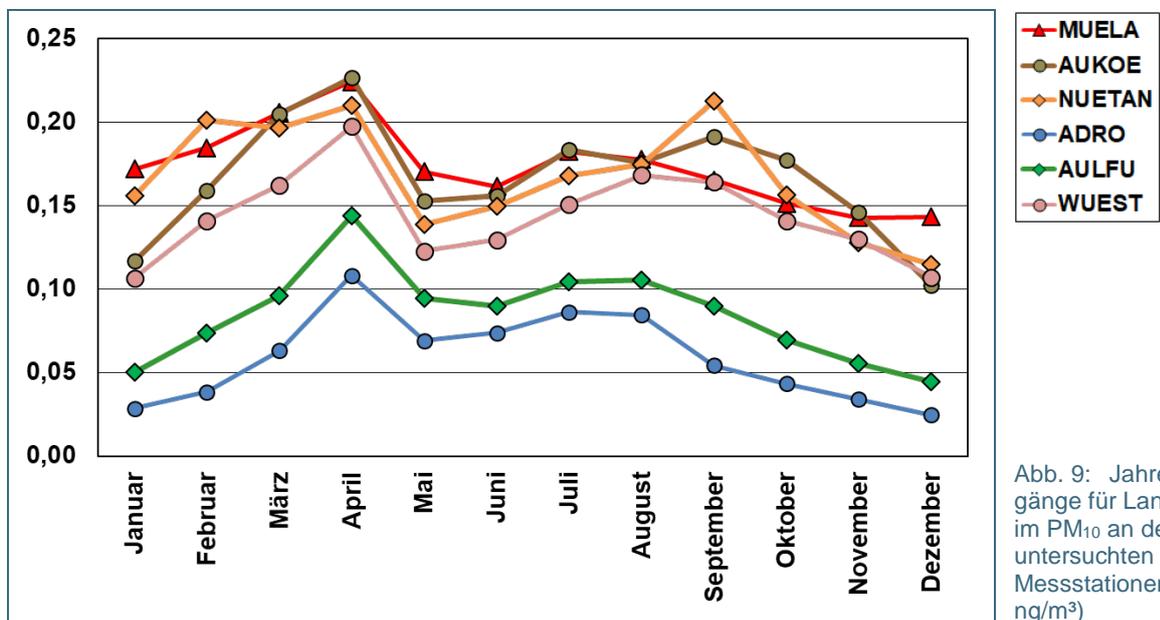


Abb. 9: Jahresgänge für Lanthan im PM₁₀ an den untersuchten Messstationen (in ng/m³)

Im Gegensatz dazu zeigen Elemente wie Kupfer, Zinn, Molybdän und Antimon (siehe Abb. 10 und Abb. 11) keinen derartigen Jahresgang. Auffällig ist hier neben den großen Konzentrationsunterschieden zwischen den Messstationen die sehr gute Korrelation; ein starkes Indiz, dass die Elemente aus derselben Quelle (in diesem Fall: Abrieb von Bremsbelägen, siehe 3.2) stammen.

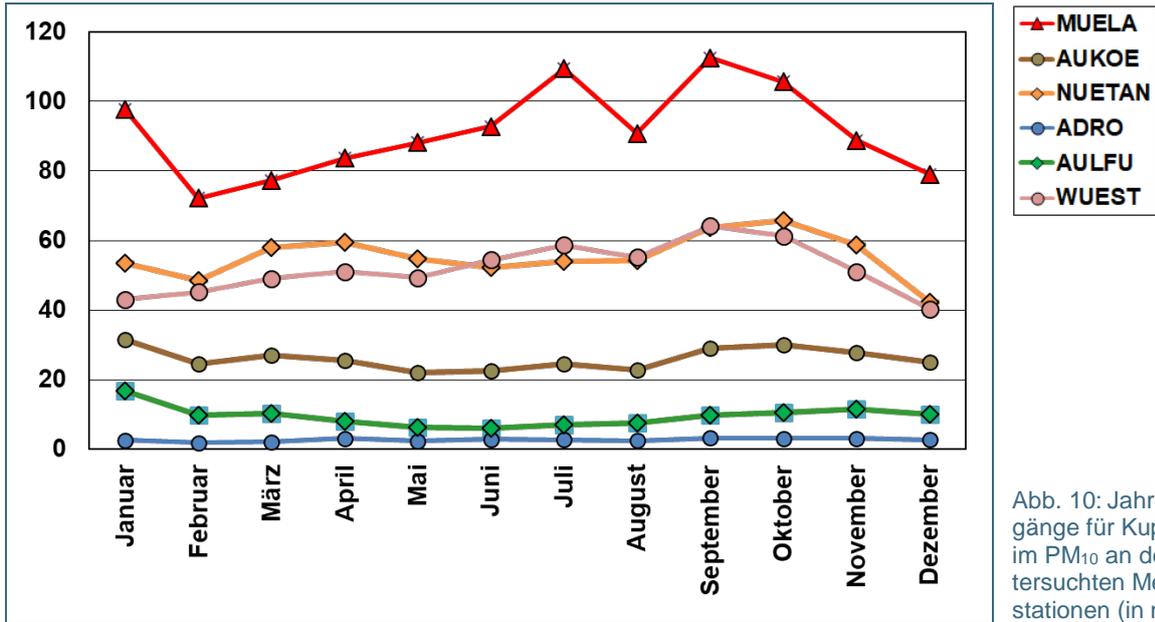


Abb. 10: Jahresgänge für Kupfer im PM₁₀ an den untersuchten Messstationen (in ng/m³)

