

Zeitreihen charakteristischer Elemente aus dem Bremsabrieb von Kraftfahrzeugen

(1999 – 2015)

Stand: Januar 2017



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Eintrag und Anreicherung von Antimon	3
2.1	Antimongehalt im Staubniederschlag	3
2.2	Antimoneintrag durch Staubniederschlag	3
2.3	Antimonanreicherung in standardisierten Graskulturen	4
2.4	Antimon in Bremsbelägen	4
3	Diskussion und Schlussfolgerungen	5
4	Literatur	6
Anhang		7

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Jahresmittelwert des Staubniederschlags an den DBS sowie an der Station München.	3
Abb. 2:	Antimongehalt am Gesamtstaub an den DBS sowie an der Station München.	3
Abb. 3:	Jahresmittelwerte des Antimoneintrags durch Staubniederschlag an den DBS sowie an der Station München.	4
Abb. 4:	Antimonanreicherung in Graskulturen an den DBS sowie an der Station München.	4
Abb. 5:	Mittelwerte charakteristischer Elementgehalte in willkürlich ausgewählten Bremsbelägen verschiedener Fabrikate.	5
Abb. 6:	Bariumeintrag durch Staubniederschlag an den DBS sowie an der Station München.	7
Abb. 7:	Bariumanreicherung in Graskulturen an den DBS sowie an der Station München.	7
Abb. 8:	Bismuteintrag durch Staubniederschlag an den DBS sowie an der Station München.	7
Abb. 9:	Bismutanreicherung in Graskulturen an den DBS sowie an der Station München.	7
Abb. 10:	Kupfereintrag durch Staubniederschlag an den DBS sowie an der Station München.	7
Abb. 11:	Kupferanreicherung in Graskulturen an den DBS sowie an der Station München.	7
Abb. 12:	Molybdäneintrag durch Staubniederschlag an den DBS sowie an der Station München.	8
Abb. 13:	Molybdänanreicherung in Graskulturen an den DBS sowie an der Station München.	8
Abb. 14:	Zinneintrag durch Staubniederschlag an den DBS sowie an der Station München.	8
Abb. 15:	Zinnanreicherung in Graskulturen an den DBS sowie an der Station München.	8

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Faktor für die Höhe der in München bis 2013 gemessenen Werte gegenüber den DBS für Bismut (Bi), Kupfer (Cu), Molybdän (Mo), Antimon (Sb) und Zinn (Sn); jeweils für Eintrag im Staubniederschlag (StNS), Gehalt am Gesamtstaub (StG) und Anreicherung in Graskulturen (Gras).	8
---------	---	---

1 Einleitung

Im Rahmen der immissionsökologischen Dauerbeobachtung wird die Entwicklung ausgewählter Metalleinträge und -wirkungen an derzeit sechs vorwiegend ländlich geprägten immissionsökologischen Dauerbeobachtungsstationen (DBS) des LfU beobachtet (**wirkungsbezogenes Monitoring**). Bis 2013 wurde zudem eine städtisch geprägte Station in München betrieben. 2014 musste dieser Standort jedoch wegen veränderter Umgebungsbedingungen stillgelegt werden.

Antimon, Bismut, Kupfer, Molybdän und Zinn konnten als charakteristische Elemente aus dem Bremsabrieb identifiziert werden. Parallel zu den immissionsökologischen Messungen wurden in mehreren Jahren Bremsbeläge auf ihre Zusammensetzung hin untersucht.

2 Eintrag und Anreicherung von Antimon

Bereits in den frühen 1990er-Jahren wurden an verkehrsnahen Standorten auffällige Antimonanreicherungen in standardisierten Graskulturen beobachtet (PEICHL et al. 1996). Der Abrieb aus Bremsbelägen von Kraftfahrzeugen konnte als Hauptquelle identifiziert werden. Mittlerweile ist der Einfluss des Verkehrs auf Antimoneinträge aus der Luft ausführlich beschrieben (z.B. FUJIWARA et al. 2011).

Die Einträge und Anreicherungen weiterer Elemente aus dem Bremsabrieb sind im Anhang A dargestellt.

