



Untersuchung erhöhter Partikel PM_{10} -Immissionen im Stadtzentrum von Stuttgart

 Ergebnisse 2014



Untersuchung erhöhter Partikel PM_{10} -Immissionen im Stadtzentrum von Stuttgart

 Ergebnisse 2014

HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 100163, 76231 Karlsruhe, www.lubw.baden-wuerttemberg.de
BEARBEITUNG	Referat 33 – Luftqualität Dr. Sebastian Scheinhardt
DOKUMENTATION-NUMMER	33-08/2015
STAND	Mai 2015
BERICHTSUMFANG	18 Seiten

Nachdruck - auch auszugsweise - ist nur mit Zustimmung der LUBW unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

ZUSAMMENFASSUNG	4
1 EINFÜHRUNG	5
1.1 Anlass	5
1.2 Vorüberlegungen	6
2 ERGEBNISSE	8
2.1 Konzentrationen und Anteile von Substanzen mit Baustellenbezug	8
2.1.1 Calcium	8
2.1.2 Magnesium	9
2.1.3 Aluminium	10
2.2 Baustelleninduzierte Partikelimmissionen	11
2.2.1 Jahresmittelwert	11
2.2.2 Jahresgang	13
2.3 Bereinigung um den Baustelleneinfluss	14
3 ANHANG	15
3.1 Messstellenbeschreibung	15
3.2 Methodenbeschreibung	17
3.3 Literatur	17
3.4 Glossar	18

Zusammenfassung

Im Rahmen der kontinuierlichen Auswertung der Partikelkonzentrationen wurde festgestellt, dass die Partikel PM_{10} -Konzentrationen an den meisten verkehrsnahen Messstationen in Baden-Württemberg im 1. Quartal 2014 im Vergleich zum 1. Quartal 2013 zurückgegangen sind, während die Partikel PM_{10} -Konzentrationen insbesondere an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor, aber auch an der Verkehrsmessstation Stuttgart Arnulf-Klett-Platz diesem Trend nicht folgten. Die Partikel $PM_{2,5}$ -Konzentrationen zeigten hingegen an allen verkehrsnahen Messstationen einen abnehmenden Trend.

Es wurde vermutet, dass die erhöhten Partikel PM_{10} -Konzentrationen auf die im Umfeld der beiden Stuttgarter Stationen stattfindenden Bautätigkeiten zurückzuführen sind. Bei Bautätigkeiten werden vor allem mechanisch erzeugte Partikel (Mineralstäube) freigesetzt. Diese Partikel sind überwiegend der gröberen Partikelfraktion PM_{10} zuzuordnen, so dass baustelleninduzierte Staubemissionen Grund für die oben beschriebenen Auffälligkeiten sein konnten. Aus diesem Grund wurden die Analysen der Staubinhaltsstoffe an den Messstellen Stuttgart Am Neckartor, Stuttgart Arnulf-Klett-Platz und an der zum Vergleich herangezogenen Messstelle Stuttgart-Bad Cannstatt erweitert.

Die Partikelinhaltsstoffanalysen zeigen, dass die Partikelfraktion PM_{10} an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor im 1. Quartal 2014 deutlich mehr Calcium, Magnesium und Aluminium enthielt als im Vergleichszeitraum 2008. Diese Elemente sind Inhaltsstoffe von Mineralstäuben, wie sie typischerweise bei Baustellen zu finden sind. Nach Auffassung der LUBW waren deshalb vor allem baustelleninduzierte Staubemissionen für die im 1. Quartal 2014 überdurchschnittlich hohen PM_{10} -Immissionen an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor verantwortlich.

Eine auf Basis der Inhaltsstoffanalysen durchgeführte Abschätzung ergab, dass an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor im Mittel des Jahres 2014 ungefähr $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ der Partikel PM_{10} -Immissionen durch Bautätigkeiten im Umfeld der Messstelle verursacht wurden, dies entspricht etwa 5% des Partikel PM_{10} -Jahresmittelwertes. Der baustelleninduzierte Zusatzbeitrag zu den Partikel PM_{10} -Immissionen war im 1. Quartal 2014 mit $4,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ am höchsten und nahm im Laufe der folgenden Quartale kontinuierlich auf $1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ab. An der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor sind 14 der 64 im Jahr 2014 gemessenen Überschreitungen des Partikel PM_{10} -Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf die baustelleninduzierten Emissionen zurückzuführen. Die baustelleninduzierten Grenzwertüberschreitungen traten überwiegend im Februar/März auf. Pro Kalenderjahr sind 35 Überschreitungen zulässig.

Die erweiterte Analyse der Staubinhaltsstoffe zeigt, dass von Baustellen relevante Beiträge zur Partikel PM_{10} -Konzentration ausgehen können. Der mineralische Baustaub kann dabei sowohl an den Orten der Bautätigkeit als auch im Bereich der Transportwege emittiert bzw. aufgewirbelt werden. Hier sind insbesondere mit Baustaub verschmutzte Transportwege als Ursache in Betracht zu ziehen.

1 Einführung

1.1 Anlass

Die LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg betreibt das Luftmessnetz Baden-Württemberg und führt Spotmessungen auf Grundlage der 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchst-mengen) [39. BImSchV] durch. Es werden u.a. Tagesmittelwerte der Partikel PM_{10} -Konzentrationen und an ausgewählten Messstationen des Luftmessnetzes sowie der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor zusätzlich Tagesmittelwerte der Partikel $PM_{2,5}$ -Konzentrationen gemessen.

Im Rahmen der kontinuierlichen Auswertung der Partikelkonzentrationen wurde festgestellt, dass die Partikel PM_{10} -Konzentrationen an den meisten verkehrsnahen Messstationen im 1. Quartal 2014 im Vergleich zum 1. Quartal 2013 zurückgegangen sind, während die Partikel PM_{10} -Konzentrationen insbesondere an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor, aber auch an der Verkehrsmessstation Stuttgart Arnulf-Klett-Platz diesem Trend nicht folgten. Die Partikel $PM_{2,5}$ -Konzentrationen zeigten hingegen an allen Spotmessstellen und Verkehrsmessstationen, auch an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor, einen abnehmenden Trend. Hierdurch nahmen die Verhältnisse Partikel $PM_{2,5}$ zu Partikel PM_{10} an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor im 1. Quartal 2014 im Vergleich zum 1. Quartal 2013 stärker ab als an den anderen Spotmessstellen und Verkehrsmessstationen (vgl. Abbildung 1): Während das mittlere Verhältnis an den außerhalb Stuttgarts gelegenen Verkehrsmessstationen und Spotmessstellen im 1. Quartal 2014 um 60% lag, wurde an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor seit etwa November 2013 bis März 2014 ein deutlich niedrigeres Verhältnis von etwa 40% ermittelt. An der nahegelegenen Verkehrsmessstation Stuttgart Arnulf-Klett-Platz wurde ein analoger Effekt beobachtet.

Partikel der gröberen Partikelfraktion werden im Wesentlichen durch mechanische Prozesse erzeugt. Die LUBW hat daher geprüft, ob die an den beiden zentrumsnahen Stuttgarter Stationen gemachten Beobachtungen mit den dort im betreffenden Zeitraum stattfindenden Bautätigkeiten zusammenhängen.