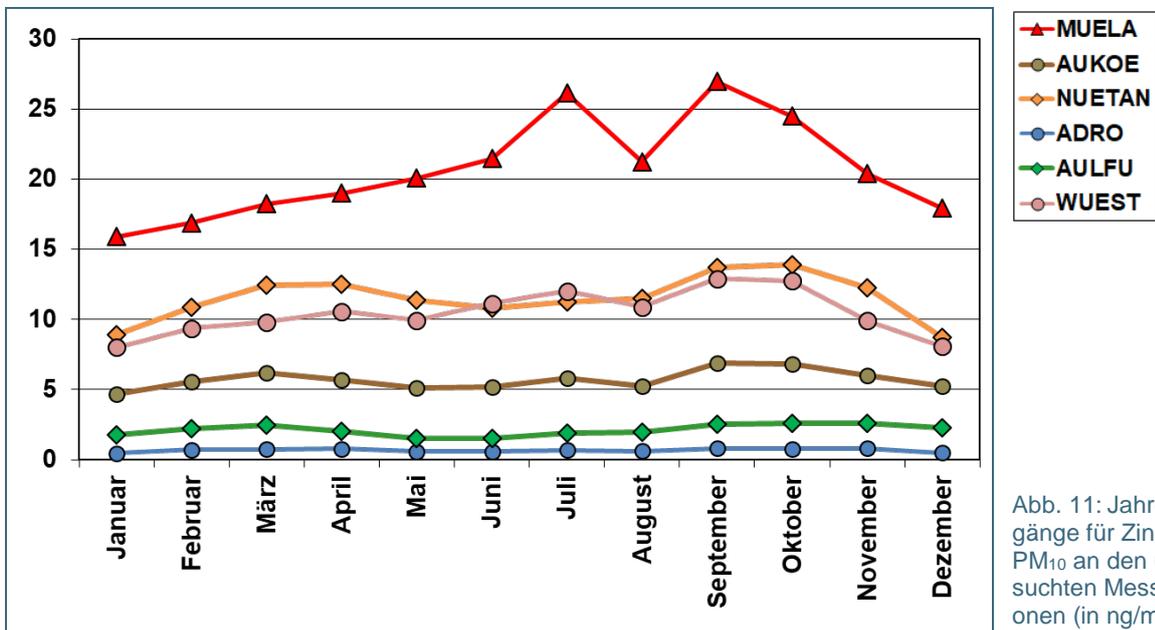


Abb. 11: Jahresgänge für Zinn im PM₁₀ an den untersuchten Messstationen (in ng/m³)

In Tab. 9 sind die untersuchten Elemente zusammen mit ihren relevanten Quellen aufgeführt. In der rechten Spalte ist zudem angegeben, ob sich das betreffende Element nach unserer Einschätzung als Leitsubstanz (Tracer) für die Quellenzuordnung eignet.

Tab. 9: Relevante Quellen untersuchter Elemente im Feinstaub

Element	Elementname	Relevante Quellen	Leitsubstanz für
Al	Aluminium	Aufwirbelung, Fahrbahnabrieb	
As	Arsen	Kraftwerke, Industrie	Ferntransport
Bi	Bismut	Straßenverkehr, Feuerwerk	Bremsabrieb
Ca	Calcium	Aufwirbelung, Fahrbahnabrieb	
Cd	Cadmium	Kraftwerke, Industrie	Ferntransport
Ce	Cer	Aufwirbelung, Fahrbahnabrieb	
Co	Cobalt		
Cr	Chrom	Straßenverkehr, Industrie	Bremsabrieb
Cu	Kupfer	Straßenverkehr	Bremsabrieb
Fe	Eisen	Aufwirbelung, Bremsabrieb, Fahrbahnabrieb, Schienenfahrzeuge	
K	Kalium	Gebäudebeheizung, Feuerwerk	Holzverbrennung
La	Lanthan	Aufwirbelung, Fahrbahnabrieb	
Mg	Magnesium		
Mn	Mangan		
Mo	Molybdän	Straßenverkehr	Bremsabrieb
Na	Natrium	Straßenverkehr	Aufwirbelung von Streusalz (zusammen mit Chlorid)
Ni	Nickel	Industrie	
Pb	Blei	Kraftwerke, Industrie (früher: Straßenverkehr)	Ferntransport
Sb	Antimon	Straßenverkehr	Bremsabrieb
Sn	Zinn	Straßenverkehr	Bremsabrieb
Ti	Titan	Aufwirbelung, Fahrbahnabrieb	
V	Vanadium		
Zn	Zink	Straßenverkehr, Industrie	

3.4 Langzeittrends der Elementkonzentrationen im Feinstaub

Der umfangreiche Datensatz erlaubt es, langfristige Trends anhand von Zeitreihen zu untersuchen. Dazu wurden an jeder Messstation zunächst die Jahresmittelwerte des zu untersuchenden Parameters gebildet und anschließend gegen das Untersuchungsjahr aufgetragen. Die Abb. 12 bis Abb. 17 bilden die Trends der Feinstaubkonzentration (PM₁₀) an den untersuchten Messstationen ab. Detaillierte Auswertungen zu den PM₁₀-Langzeitverläufen an den LÜB-Messstationen sind auf den Internetseiten des LfU zu finden [11].