2.1 Antimongehalt im Staubniederschlag

Der **Jahresmittelwert des Staubniederschlags** ist an der städtischen Station München (25 m Abstand zum stark befahrenen Isar-Ring; abgeschirmt durch Vegetation) generell wesentlich höher als an den ländlich geprägten DBS, nahm aber von 2000 bis 2010 nahezu kontinuierlich ab (Abb. 1). Die Staubzusammensetzung an der Station München unterscheidet sich durch Einträge aus dem Verkehr charakteristisch von der Staubzusammensetzung an den DBS. Der **Antimongehalt am Gesamtstaub** liegt an der Station München meist um das zwei- bis vierfache über den Antimongehalten an den ländlichen DBS (Abb. 2, Tab. 1: „StG“). Bis 2013 verengt sich das Verhältnis zunehmend.

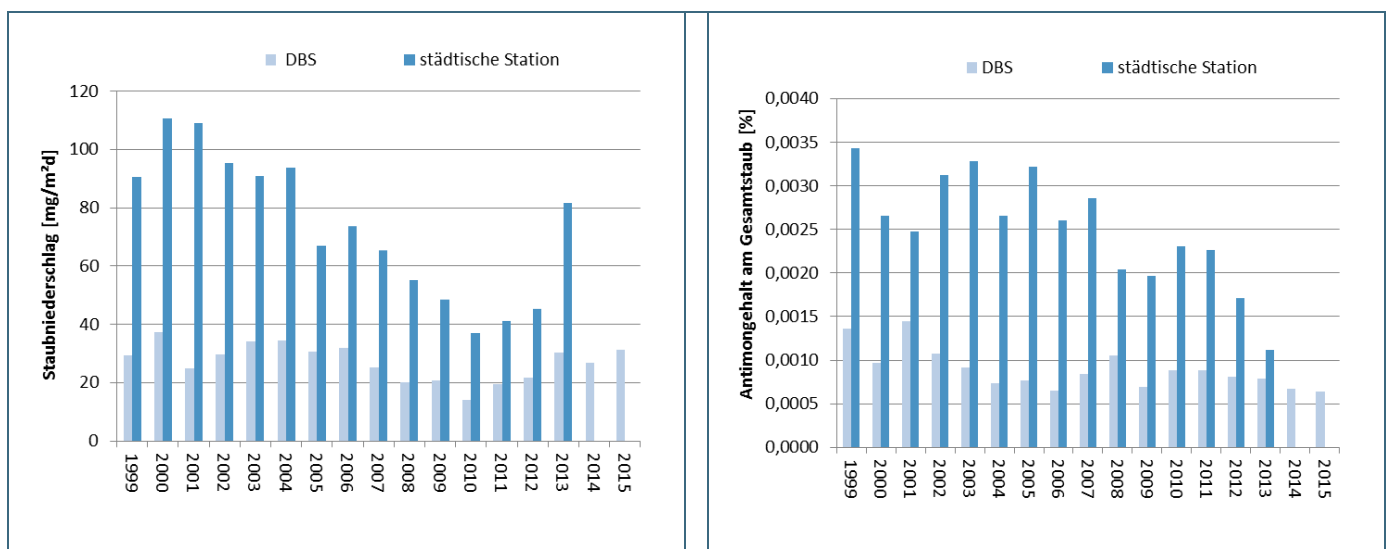


Abb. 1: Jahresmittelwert des Staubniederschlags an den DBS sowie an der Station München.

Abb. 2: Antimongehalt am Gesamtstaub an den DBS sowie an der Station München.

2.2 Antimoneintrag durch Staubniederschlag

An der Station München zeigt die Messung des **Antimoneintrags durch Staubniederschlag** gegenüber den DBS um ein Vielfaches höhere Werte (bis zu Faktor 10), da hier sowohl der Staubniederschlag als auch der Antimongehalt des Gesamtstaubs erheblich höher sind (Kapitel 2.1). Allerdings verringert sich der Abstand der Station München zu den DBS in den letzten Jahren zunehmend (Abb. 3, Tab. 1: „StNS“).

An der Station München ist für den Antimoneintrag bis 2010 ein fallender Trend (Irrtumswahrscheinlichkeit < 0,1 %) festzustellen. Seit 2010 stagnieren die Antimoneinträge. Auf viel niedrigerem Niveau ist bis 2010 auch an den DBS eine Abnahme der Antimoneinträge zu beobachten. Die Abnahmen von 1999 bis zum Jahr 2010 sind signifikant (Irrtumswahrscheinlichkeit < 0,1 %).