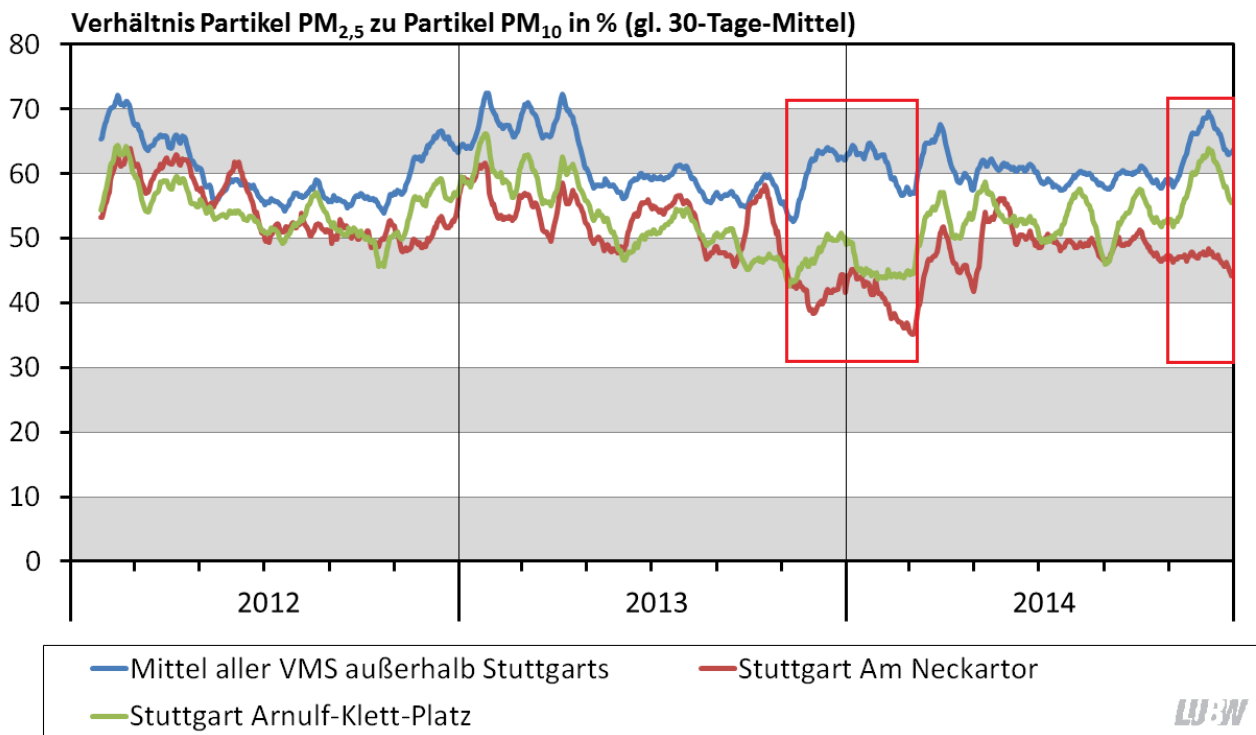


Abbildung 1: Verhältnis Partikel PM_{2,5} zu Partikel PM₁₀ in Prozent (gleitender 30-Tage-Mittelwert) an den ausgewählten Messstationen und der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor

1.2 Vorüberlegungen

Um die im vorigen Unterkapitel aufgestellte Hypothese zu verifizieren, wurde untersucht, ob sich die Anteile bestimmter Inhaltsstoffe von Partikeln PM₁₀ aus dem Stuttgarter Stadtgebiet im Vergleich zu den vorigen Jahren verändert haben, um daraus Hinweise auf Baustellentätigkeiten abzuleiten. Für Partikel, die im Rahmen von Bautätigkeiten emittiert werden, sind insbesondere folgende Inhaltsstoffe zu erwarten:

- Gips (= Calciumsulfat)
- Zement, Beton, Mörtel¹ (= Calciumoxid bzw. -carbonat², Siliciumdioxid [Quarz], Aluminiumoxid)
- aufgewirbelter Bodenstaub (= Siliciumdioxid [Quarz], Silikate, Alumosilikate).

Demzufolge ist davon auszugehen, dass die bei Bautätigkeiten emittierten Partikel bezüglich der Inhaltsstoffe Calcium (Ca), Silicium (Si) und Aluminium (Al) angereichert sind. Des Weiteren sind auch erhöhte Gehalte von Magnesium zu erwarten, da sich dieses Element chemisch ähnlich wie Calcium verhält und eine vergleichbare Häufigkeit in der Erdkruste hat.

Im Rahmen von Routinemessungen und verschiedenen Projekten wurden an den Stuttgarter Messstationen in den letzten Jahren umfangreiche Inhaltsstoffanalysen durchgeführt (vgl. Tabelle 1). Hierbei wurden insbesondere auch die Konzentrationen der hier interessierenden Elemente Calcium, Magnesium und Aluminium bestimmt, während die Konzentrationen des in diesem Zusammenhang ebenfalls relevanten Elements Silicium durch die routinemäßig eingesetzten Messverfahren nicht bestimmt werden können.

¹ Beton und Mörtel bestehen aus dem Bindemittel Zement sowie den Zuschlägen Sand bzw. Kies

² Rohzement besteht hauptsächlich aus Calciumoxid, dieses reagiert beim Abbinden (d.h. beim Härten bzw. Trocknen) zu Calciumcarbonat

Im Jahr 2014 standen für die drei Stuttgarter Stationen zunächst an jedem sechsten Tag Element-Tagesmittelwerte aus Partikel PM₁₀-Proben zur Verfügung. Im Laufe des Jahres wurde die Messhäufigkeit erhöht, um die oben genannten Auffälligkeiten im Verhältnis Partikel PM_{2,5} zu Partikel PM₁₀ untersuchen zu können. Ab dem 18. April wurden deshalb tägliche Partikel PM₁₀-Inhaltsstoffanalysen durchgeführt, ab dem 1. Juli zusätzlich zweitägliche Partikel PM_{2,5}-Inhaltsstoffanalysen. Insgesamt steht somit eine umfangreiche Datenbasis zur Verfügung, um den postulierten Einfluss von Bautätigkeiten auf die Partikel PM₁₀-Immissionen zu untersuchen.

Im Folgenden werden aus den gemessenen Elementkonzentrationen Monats-, Quartals- und Jahresmittelwerte berechnet. Um mögliche Verfälschungen der Ergebnisse durch eine unterschiedliche Datenlage zu vermeiden, wurde der Datensatz so angepasst, dass nur Tage untersucht wurden, an denen Inhaltsstoffanalysen von allen drei Stuttgarter Stationen vorliegen³. Durch dieses Vorgehen ergeben sich bezüglich der Jahreskenngrößen z.T. kleine Unterschiede zu früheren Auswertungen. Im April 2014 kam es in Baden-Württemberg an drei Tagen zu einem großräumigen Eintrag von Mineralstaub aus der Sahara [LUBW, 2015]. Hiervon waren auch die drei Stuttgarter Messstationen betroffen. Die chemische Zusammensetzung dieser natürlichen Mineralstäube stimmt weitgehend mit der Zusammensetzung von baustellenbedingten Mineralstäuben überein. Um eine Verfälschung der Messergebnisse durch den Eintrag von Saharastaub zu vermeiden, wurden die betreffenden drei Tage in der vorliegenden Auswertung ebenfalls nicht berücksichtigt.