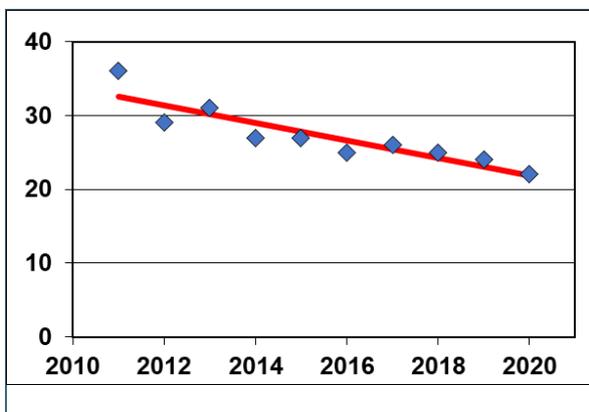


Abb. 12: PM₁₀ (in µg/m³) an der Messstation München/Landshuter Allee

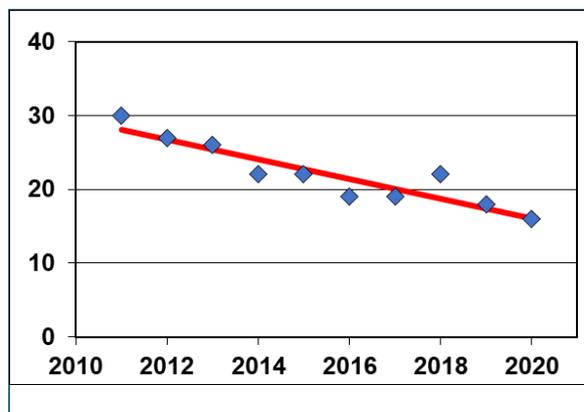


Abb. 13: PM₁₀ (in µg/m³) an der Messstation Augsburg/Königsplatz

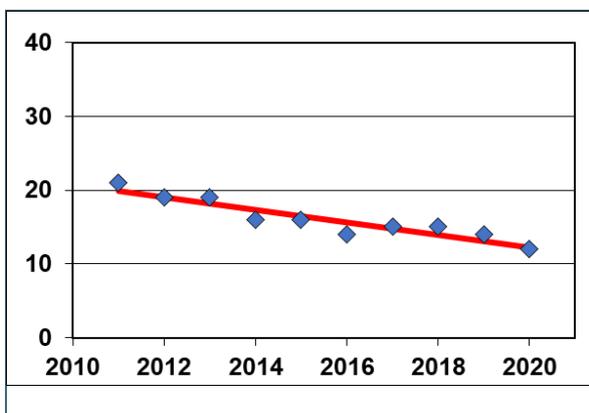


Abb. 14: PM₁₀ (in µg/m³) an der Messstation Augsburg/LfU

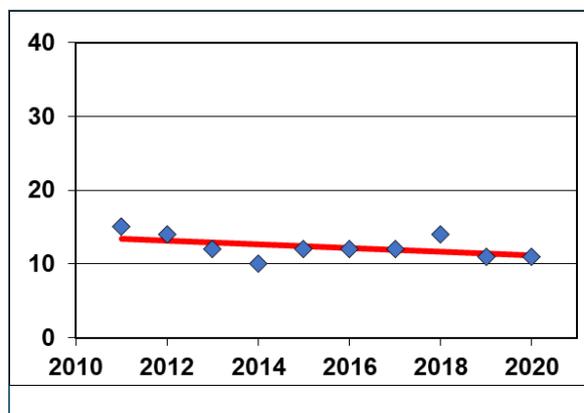


Abb. 15: PM₁₀ (in µg/m³) an der Messstation An-dechs/Rothenfeld

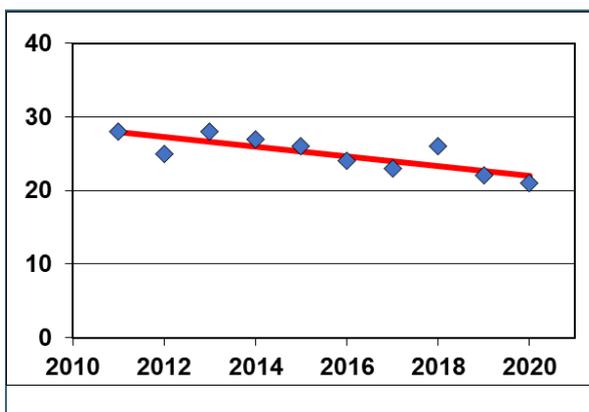


Abb. 16: PM₁₀ (in µg/m³) an der Messstation Nürnberg/von-der-Tann-Straße

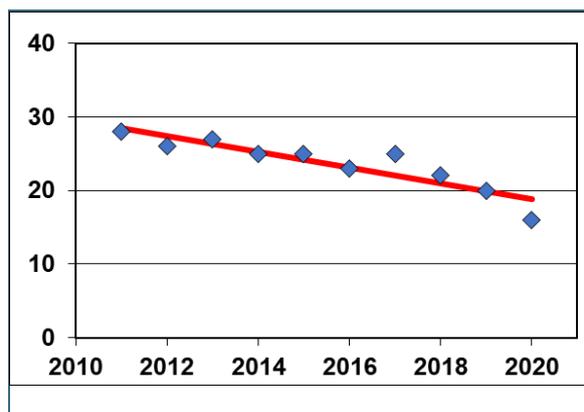


Abb. 17: PM₁₀ (in µg/m³) an der Messstation Würzburg/Stadtring Süd

An den untersuchten LÜB-Stationen sind über 10 Jahre signifikant fallende Feinstaubkonzentrationen zu beobachten (siehe Tab. 10). Ursache hierfür ist eine Reihe von Luftreinhaltemaßnahmen, beispielsweise die Ausrüstung von Diesel-PKW mit Partikelfiltern, die Errichtung von Umweltzonen sowie Minderungsmaßnahmen bei gasförmigen Vorläufersubstanzen für Partikel (SO₂, Stickoxide). Einen Beitrag dürften auch meteorologische Effekte (in den letzten Jahren mildere Winter mit einer geringeren Anzahl von Tagen mit Inversionswetterlagen) leisten.

Tab. 10: PM₁₀-Trends über 10 Jahre an den untersuchten LÜB-Messstationen

LÜB-Messstation	Zeitraum	Feinstaub PM ₁₀		Trend
		% pro Jahr	µg/m ³ gesamt	
Andechs/Rothenfeld	2011–2020	–2,0	–4	fallend, nicht signifikant
Augsburg/LfU	2011–2020	–5,3	–9	fallend, signifikant
Augsburg/Königsplatz	2011–2020	–6,1	–14	fallend, signifikant
München/Landshuter Allee	2011–2020	–4,4	–14	fallend, signifikant
Nürnberg/Von-der-Tann-Straße	2011–2020	–2,6	–7	fallend, signifikant
Würzburg/Stadtring Süd	2011–2020	–4,5	–12	fallend, signifikant

Die Abb. 18 bis Abb. 23 stellen beispielhaft die Trends für das Element Blei im PM₁₀ an allen untersuchten LÜB-Messstationen dar.

An allen LÜB-Messstationen ist ein Rückgang der Bleikonzentrationen im PM₁₀ zu beobachten, der noch stärker als der Rückgang des PM₁₀ selbst ist. Ursache für diese überproportional starke Abnahme ist das mittlerweile nahezu weltweit umgesetzte Verbot von Bleizusätzen in Kraftstoffen für Kraftfahrzeuge, sowie die Regelungen der Altautoverordnung 2003, die zum Verbot von Blei als Bestandteil von KFZ-Bremsbelägen führte. Noch deutlicher wird dies bei der langfristigen Betrachtung ab 1985 (siehe Abb. 24), für die an LÜB-Messstationen erhobene Daten zusammengefasst wurden. Mit den beschriebenen Maßnahmen konnte die Konzentration von Blei im Schwebstaub (vor 2005: TSP; seit 2005: PM₁₀) von über 500 ng/m³ auf unter 3 ng/m³ reduziert werden. Dies entspricht einem Rückgang um etwa Faktor 200 in 35 Jahren.