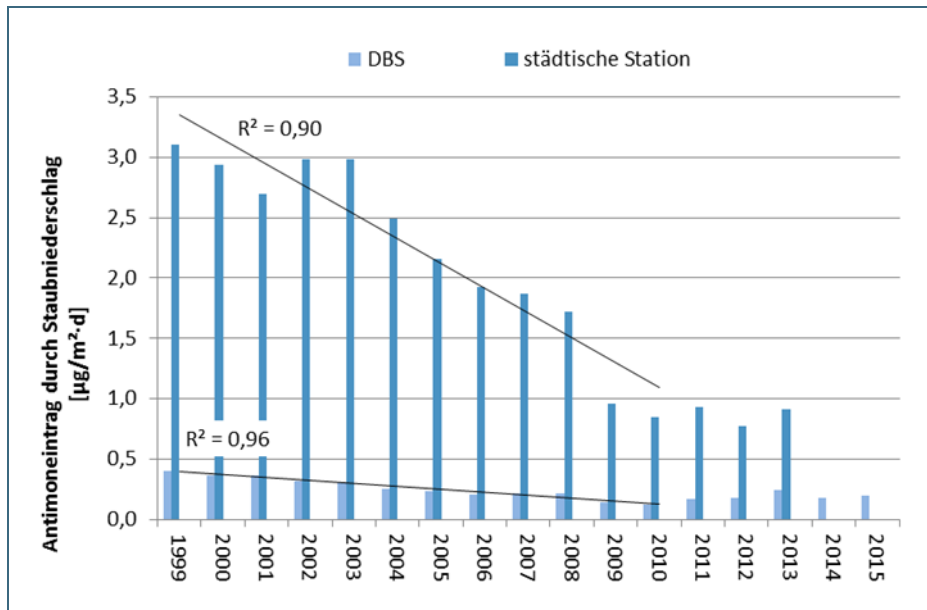


Abb. 3: Jahresmittelwerte des Antimoneintrags durch Staubniederschlag an den DBS sowie an der Station München.

2.3 Antimonanreicherung in standardisierten Graskulturen

In standardisierten Graskulturen ist in München bis 2004 eine Zunahme der Antimonanreicherung festzustellen (Irrtumswahrscheinlichkeit < 1 %). Ab 2004 zeigt sich dagegen ein abnehmender Trend (Irrtumswahrscheinlichkeit < 0,1 %). Im Gegensatz dazu liegt die Antimonanreicherung an den DBS auf sehr viel niedrigerem Hintergrundniveau (Tab. 1: Gras) und zeigt keinen Trend. In mehreren Jahren lag über die Hälfte der Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze, so dass kein Wert für die Antimonanreicherung dargestellt werden kann. In diesen Fällen ist die analytische Bestimmungsgrenze angegeben.

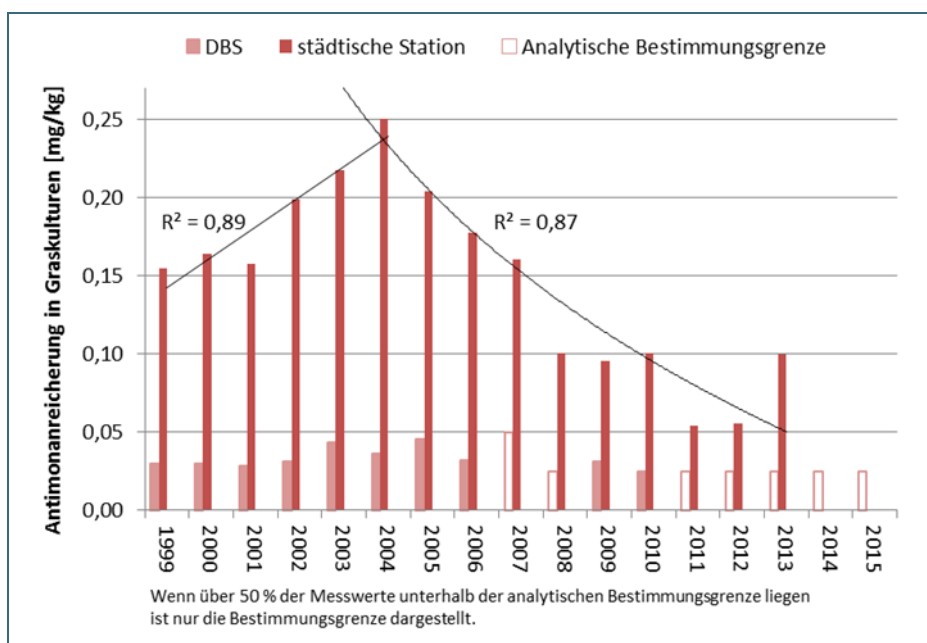


Abb. 4: Jahresmittel der Antimonanreicherung in standardisierter Graskultur an den DBS sowie an der Station München.