Tabelle 1: Übersicht über verfügbare Daten zu Inhaltsstoffen der Partikelfraktion PM₁₀ an den Stuttgarter Stationen

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Luftmessstation Stuttgart-Bad Cannstatt							
Elemente (gesamt)	Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, Zn	wie 2008	wie 2008, zusätzlich Cu	-	wie 2010, zusätzlich As, Cd, Ni, Pb, Sb	-	wie 2012, zusätzlich V, Cr, Co, Sn, Ba
Kationen (wasserlöslich)	-	-	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺	-	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺	-	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺
Anionen (wasserlöslich)	Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻	Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻	Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻	-	Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻	-	Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻
Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor							
Elemente (gesamt)	Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, Zn	-	-	-	-	-	wie Bad Cannstatt
Kationen (wasserlöslich)	-	-	-	-	-	-	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺
Anionen (wasserlöslich)	Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻	-	-	-	-	-	Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻
Verkehrsmessstation Stuttgart Arnulf-Klett-Platz							
Elemente (gesamt)	-	-	-	-	-	-	wie Bad Cannstatt
Kationen (wasserlöslich)	-	-	-	-	-	-	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺
Anionen (wasserlöslich)	-	-	-	-	-	-	Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻

LUBW

³ Dies ist insbesondere für den Zeitraum Januar bis April 2014 relevant, da hier nur wenige Inhaltsstoffanalysen vorliegen, so dass auch kleinste Unterschiede in den Zeitreihen große, verzerrende Effekte haben können.

2 Ergebnisse

Im Folgenden werden zunächst die Konzentrationen und Anteile der Elemente Calcium, Magnesium und Aluminium in der Partikelfraktion PM_{10} diskutiert. Im Anschluss daran werden die baustelleninduzierten Partikelimmissionen auf Basis der Inhaltsstoffanalysen abgeschätzt und eine Bereinigung um diesen Baustelleneinfluss durchgeführt.

2.1 Konzentrationen und Anteile von Substanzen mit Baustellenbezug

2.1.1 CALCIUM

Calcium trug an der städtischen Hintergrundmessstation Stuttgart-Bad Cannstatt im Mittel der Jahre 2008 bis 2014 etwa $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, d.h. 1,8%, zur Partikelfraktion PM_{10} bei (vgl. Abbildung 2). Die Calciumkonzentration zeigte in diesem Zeitraum nur geringe Schwankungen. Der relative Anteil schwankte zwischen 1,4% im Jahr 2012 und 2,4% im Jahr 2010. Bei beiden Kenngrößen ist an der Messstation Stuttgart-Bad Cannstatt kein jahresübergreifender Trend erkennbar. Im Rahmen der jährlichen Schwankungen lag der relative Anteil von Calcium an PM_{10} im Jahr 2014 rund 16% höher als im Jahr 2008, die Calciumkonzentration lag in beiden Jahren bei $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. An der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor war die Calciumkonzentration im Jahr 2014 hingegen 30% höher als 2008, der relative Anteil von Calcium war sogar um 50% erhöht (vgl. Abbildung 2). Es ist davon auszugehen, dass dieser Anstieg nicht ausschließlich auf natürliche Ursachen, sondern auch auf die lokalen Bautätigkeiten zurückzuführen ist. Auch die Verkehrsmessstation Stuttgart Arnulf-Klett-Platz zeigte im Jahr 2014 hohe Calciumkonzentrationen.

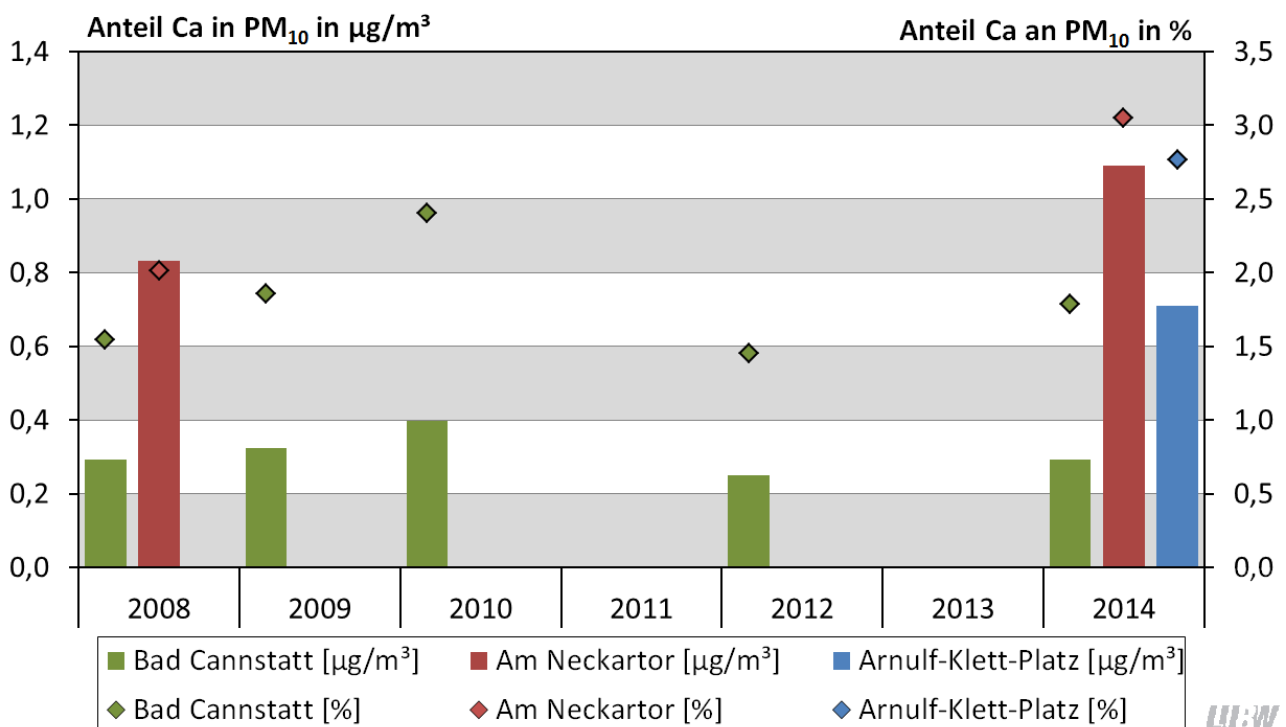


Abbildung 2: Mittlerer Anteil von Calcium in der Partikelfraktion PM_{10} (Jahresmittelwerte) in den Jahren 2008 bis 2014 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Säulen, linke Skala) und in Prozent (Punkte, rechte Skala)

2.1.2 MAGNESIUM

Magnesium trug an der städtischen Hintergrundmessstation Stuttgart-Bad Cannstatt im Mittel der Jahre 2008 bis 2014 etwa $0,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$, d.h. 0,4%, zur Partikelfraktion PM_{10} bei (vgl. Abbildung 3). Die Magnesiumkonzentration und der relative Anteil von Magnesium an PM_{10} zeigten in diesem Zeitraum nur geringfügige Schwankungen und keinen jahresübergreifenden Trend. Im Rahmen der jährlichen Schwankungen war die Magnesiumkonzentration an der Messstation Stuttgart-Bad Cannstatt im Jahr 2014 etwa 14% niedriger als 2008, während der relative Anteil von Magnesium an PM_{10} im Jahr 2014 auf dem gleichen Niveau wie 2008 lag. An der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor war die Magnesiumkonzentration im Jahr 2014 hingegen 40% höher als 2008, der relative Anteil von Magnesium war sogar um 60% erhöht (vgl. Abbildung 3). Wie im Fall von Calcium ist davon auszugehen, dass dieser Anstieg nicht ausschließlich auf natürliche Ursachen, sondern auch auf die lokalen Bautätigkeiten zurückzuführen ist. Auch die Verkehrsmessstation Stuttgart Arnulf-Klett-Platz zeigte im Jahr 2014 einen hohen Magnesiumanteil.