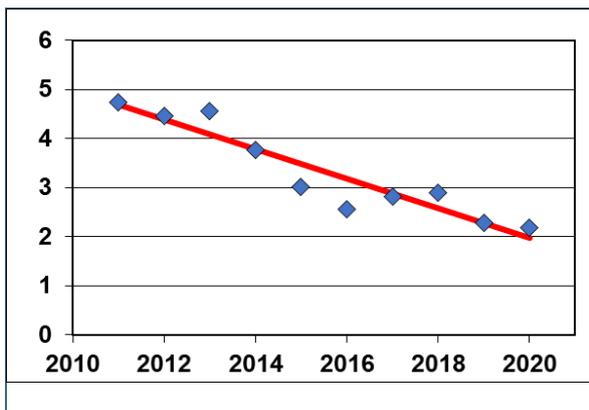


Abb. 18: Blei im PM₁₀ (in ng/m³) an der Messstation München/Landshuter Allee

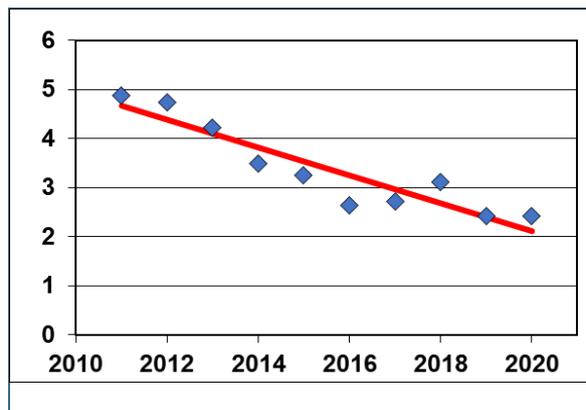


Abb. 19: Blei im PM₁₀ (in ng/m³) an der Messstation Augsburg/Königsplatz

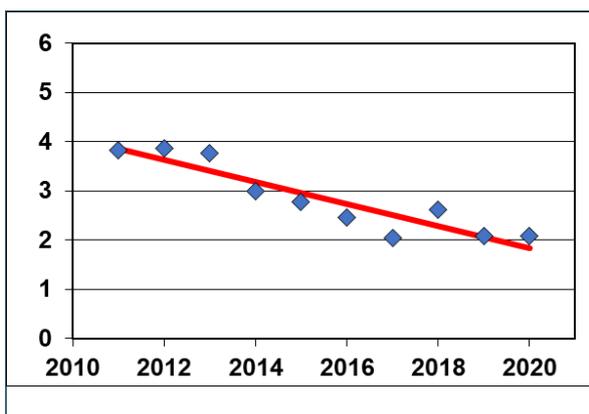


Abb. 20: Blei im PM₁₀ (in ng/m³) an der Messstation Augsburg/LfU

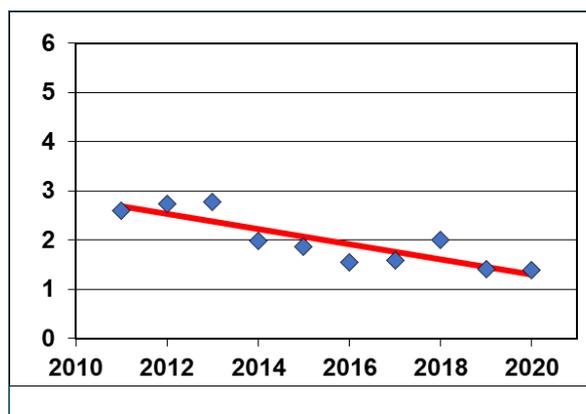


Abb. 21: Blei im PM₁₀ (in ng/m³) an der Messstation Andechs/Rothentfeld

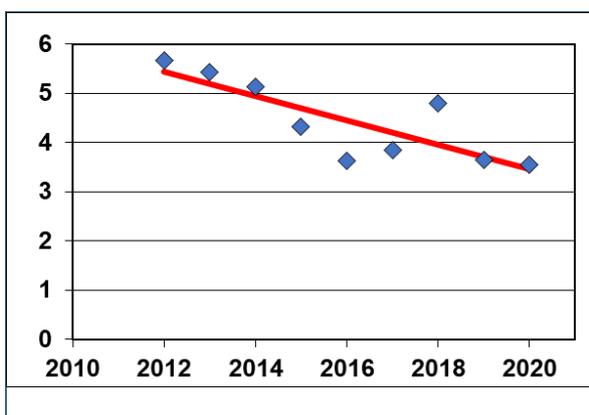


Abb. 22: Blei im PM₁₀ (in ng/m³) an der Messstation Nürnberg/Von-der-Tann-Straße

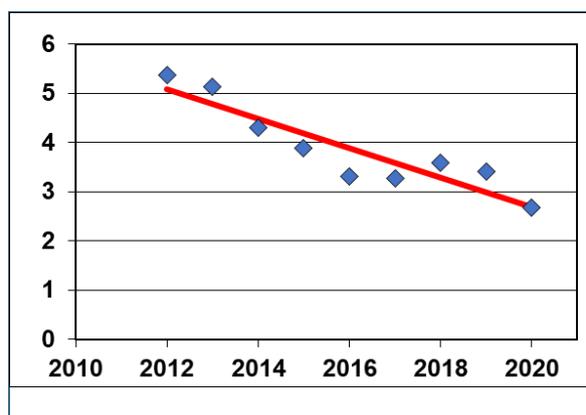


Abb. 23: Blei im PM₁₀ (in ng/m³) an der Messstation Würzburg/Stadtring Süd

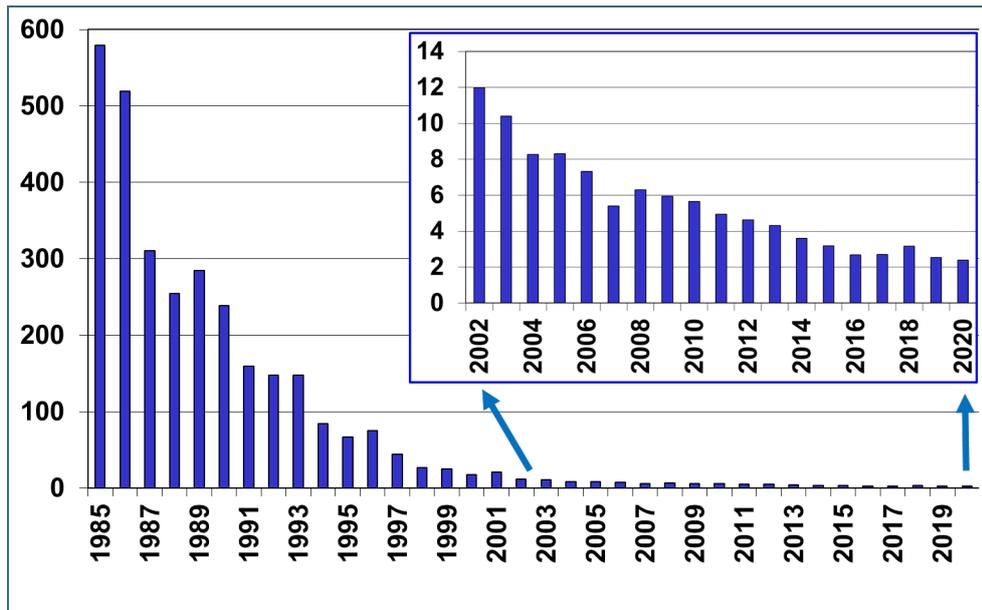


Abb. 24: Langfristige Entwicklung des Bleigehalts im Schwebstaub an LÜB-Messstationen (in ng/m³)