2.4 Antimon in Bremsbelägen

Die hohen Antimongehalte an straßennahen Standorten Anfang der 2000er Jahre waren Anlass, die Elementgehalte in Bremsbelägen zu analysieren. Dafür wurden gebrauchte Bremsbeläge verschiedener Fabrikate willkürlich

ausgewählt und untersucht. Das Belag-material enthält die Elemente Antimon, Barium, Bismut, Blei, Kupfer, Molybdän oder Zinn in hohen Konzentrationen. Der Vergleich der Elementgehalte aus verschiedenen Untersuchungsjahren im Zeitraum 2003 – 2015 zeigt, dass sich die mittlere Zusammensetzung der Bremsbeläge im Laufe der Zeit verändert. Während die Gehalte von Antimon oder Blei in den Belägen stark zurückgingen, steigen die mittleren Gehalte an Barium oder Zinn deutlich an (Abb. 5).

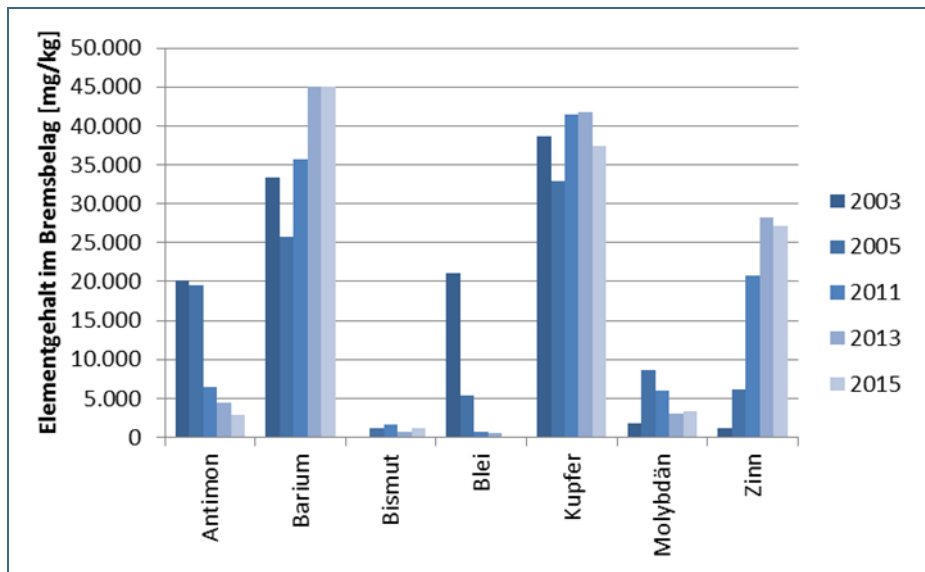


Abb. 5: Mittelwerte charakteristischer Elementgehalte in willkürlich ausgewählten Bremsbelägen verschiedener Fabrikate.

3 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der Einträge im Staubbiederschlag sind in ihrer Tendenz nur abschnittsweise deckungsgleich mit denen der Anreicherung in Graskulturen als Stellvertreter für die Vegetation. Die Unterschiede resultieren daher, dass die Staubsammlung nach Bergerhoff vornehmlich den Grobstaubanteil erfasst, die Graskultur aber auch gasförmig und als Feinstaub verfrachtete Partikel. Grobe und feine Staubfraktionen haben unterschiedliche Ausbreitungseigenschaften und Anreicherungsmechanismen gegenüber pflanzlichen Oberflächen, sodass die alleinige Untersuchung des Staubbiederschlags nicht ausreicht, die Wirkung auf Pflanzen und damit die beginnende Anreicherung in der Nahrungskette zu erkennen.

Neben Antimon (Abb. 3) fallen auch Barium, Bismut, Kupfer, Molybdän und Zinn durch erheblich höhere Einträge im Staub der Station München gegenüber den DBS auf (Anhang). Während bei Antimon, Bismut und Zinn auch die Anreicherung in Graskulturen an der Station München um ein Vielfaches über den DBS liegt, sind die Abstände bei Barium, Kupfer und Molybdän deutlich geringer.