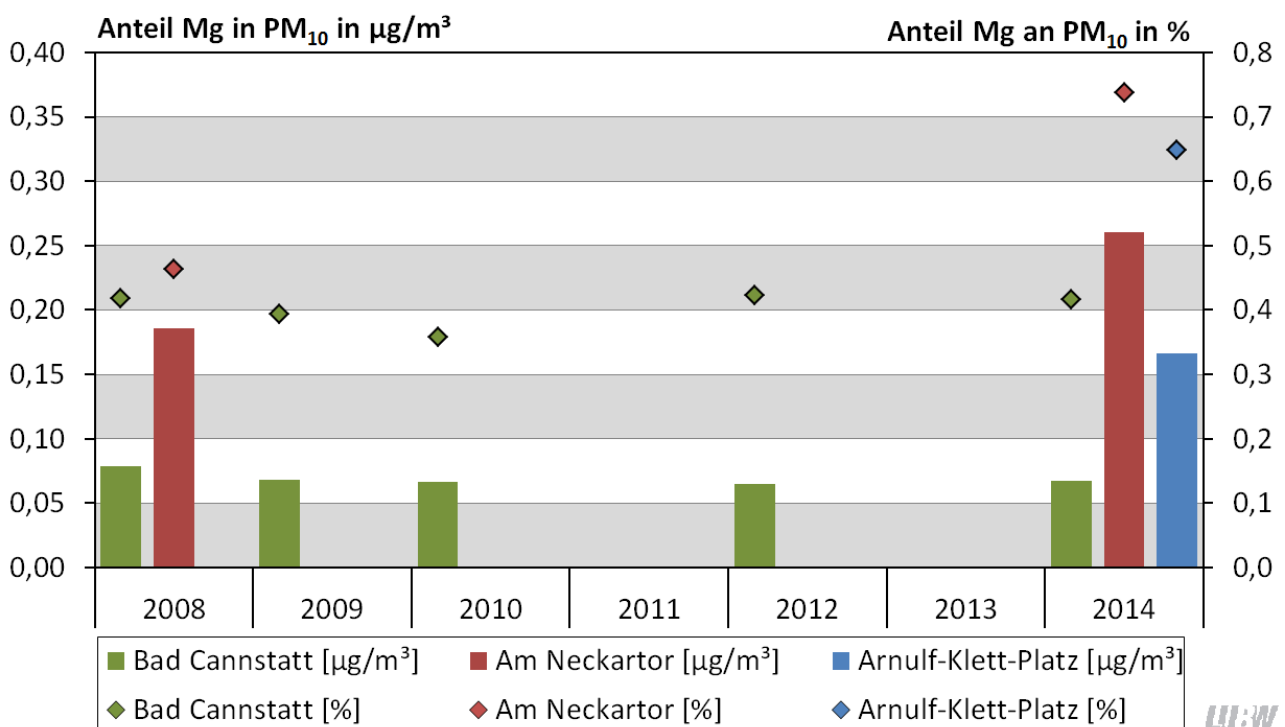


Abbildung 3: Mittlerer Anteil von Magnesium in der Partikelfraktion PM_{10} (Jahresmittelwerte) in den Jahren 2008 bis 2014 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Säulen, linke Skala) und in Prozent (Punkte, rechte Skala)

2.1.3 ALUMINIUM

Aluminium trug an der städtischen Hintergrundmessstation Stuttgart-Bad Cannstatt im Mittel der Jahre 2008 bis 2014 etwa $0,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, d.h. 0,8%, zur Partikelfraktion PM_{10} bei (vgl. Abbildung 4). Die Aluminiumkonzentration und der relative Anteil von Aluminium an PM_{10} zeigten in diesem Zeitraum nur geringfügige Schwankungen und keinen jahresübergreifenden Trend. Im Rahmen der jährlichen Schwankungen war die Aluminiumkonzentration an der Messstation Stuttgart-Bad Cannstatt im Jahr 2014 etwa 11% niedriger als 2008, während der relative Anteil von Aluminium an PM_{10} im Jahr 2014 rund 7% höher als im Jahr 2008 lag. An der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor war die Aluminiumkonzentration im Jahr 2014 hingegen 20% höher als 2008, der relative Anteil von Aluminium war sogar um 40% erhöht (vgl. Abbildung 4). Wie im Fall von Calcium und Magnesium ist auch hier davon auszugehen, dass dieser Anstieg nicht ausschließlich auf natürliche Ursachen, sondern auch auf die lokalen Bautätigkeiten zurückzuführen ist. Auch die Verkehrsmessstation Stuttgart Arnulf-Klett-Platz zeigte im Jahr 2014 einen hohen Aluminiumanteil.

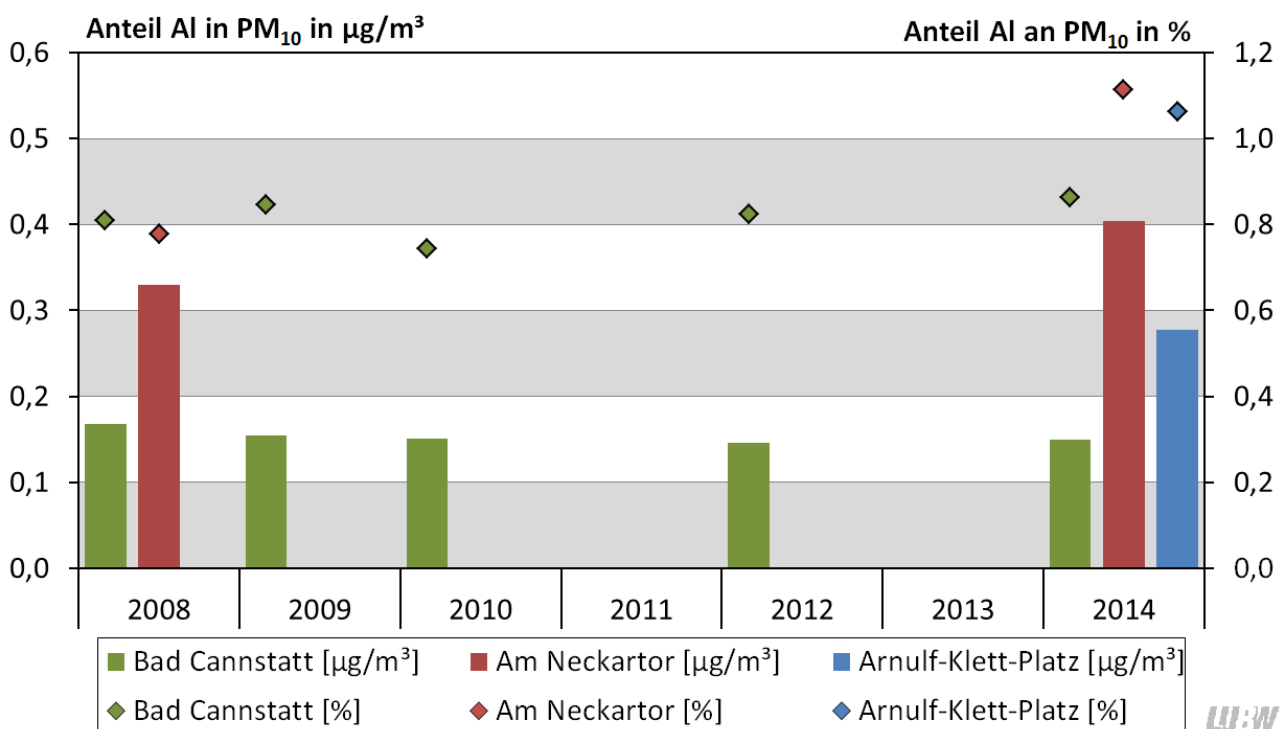


Abbildung 4: Mittlerer Anteil von Aluminium in der Partikelfraktion PM_{10} (Jahresmittelwerte) in den Jahren 2008 bis 2014 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Säulen, linke Skala) und in Prozent (Punkte, rechte Skala)