Auch die Konzentrationen der gesetzlich geregelten Elemente Cadmium, Arsen und Nickel weisen im PM₁₀ überwiegend stark fallende Trends auf (siehe Tab. 11 und Tab. 12), so dass an den untersuchten Messstationen auch künftig nicht mit Überschreitungen der unteren Beurteilungsschwelle zu rechnen ist.

Trotz der insgesamt rückläufigen PM₁₀-Konzentrationen sind für eine Reihe von Elementen als Bestandteil des PM₁₀ gleichbleibende oder leicht steigende Gehalte zu beobachten, wobei die steigenden Trends überwiegend statistisch nicht signifikant sind. Dieses dem generellen PM₁₀-Rückgang entgegenstehende Verhalten betrifft überwiegend Elemente, die als Bestandteil des Bremsabriebs emittiert werden (vgl. 3.2 und 3.3).

Tab. 11: Trends der Elementkonzentrationen im PM₁₀ für den Untersuchungszeitraum in % pro Jahr

Station	Adechs/Rothenfeld		Augsburg/LfU		Augsburg/Königsplatz	
	Änderung 2011–2020 [% p.a.]	Trend	Änderung 2011–2020 [% p.a.]	Trend	Änderung 2011–2020 [% p.a.]	Trend
Al	-0,7	nicht signifikant	-3,1	signifikant	-6,5	signifikant
As	-2,4	nicht signifikant	-3,7	signifikant	-4,1	nicht signifikant
Bi	-1,0	nicht signifikant	6,0	signifikant	2,7	nicht signifikant
Ca	7,3	signifikant	-5,7	signifikant	-10,4	signifikant
Cd	-4,5	signifikant	-4,9	signifikant	-5,2	signifikant
Ce	0,5	nicht signifikant	-2,6	nicht signifikant	-5,4	signifikant
Co	7,5	nicht signifikant	-2,6	signifikant	-6,4	signifikant
Cr	-0,2	nicht signifikant	1,8	nicht signifikant	1,4	nicht signifikant
Cu	1,9	nicht signifikant	0,4	nicht signifikant	-3,0	signifikant
Fe	1,5	nicht signifikant	0,4	nicht signifikant	0,7	nicht signifikant
K	3,5	signifikant	1,7	nicht signifikant	-0,3	nicht signifikant
La	-1,3	nicht signifikant	-4,4	signifikant	-7,5	signifikant
Mg	7,1	signifikant	-3,8	nicht signifikant	-9,9	signifikant
Mn	3,2	signifikant	-1,1	nicht signifikant	-1,7	nicht signifikant
Mo	-7,5	signifikant	-6,2	signifikant	-7,2	signifikant
Na	3,3	signifikant	1,4	nicht signifikant	-1,8	nicht signifikant
Ni	-2,7	nicht signifikant	-1,4	signifikant	-1,1	nicht signifikant
Pb	-7,8	signifikant	-7,9	signifikant	-8,4	signifikant
Sb	-8,6	signifikant	-7,1	signifikant	-9,8	signifikant
Sn	0,8	nicht signifikant	1,2	nicht signifikant	1,3	nicht signifikant
Ti	0,4	nicht signifikant	-1,2	nicht signifikant	-2,6	nicht signifikant
V	-3,2	signifikant	-5,2	signifikant	-6,6	signifikant
Zn	0,9	nicht signifikant	-1,5	nicht signifikant	-3,7	signifikant

Tab. 12: Trends der Elementkonzentrationen im PM10 für den Untersuchungszeitraum in % pro Jahr