Zudem unterscheiden sich die Zeitverläufe für die verschiedenen Elemente. Bei Antimon sind an der Station München in den letzten Jahren trotz hohen Verkehrsaufkommens Einträge und Anreicherung erheblich zurückgegangen. Eine der Hauptursachen hierfür sind sinkende Antimongehalte in Bremsbelägen. Die Funktion von Antimon im Bremsbelag wird zunehmend durch andere Elemente ersetzt. Auch bei Kupfer und Molybdän sind an der Station München sinkende Einträge zu finden, während für die Anreicherung kein so deutlicher Trend erkennbar ist. Dagegen stabilisieren sich Eintrag und Anreicherung von Bismut an der Station München auf hohem Niveau. Bei Zinn sind sogar tendenziell steigende Werte zu beobachten, die sich durch zunehmend höhere Gehalte in Bremsbelägen bestätigen lassen. Barium hingegen zeigt in Eintrag und Anreicherung indifferente Verläufe, die die zunehmenden Gehalte in Bremsbelägen nicht abbilden.

An den DBS sind für den Eintrag bis 2010 meist keine oder leicht sinkende Trends zu beobachten. Erst in den letzten Jahren werden wieder etwas höhere Einträge festgestellt. Für die Anreicherung ist nur bei Kupfer ein sinkender Trend erkennbar, der zu einer Aufweitung des Verhältnisses der Station München zu den DBS führt.

In den Jahren 2008 bzw. 2009 war an der Station München für die beobachteten Elemente sowie für den gesamten Staubbiederschlag vor allem beim Eintrag ein überproportionales Absinken des Wertenniveaus festzustellen. Zu den Hauptgründen zählen vermutlich die Anfang 2008 eingeführte Sperrung des Stadtgebiets für den Lkw-

Transitverkehr, sowie die Einrichtung einer Umweltzone Ende 2008. Weiterhin kommen spezifische Witterungsverhältnisse mit Auswirkungen auf die Eintragsbedingungen, oder auch Folgen der Wirtschaftskrise mit Schwerpunkt in den Jahren 2008 und 2009 in Betracht.

An der Station München wurden im letzten Untersuchungsjahr 2013 erstmals nach rund fünf Jahren wieder höhere Staubeinträge verzeichnet. Allerdings deuten die niedrigen Gehalte der untersuchten Elemente im Staub der Station München an, dass der eingetragene Staub vornehmlich aus anderen Quellen als dem Verkehr stammt (z.B. Baumaßnahmen).

4 Literatur

Fujiwara, F., Rebagliati, R. J., Marrero, J., Gomez, D., Smichowski, P. (2011): Antimony as a traffic-related element in size-fractionated road dust samples collected in Buenos Aires. *Microchemical Journal* 97, 62-67.

Peichl, L., Dietl, C. & Wäber, M. (1996): Aktives Biomonitoring von Immissionswirkungen im Untersuchungsgebiet München – Kfz-Verkehr als Antimonquelle?. *UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox.* 6 63-69.

Anhang

A. Zeitreihen für Einträge durch Staubbiederschlag und Anreicherung in Graskulturen

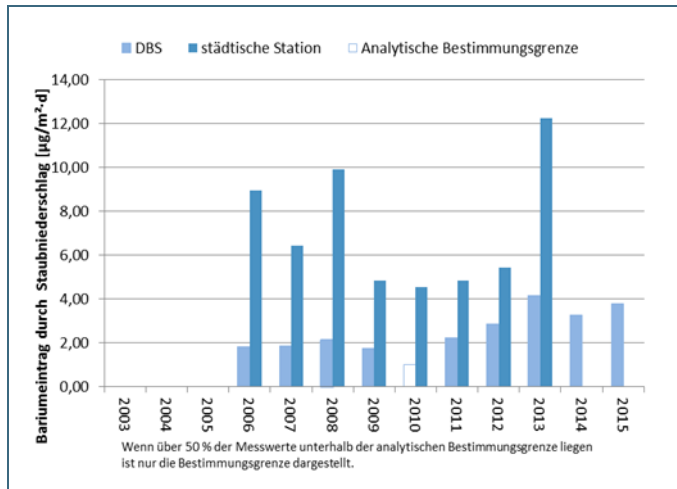


Abb. 6: Bariumeintrag durch Staubbiederschlag an den DBS sowie an der Station München.