2.2 Baustelleninduzierte Partikelimmissionen

2.2.1 JAHRESMITTELWERT

Die Tabelle 2 zeigt die gemessenen Konzentrationen von Ca, Mg, Al und Si an den drei betrachteten Messstationen. Die Calciumkonzentration an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor war 2008 um den Faktor 2,8 höher als an der Messstation Stuttgart-Bad Cannstatt (Unterschiede sind rundungsbedingt). Unter der Voraussetzung, dass

- dieser Faktor die prinzipiellen Unterschiede zwischen der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor und der Messstation Stuttgart-Bad Cannstatt widerspiegelt und dass
- dieser Faktor gültig ist, wenn es keine Bautätigkeiten im Stuttgarter Zentrum gibt,

kann mithilfe dieses Faktors der um den Baustelleneinfluss bereinigte Jahresmittelwert der Calciumkonzentration an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor im Jahr 2014 abgeschätzt werden. Er berechnet sich zu $2,8 \cdot 0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (siehe Tabelle 3). Tatsächlich findet man aber einen Calcium-Jahresmittelwert von $1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Es ist daher davon auszugehen, dass der Differenzbetrag in Höhe von $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf die Bautätigkeiten im Stuttgarter Zentrum zurückzuführen ist.

In den im Rahmen von Bautätigkeiten emittierten Calciumverbindungen liegen die Calciumatome nicht neutral (als Element) vor, sondern in ionischer, d.h. geladener Form. Die Gegenionen von Calcium sind in diesem Fall im Wesentlichen Sulfat und Carbonat (vgl. Kapitel 1.2). Um deren Massenbeitrag ebenfalls zu berücksichtigen, wird der Einfachheit halber angenommen, dass die auf Bautätigkeiten zurückzuführenden Calciumemissionen zu 50% als Calciumsulfat (CaSO_4 , Gips) und zu 50% als Calciumcarbonat (CaCO_3 , abgebundener Zement) vorliegen. Die Massen der Sulfat- und Carbonationen ergeben sich anhand der Stöchiometrie und der jeweiligen Atommassen zu $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Beitrag des baustelleninduzierten Calcium und seiner Gegenionen zur lokalen Partikel PM_{10} -Konzentration beträgt damit insgesamt $(0,3 + 0,3 + 0,2) \mu\text{g}/\text{m}^3 = 0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabelle 2: Jahresmittelwerte der Konzentrationen von Calcium, Magnesium, Aluminium und Silicium in der Partikelfraktion PM_{10} an den drei Stuttgarter Messstationen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Luftmessstation Stuttgart-Bad Cannstatt							
Calcium	0,3	0,3	0,4	-	0,3	-	0,3
Magnesium	0,1	0,1	0,1	-	0,1	-	0,1
Aluminium	0,2	0,2	0,2	-	0,1	-	0,1
Silicium*	0,4	0,4	0,4	-	0,4	-	0,4
Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor							
Calcium	0,8	-	-	-	-	-	1,1
Magnesium	0,2	-	-	-	-	-	0,3
Aluminium	0,3	-	-	-	-	-	0,4
Silicium*	0,9	-	-	-	-	-	1,1
Verkehrsmessstation Stuttgart Arnulf-Klett-Platz							
Calcium	-	-	-	-	-	-	0,7
Magnesium	-	-	-	-	-	-	0,2
Aluminium	-	-	-	-	-	-	0,3
Silicium*	-	-	-	-	-	-	0,7

*aus Aluminiumkonzentration abgeschätzt

LUBW

Tabelle 3: Berechnung der baustelleninduzierten Zusatzimmissionen an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor im Jahr 2014 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, vgl. Erklärung im Text; Abweichungen rundungsbedingt

	Ca	Mg	Al	Si*
Berechnung der erwarteten Konzentration				
Konzentrationsverhältnis Am Neckartor/Bad Cannstatt 2008**	2,8	2,4	2,0	2,0
Konzentration Bad Cannstatt 2014	0,3	0,1	0,1	0,4
→ erwartete Konzentration Am Neckartor 2014	0,8	0,2	0,3	0,8
gemessene Konzentration				
gemessene Konzentration Am Neckartor 2014	1,1	0,3	0,4	1,1
Berechnung der baustelleninduzierten Zusatzimmission				
Zusatzimmission (= Differenz aus gem. und erw. Konz. 2014)	0,3	0,1	0,1	0,3
+ Zusatzbeitrag durch das Gegenion Sulfat (vgl. Text)	0,3	0,2	-	-
+ Zusatzbeitrag durch das Gegenion Carbonat (vgl. Text)	0,2	0,1	-	-
+ Zusatzbeitrag durch Sauerstoff (vgl. Text)	-	-	0,1	0,3
gesamte Zusatzimmission				
Summe pro Element	0,8	0,4	0,2	0,6
Summe über alle Elemente	2,0			

*aus Aluminiumkonzentration abgeschätzt **ohne Einheit

LUBW

Mit dem gleichen Verfahren kann der durch baustelleninduzierte Magnesium- und Aluminiumemissionen verursachte Zusatzbeitrag zur Partikel PM_{10} -Belastung abgeschätzt werden. Im Fall von Magnesium wurde ein Zusatzbeitrag von insgesamt $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berechnet. Hierzu wurde, analog dem Vorgehen bei Calcium, angenommen, dass Magnesium zur Hälfte als Magnesiumsulfat und zur Hälfte als Magnesiumcarbonat vorliegt.

Die im Rahmen der Bautätigkeiten emittierten Aluminium-Verbindungen bestehen in der Regel aus Alumosilikaten. In diesen Verbindungen beträgt das Verhältnis von Sauerstoff- zu Aluminiumatomen drei zu zwei (formal Al_2O_3). Der Beitrag des baustelleninduzierten Aluminium und seiner Gegenionen zur lokalen Partikel PM_{10} -Konzentration beträgt damit insgesamt $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

In Alumosilikaten liegt das Massenverhältnis von Al_2O_3 zu SiO_2 in der Regel um 1:3 [EU-Arbeitspapier, 2011]. Mit diesem Massenverhältnis kann demnach aus der Masse von Al_2O_3 auf die Masse des SiO_2 geschlossen werden. Der Beitrag des baustelleninduzierten Silicium und seiner Gegenionen zur lokalen Partikel PM_{10} -Konzentration beträgt damit insgesamt $3 \cdot 0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

In der Summe über die betrachteten Elemente und ihre Gegenionen ergibt sich an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor im Jahr 2014 ein baustelleninduzierter Zusatzbeitrag zum Jahresmittelwert der Partikel PM_{10} -Konzentration in Höhe von $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Jahresmittelwert der Partikel PM_{10} -Konzentration betrug an dieser Messstelle $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für das Jahr 2014, so dass ca. 5% der Partikel PM_{10} -Immissionskonzentration auf den Baustelleneinfluss zurückzuführen sind. Es ist davon auszugehen, dass die Partikelemissionen nicht ausschließlich an den Orten der Bautätigkeiten erfolgten, sondern auch im Bereich von Transportwegen, auf denen Baumaterialien, Schutt und Aushub an- bzw. abtransportiert werden.