Station	München/Landshuter Allee		Nürnberg/Von-der-Tann-Straße		Würzburg/Stadtring Süd	
	Änderung 2011– 2020 [% p.a.]	Trend	Änderung 2012–2020 [% p.a.]	Trend	Änderung 2012–2020 [% p.a.]	Trend
Al	-3,1	signifikant	0,7	nicht signifikant	-3,5	nicht signifikant
As	-3,1	signifikant	-1,9	nicht signifikant	-5,6	nicht signifikant
Bi	1,7	nicht signifikant	9,0	signifikant	-1,9	nicht signifikant
Ca	-4,2	signifikant	5,1	signifikant	-1,6	nicht signifikant
Cd	-5,6	signifikant	-3,0	nicht signifikant	-5,6	signifikant
Ce	-4,6	signifikant	0,2	nicht signifikant	-3,4	signifikant
Co	-0,5	nicht signifikant	2,1	nicht signifikant	-4,4	signifikant
Cr	1,2	nicht signifikant	4,4	signifikant	-2,4	signifikant
Cu	-1,9	signifikant	0,7	nicht signifikant	-4,3	signifikant
Fe	1,6	signifikant	3,1	signifikant	-3,6	signifikant
K	1,0	nicht signifikant	1,6	nicht signifikant	-3,3	signifikant
La	-4,3	signifikant	1,5	nicht signifikant	-2,0	nicht signifikant
Mg	-1,9	signifikant	3,0	signifikant	-1,5	nicht signifikant
Mn	0,2	nicht signifikant	2,4	nicht signifikant	-3,9	signifikant
Mo	-7,6	signifikant	-5,3	signifikant	-9,6	signifikant
Na	-1,2	nicht signifikant	1,8	nicht signifikant	-4,7	nicht signifikant
Ni	-1,1	nicht signifikant	1,3	nicht signifikant	-4,2	signifikant
Pb	-9,1	signifikant	-5,6	signifikant	-7,7	signifikant
Sb	-4,5	signifikant	2,3	nicht signifikant	-5,6	signifikant
Sn	1,0	nicht signifikant	1,6	nicht signifikant	-0,9	nicht signifikant
Ti	-0,1	nicht signifikant	3,2	nicht signifikant	-1,1	nicht signifikant
V	-2,7	signifikant	-2,4	nicht signifikant	-7,2	signifikant
Zn	-1,0	nicht signifikant	1,0	nicht signifikant	-2,3	nicht signifikant

Das Element Zinn weist beispielsweise an fünf der sechs untersuchten Stationen ansteigende Gehalte auf. Die entsprechenden Grafiken sind als Abb. 25 bis Abb. 30 dargestellt. Ein interessantes Detail ist der im Vergleich zur Trendlinie relativ niedrig liegende Wert für das Jahr 2020, der möglicherweise den durch den Corona-Lockdown zeitweise reduzierten Straßenverkehr abbildet und an verkehrsbezogenen Standorten deutlich zu erkennen ist. Auch die Elemente Bismut, Chrom, Kupfer, Eisen und Mangan zeigen an mindestens drei der untersuchten LÜB-Messstationen ansteigende Trends. Dies bedeutet, dass trotz der generellen Fortschritte bei der Minderung der PM₁₀-Belastungen einzelne Aspekte differenzierter zu betrachten sind.