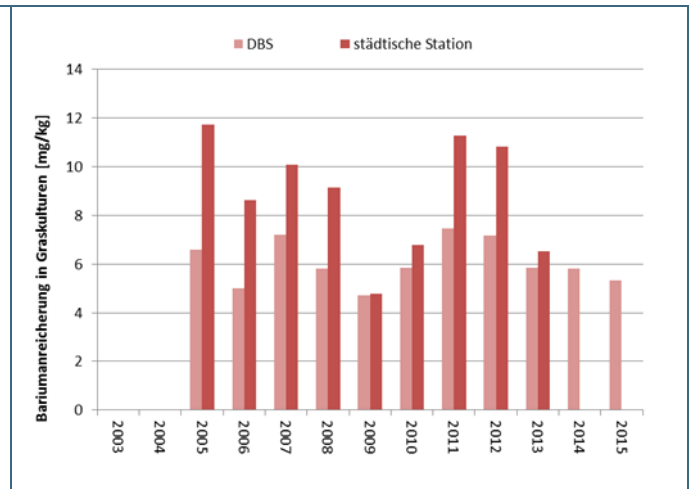


Abb. 7: Bariumanreicherung in Graskulturen an den DBS sowie an der Station München.

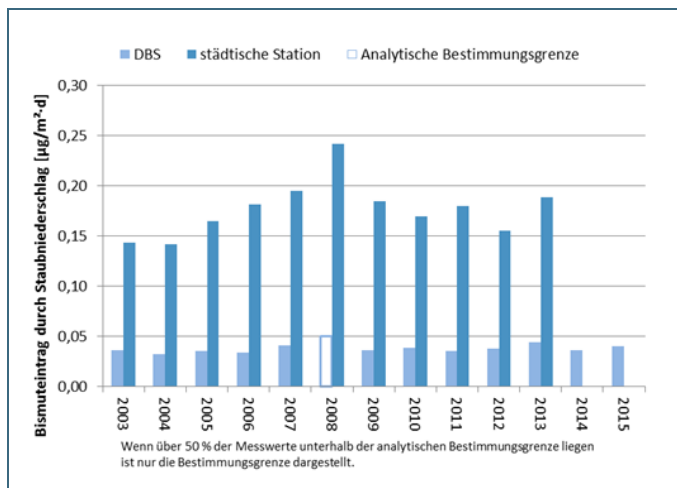


Abb. 8: Bismuteintrag durch Staubbiederschlag an den DBS sowie an der Station München.

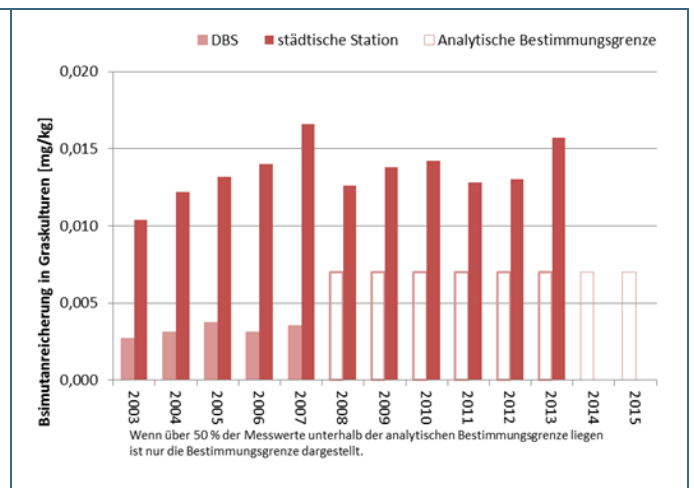


Abb. 9: Bismutanreicherung in Graskulturen an den DBS sowie an der Station München.

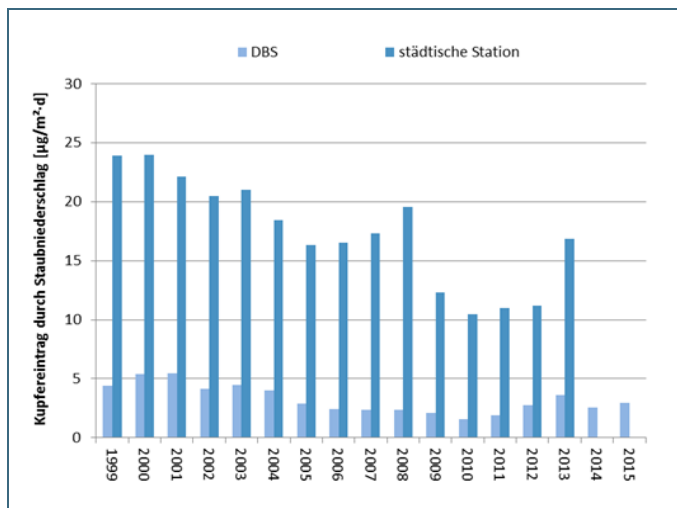


Abb. 10: Kupfereintrag durch Staubbiederschlag an den DBS sowie an der Station München.