Aus toxikologischer Sicht sind die hier nachgewiesenen baustelleninduzierten Mineralstaubemissionen deutlich weniger problematisch als z.B. Emissionen aus Verbrennungsprozessen, da die Mineralstaubpartikel im Wesentlichen aus gesundheitlich unbedenklichen Substanzen bestehen und aufgrund ihrer Größe weniger gut von der Lunge aufgenommen werden können.

2.2.2 JAHRESGANG

Mit dem im vorigen Unterkapitel angewendeten Verfahren kann auch der Jahresgang der baustelleninduzierten Zusatzbelastung abgeschätzt werden, indem statt Jahresmittelwerten Quartalsmittelwerte verwendet werden. Die Berechnung von Zeitreihen mit noch höherer zeitlicher Auflösung, z.B. monatsweise, ist nicht sinnvoll, da für das erste Quartal nur wenige Inhaltsstoffanalysen vorliegen und die Berechnung von Monatsmittelwerten deshalb mit großen Unsicherheiten behaftet ist.

Der abgeschätzte Jahresgang der baustelleninduzierten Partikel PM_{10} -Immissionen am Spotmesspunkt Stuttgart Am Neckartor ist in der Abbildung 5 gezeigt. Man erkennt, dass der baustelleninduzierte Zusatzbeitrag mit über $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im 1. Quartal 2014 am höchsten war und sich im Laufe des Jahres auf ca. $1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ abschwächte.

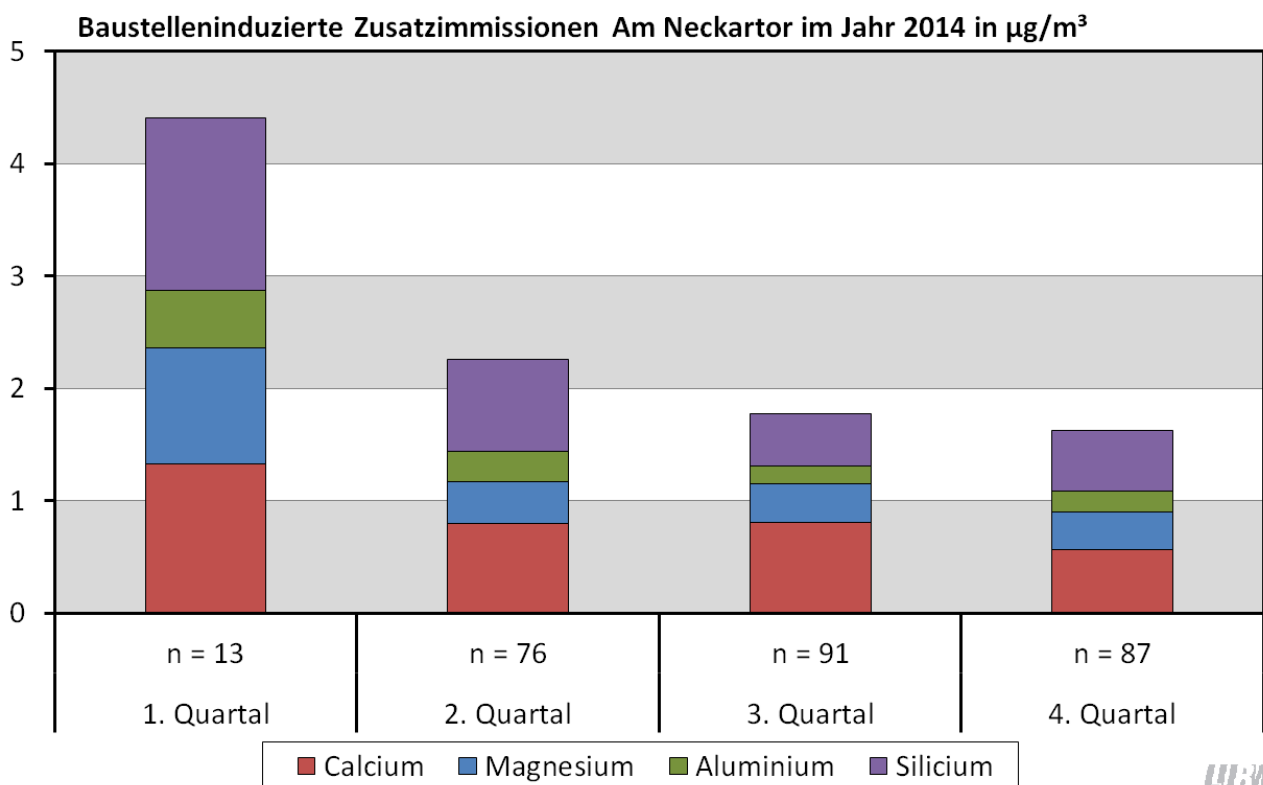


Abbildung 5: Quartalsweise abgeschätzte baustelleninduzierte Partikel PM_{10} -Immissionen am Spotmesspunkt Stuttgart Am Neckartor im Jahr 2014 (n = Anzahl gültiger Datenpaare)

2.3 Bereinigung um den Baustelleneinfluss

Um die um den Baustelleneinfluss bereinigten Partikel PM_{10} -Konzentrationen zu erhalten, können die im vorigen Kapitel ermittelten baustelleninduzierten Partikel PM_{10} -Immissionen quartalsweise von den gemessenen Tagesmittelwerten der Partikel PM_{10} -Konzentrationen abgezogen werden. Die um den Baustelleneinfluss bereinigten PM_{10} -Konzentrationen können dann für die Berechnung der bereinigten Verhältnisse Partikel $PM_{2,5}$ zu Partikel PM_{10} verwendet werden. Das Ergebnis ist in Abbildung 6 gezeigt. Man erkennt, dass die Verhältnisse $PM_{2,5}$ zu PM_{10} an beiden zentrumsnahen Stuttgarter Stationen durch die Bereinigung deutlich ansteigen und sich dadurch dem Verlauf der anderen verkehrsnahen Messstationen annähern⁴. Dies bestätigt die Gültigkeit der hier gewählten Bereinigungsverfahren.

Die Bereinigung der Partikel PM_{10} -Konzentrationen um den Baustelleneinfluss verringert den Jahresmittelwert der Partikel- PM_{10} -Konzentration an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor im Jahr 2014 von $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Anzahl der Überschreitungen des Partikel PM_{10} -Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ verringert sich an der Spotmessstelle Stuttgart Am Neckartor durch die Bereinigung von 64 auf 50, d. h. es sind 14 Überschreitungen auf die baustelleninduzierten Emissionen zurückzuführen⁵. Acht dieser baustelleninduzierten Grenzwertüberschreitungen traten zwischen Anfang Februar und Mitte März auf, die anderen Überschreitungen verteilen sich auf die Monate Januar, April, November und Dezember. Pro Kalenderjahr sind 35 Überschreitungen zulässig.