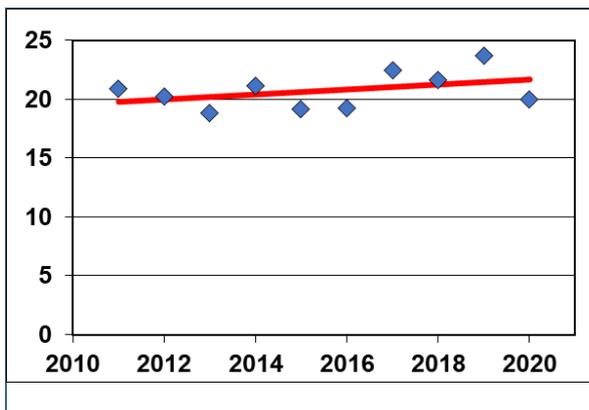


Abb. 25: Zinn im PM₁₀ (in ng/m³) an der Messstation München/Landshuter Allee

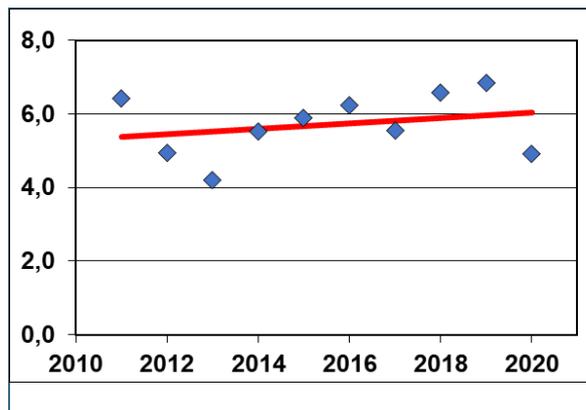


Abb. 26: Zinn im PM₁₀ (in ng/m³) an der Messstation Augsburg/Königsplatz

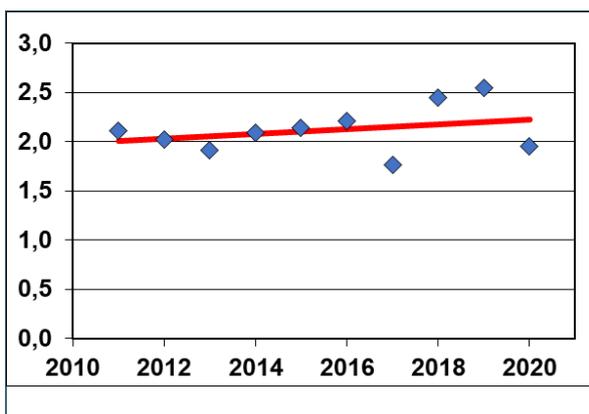


Abb. 27: Zinn im PM₁₀ (in ng/m³) an der Messstation Augsburg/LfU

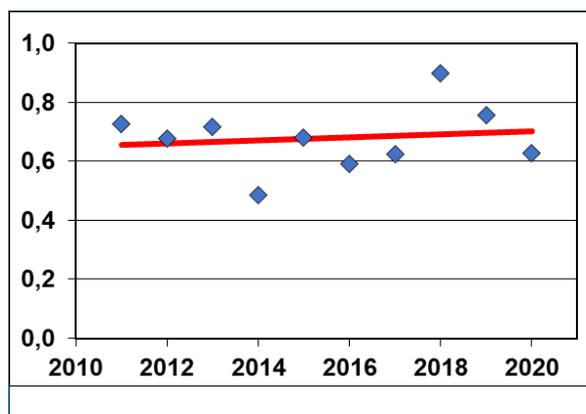


Abb. 28: Zinn im PM₁₀ (in ng/m³) an der Messstation Andechs/Rothenfeld

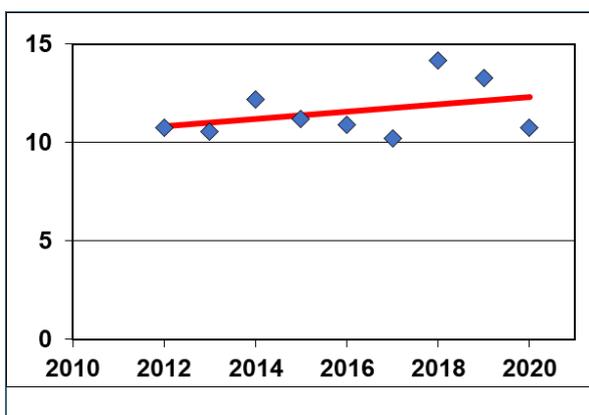


Abb. 29: Zinn im PM₁₀ (in ng/m³) an der Messstation Nürnberg/Von-der-Tann-Straße

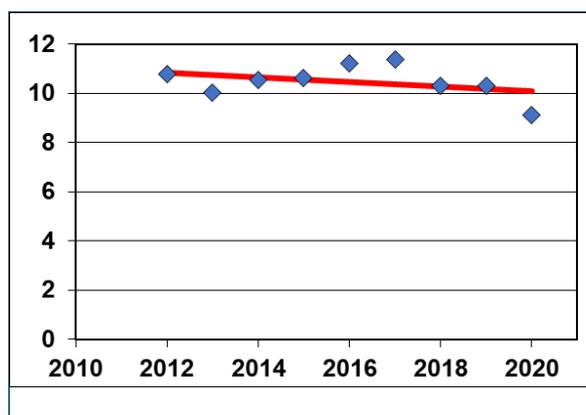


Abb. 30: Zinn im PM₁₀ (in ng/m³) an der Messstation Würzburg/Stadtring Süd

4 Literatur

- [1] Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB), Dokumentation der Luftmessstationen. <https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/dokumentation/index.htm> (Abruf am 29. April 2021)
- [2] Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB), Weitere Auswertungen: PM₁₀-Inhaltsstoffe <https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/auswertungen/weitere/index.htm> (Abruf am 29. April 2021)
- [3] Bayerisches Landesamt Für Umwelt [Hrsg.] (2017): Zeitreihen charakteristischer Elemente aus dem Bremsabrieb von Kraftfahrzeugen. – https://www.lfu.bayern.de/luft/schadstoffe_luft/schwermetalle/ergebnisse/doc/bremsabrieb_kfz.pdf (Abruf am 04. März 2021)
- [4] Grigoratos, T., & Martini, G. (2015): Brake wear particle emissions: a review. – Environmental Science and Pollution Research, 22(4), 2491-2504