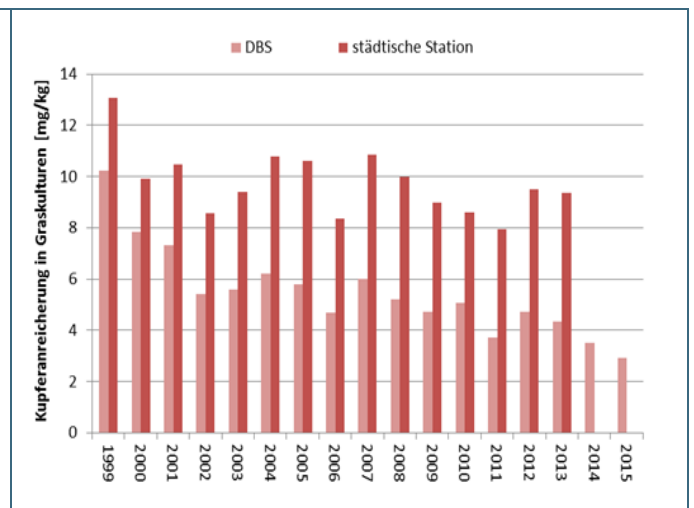


Abb. 11: Kupferanreicherung in Graskulturen an den DBS sowie an der Station München.

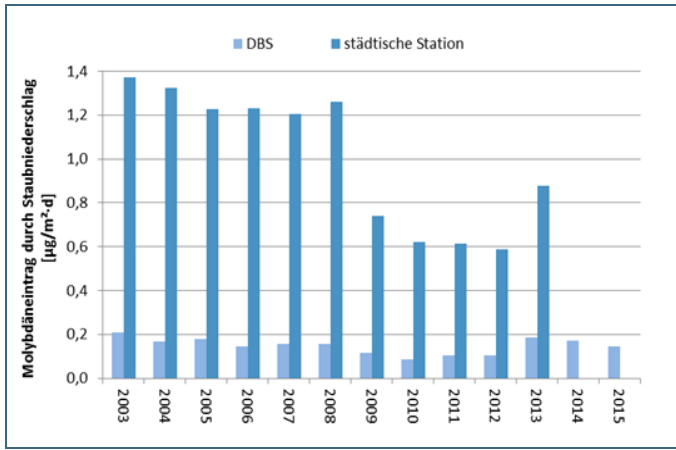


Abb. 12: Molybdän eintrag durch Staubbiederschlag an den DBS sowie an der Station München.

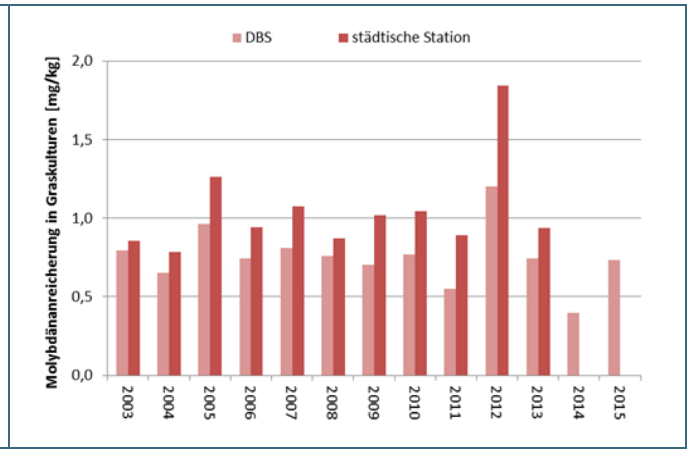


Abb. 13: Molybdän anreicherung in Graskulturen an den DBS sowie an der Station München.