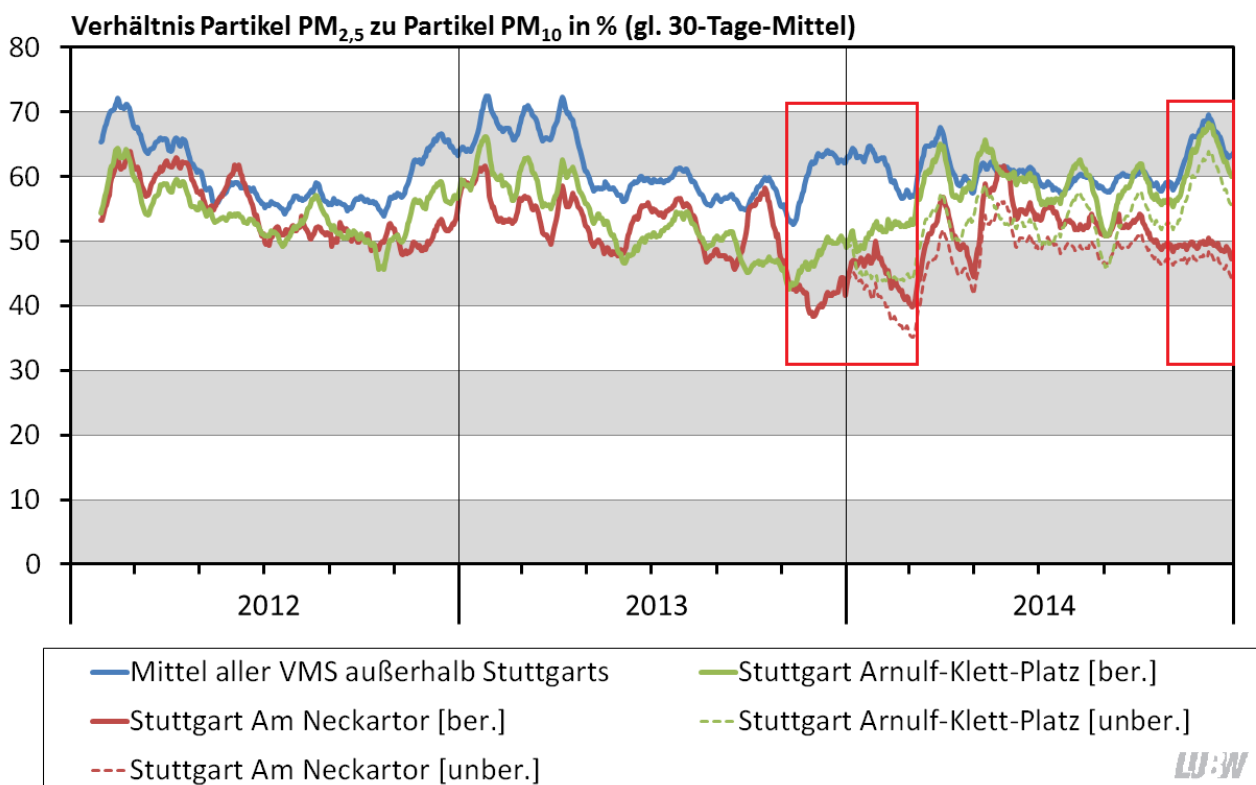


Abbildung 6: Verhältnis Partikel $PM_{2,5}$ zu Partikel PM_{10} in Prozent (gleitender 30-Tage-Mittelwert) vor und nach der Bereinigung um den Baustelleneinfluss. Es wurde angenommen, dass der Baustelleneinfluss an beiden Stuttgarter Stationen gleich groß ist.

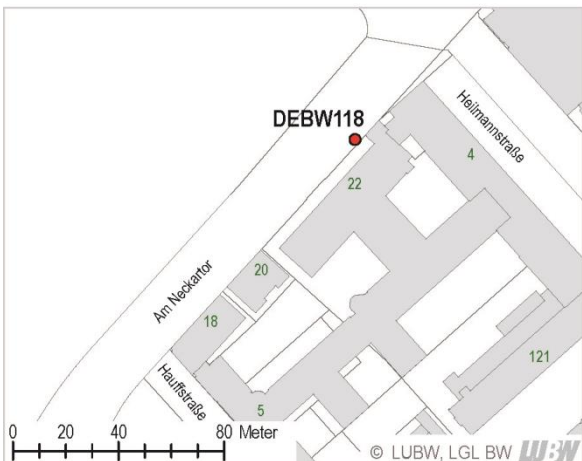
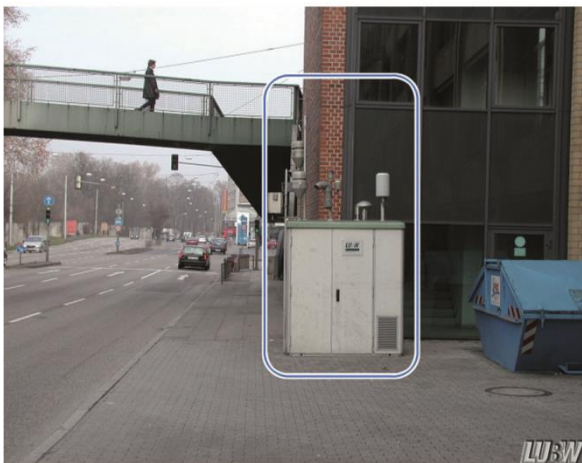
⁴ Hierbei ist zu beachten, dass für das Jahr 2013 keine Bereinigung durchgeführt werden konnte, da für dieses Jahr keine Inhaltsstoffanalysen vorliegen (vgl. Tabelle 1). Durch die in Abbildung 6 gewählte Darstellung als gleitende 30-Tage-Mittelwerte wirkt sich die Bereinigung erst ab Ende Januar 2014 voll aus.

⁵ Von den verbleibenden 50 Überschreitungen sind 2 Überschreitungen auf den Eintrag von Saharastaub zurückzuführen [LUBW, 2015].

3 Anhang

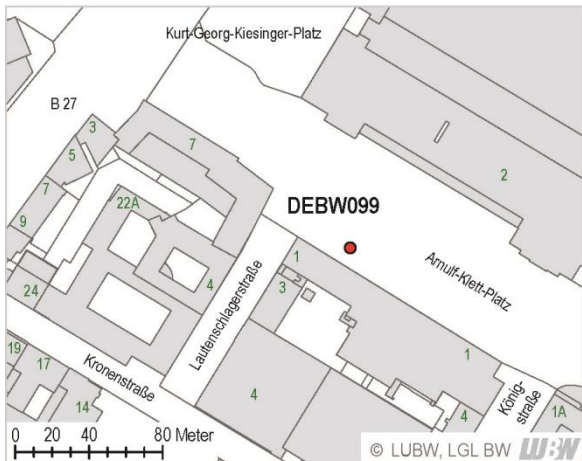
3.1 Messstellenbeschreibung

Stuttgart Am Neckartor



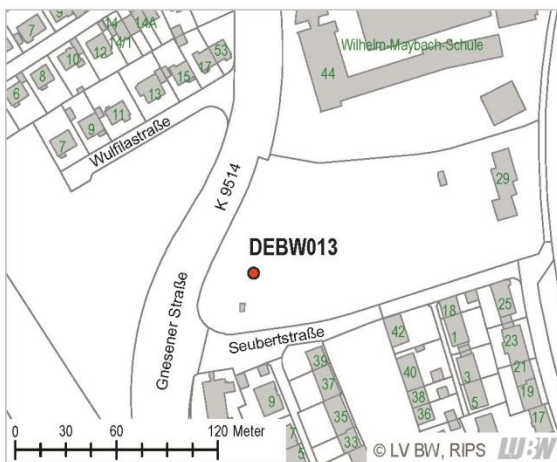
Daten der Messstelle	
Stationscode	DEBW118
Standort/Straße	Am Neckartor 22
Stadt/Landkreis	Stuttgart
Regierungsbezirk	Stuttgart
Messbeginn	23.12.2003
Koordinaten	
Geographische Koordinaten	Gauß-Krüger Koordinaten
geographische Länge	9° 11' 31" Rechtswert 3514110
geographische Breite	48° 47' 21" Hochwert 5405644
Höhe über NN:	242 m
Umgebungsbeschreibung	
Topographie	Ebene
Lage	Innenstadt
Gebietsnutzung	Verkehr, Wohnen, Handel
Verkehrsstärke (DTV)	71 800 Kfz/Tag
Gemessene Komponenten 2014	
Komponenten	NO ₂ (kont.), PM10 (grav.), Benzol, Ruß, PM2,5, SM, B(a)P

Stuttgart Arnulf-Klett-Platz



Daten der Messstelle	
Stationscode	DEBW099
Standort/Straße	Arnulf-Klett-Platz
Stadt/Landkreis	Stuttgart
Regierungsbezirk	Stuttgart
Messbeginn	06.12.1994
Koordinaten	
Geographische Koordinaten	Gauß-Krüger Koordinaten
geographische Länge	9° 10' 51" Rechtswert 3513360
geographische Breite	48° 46' 59" Hochwert 5405085
Höhe über NN:	250 m
Umgebungsbeschreibung	
Topographie	Ebene
Lage	Innenstadt
Gebietsnutzung	Verkehr, Wohnen, Handel, Gewerbe, Erholung
Verkehrsstärke (DTV)	53 400 Kfz/Tag
Gemessene Komponenten 2014	
Komponenten	NO ₂ (kont.), PM10(grav.), Benzol, Ruß, PM2,5, Ozon, CO, SM, B(a)P

Stuttgart Bad Cannstatt



Daten der Messstelle

Stationscode	DEBW013
Standort/Straße	Gnesener Straße
Stadt/Landkreis	Stuttgart Bad Cannstatt
Regierungsbezirk	Stuttgart
Messbeginn	01.01.1981

Koordinaten

Geographische Koordinaten	Gauß-Krüger Koordinaten	
geographische Länge	9°13'48"	Rechtswert 3516962
geographische Breite	48°48'32"	Hochwert 5407962
Höhe über NN:	248 m	

Umgebungsbeschreibung

Topographie	Hang
Lage	städtischer Hintergrund
Gebietsnutzung	Verkehr, Wohnen
Verkehrsstärke (DTV)	13650 Kfz/Tag

Gemessene Komponenten 2014

Komponenten	NO ₂ (kont.), PM10 (grav.), Ruß, Benzol, B(a)P, PM2.5, Ozon, SO ₂
-------------	---



3.2 Methodenbeschreibung

Die Quantifizierung der in den Partikeln enthaltenen Elemente erfolgte mittels ICP-OES (Induktiv gekoppeltes Plasma, gekoppelt mit optischer Emissionsspektrometrie) gemäß der in der VDI 2267 Blatt 1 und Blatt 3 (E) beschriebenen Methode. Hierbei wird ein Teil des Filters mit einer Mischung aus Salpetersäure (HNO_3), Flusssäure (HF) und Wasserstoffperoxid (H_2O_2) mikrowellenunterstützt aufgeschlossen, um die zu untersuchenden Inhaltsstoffe zu lösen. Die Aufschlusslösung wird zur Trockne eingedampft und anschließend in einprozentiger Salpetersäure aufgenommen. Ein Aliquot dieser Lösung wird mittels ICP-OES analysiert. Das Prinzip der ICP-OES beruht darauf, dass die zu untersuchende Lösung in ein ca. 7.000°C heißes Argon-Plasma eingebracht wird. Bei diesen Temperaturen erfolgt eine energetische Anregung der Ionen, wodurch sie eine für das jeweilige Element charakteristische elektromagnetische Strahlung aussenden. Anhand der Wellenlänge dieser Strahlung kann das chemische Element identifiziert werden, über die Intensität der Strahlung kann die Konzentration ermittelt werden. Die Nachweisgrenzen für Calcium, Magnesium und Aluminium aus ICP-OES-Messungen nach Filterprobenahme liegen bei $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $0,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.3 Literatur

[39. BImSchV]: Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen) vom 2. August 2010, in Kraft getreten am 6. August 2010.

[EU-Arbeitspapier, 2011]: Commission staff working paper establishing guidelines for demonstration and subtraction of exceedances attributable to natural sources under the Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe, Brüssel, 15.02.2011.

[LUBW, 2015]: Saharastaubepisoden im ersten Halbjahr 2014 – Auswirkungen auf die Partikel PM_{10} -Konzentrationen in Baden-Württemberg, Dokumentation-Nummer 33-04/2015, 22 Seiten, Karlsruhe, März 2015.

[VDI 2267 Blatt 1]: Stoffbestimmung an Partikeln in der Außenluft - Messen der Elementkonzentration nach Filterprobenahme - Bestimmung von Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Tl, V und Zn mithilfe von Grafitrohr-Atomabsorptionsspektrometrie (GF-AAS), optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) und der induktiv gekoppelten Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS), Oktober 2012.

[VDI 2267 Blatt 3 (E)]: Stoffbestimmung an Partikeln in der Außenluft – Aufschlussvarianten für Staubproben zur anschließenden Bestimmung der Massenkonzentration von Al, Sb, As, Pb, Cd, Ca, Cr, Co, Fe, K, Cu, Mg, Mn, Na, Ni, Se, V und Zn, Entwurf, 2013.

3.4 Glossar

$\mu\text{g}/\text{m}^3$: Mikrogramm pro Kubikmeter

Atommasse:

Die Atommasse ist die Masse eines Atoms. Sie unterscheidet sich für verschiedene Atomsorten (Elemente).

Aerodynamischer Durchmesser:

Der aerodynamische Durchmesser ist eine abstrakte Größe zur Beschreibung des Verhaltens eines gasgetragenen Partikels. Der aerodynamische Durchmesser eines Partikels entspricht dem Durchmesser einer Kugel mit der Dichte $1 \text{ g}/\text{cm}^3$, welche die gleiche Sinkgeschwindigkeit in der Luft wie der Partikel hat.

Aliquot: Teilportion einer Probe

Anion: negativ geladenes Atom

Gegenion:

Ion, das ein Ion mit entgegengesetzter Ladung begleitet

Ion: geladenes Atom

Kation: positiv geladenes Atom

ng/m^3 : Nanogramm pro Kubikmeter

PM_{10} :

Partikel, die einen gröÙenselektierenden Luftreinlass, der für einen aerodynamischen Durchmesser von $10 \mu\text{m}$ einen Abscheidegrad von 50% aufweist, passieren

$\text{PM}_{2,5}$:

Partikel, die einen gröÙenselektierenden Luftreinlass, der für einen aerodynamischen

Durchmesser von $2,5 \mu\text{m}$ einen Abscheidegrad von 50% aufweist, passieren

Stöchiometrie:

Der Begriff Stöchiometrie bezeichnet die Mengenverhältnisse von Ausgangs- und Endprodukten in chemischen Reaktionen. Sie erlaubt auch Aussagen über Mengenverhältnisse in chemischen Substanzen, z.B. kommen in der Substanz SiO_2 auf ein Siliciumatom zwei Sauerstoffatome.

Elementsymbole:

Al: Aluminium
As: Arsen
Ba: Barium
Ca: Calcium
Cd: Cadmium
Co: Cobalt
Cr: Chrom
Cu: Kupfer
Fe: Eisen
K: Kalium
Mg: Magnesium
Mn: Mangan
Na: Natrium
Ni: Nickel
O: Sauerstoff
Pb: Blei
Sb: Antimon
Si: Silicium
Sn: Zinn
V: Vanadium
Zn: Zink

Chemische Formeln der Anionen:

Cl⁻: Chlorid
NO₃⁻: Nitrat
SO₄²⁻: Sulfat