- [5] Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) [Hrsg.] (2017): Bericht FE 84.0525/2016 „Relevanz von Nicht-Abgas Partikelemissionen“
- [6] Regierung von Oberbayern (2014): Luftreinhalteplan für die Stadt München, 5. Fortschreibung, (https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/Referat-fuer-Gesundheit-und-Umwelt/Luft_und_Strahlung/Luftreinhalteplan.html)
- [7] Regierung von Mittelfranken (2017): 2. Fortschreibung des Luftreinhalteplans für den Ballungsraum Nürnberg - Fürth – Erlangen für das Stadtgebiet der Stadt Nürnberg, (<https://www.nuernberg.de/internet/umweltamt/luftreinhalteplanung.html>)
- [8] Diemer, J. und Ott, H., Auswirkung des Winterdienstes auf die PM-Konzentration an Straßen, Vortrag beim 46. Messtechnischen Kolloquium (MTK), 30.05.2011
- [9] Schlachta, R., Diemer, J., Schmid, M. und Ott, H., Überschreitungen des Feinstaub PM₁₀-Grenzwertes aufgrund der Ausbringung von Streusalz auf Straßen, Immissionsschutz 3, 2013, S. 96-102
- [10] Bayerisches Landesamt für Umwelt, Einfluss von Emissionen aus der Gebäudeheizung auf Feinstaubimmissionen im Raum Augsburg, (http://www.lfu.bayern.de/energie/biogene_festbrennstoffe/doc/u47_abschlussbericht.pdf)
- [11] Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB), Langzeitverläufe der Schadstoffbelastung an den bayerischen LÜB-Messstationen, Feinstaub PM₁₀ https://www.lfu.bayern.de/luft/immissionsmessungen/auswertungen/langzeitverlaeufe/doc/pm10_laengzeit.pdf



Eine Behörde im Geschäftsbereich
Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz