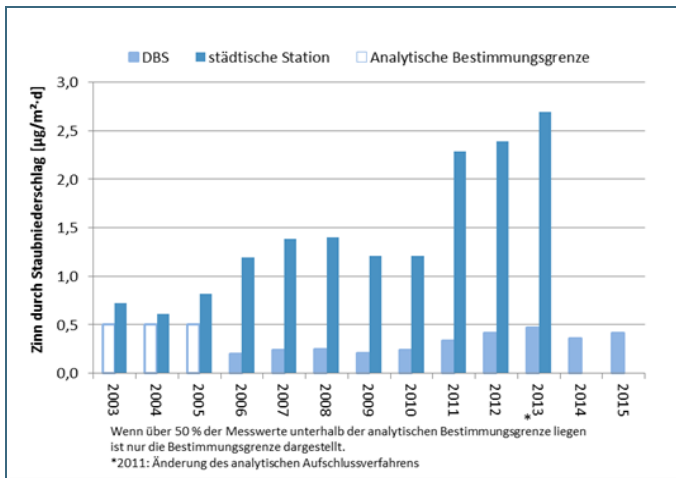


Abb. 14: Zinneintrag durch Staubbiederschlag an den DBS sowie an der Station München.

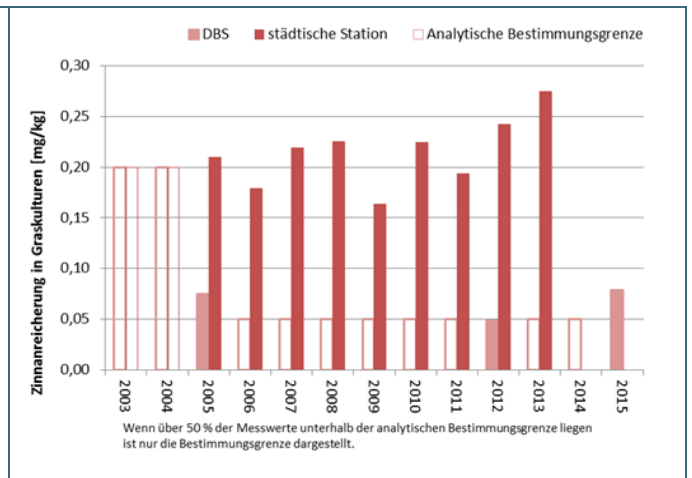


Abb. 15: Zinnanreicherung in Graskulturen an den DBS sowie an der Station München.

B. Verhältnisse der verkehrsbeeinflussten Station München zu den DBS

Tab. 1: Faktor für die Höhe der in München bis 2013 gemessenen Werte gegenüber den DBS für Bismut (Bi), Kupfer (Cu), Molybdän (Mo), Antimon (Sb) und Zinn (Sn); jeweils für Eintrag durch Staubbiederschlag (StNS), Gehalt am Gesamtstaub (StG) und Anreicherung in Graskulturen (Gras).

	Bi			Cu			Mo			Sb			Sn		
	StNS	StG	Gras	StNS	StG	Gras	StNS	StG	Gras	StNS	StG	Gras	StNS	StG	Gras
1999				5,4	1,8	1,3				7,8	2,5	5,2			
2000				4,5	3,1	1,3				8,1	2,7	5,5			
2001				4,0	1,7	1,4				7,5	1,7	5,6			
2002				5,0	1,5	1,6				9,4	2,9	6,4			
2003	3,9	1,5	3,8	4,7	0,9	1,7	6,6	2,5	1,1	9,6	3,6	5,0			
2004	4,4	1,6	3,9	4,6	1,5	1,7	7,8	2,9	1,2	9,9	3,6	6,8			
2005	4,6	2,1	3,5	5,7	1,8	1,8	6,9	3,1	1,3	9,2	4,2	4,4			2,8
2006	5,4	2,3	4,5	6,9	1,7	1,8	8,5	3,7	1,3	9,3	4,0	5,5	6,0	2,6	
2007	4,8	1,9	4,7	7,3	2,6	1,8	7,7	3,0	1,3	8,8	3,4		5,7	2,2	
2008				8,3	3,0	1,9	8,1	1,9	1,2	8,1	1,9		5,7	1,4	
2009	5,1	2,2		5,9	2,8	1,9	6,4	2,7	1,4	6,6	2,8	3,0	5,7	2,5	
2010	4,4	1,7		6,6	2,0	1,7	7,3	2,8	1,4	6,9	2,6	4,0	5,0	1,9	
2011	5,1	2,4		5,7	2,5	2,1	5,9	2,8	1,6	5,4	2,6		6,8	3,2	
2012	4,1	2,0		4,0	2,5	2,0	5,6	2,7	1,5	4,4	2,1		5,8	2,8	5,0
2013	4,3	1,2		4,6	2,7	2,2	4,7	1,3	1,3	3,8	1,4		5,7	1,6	