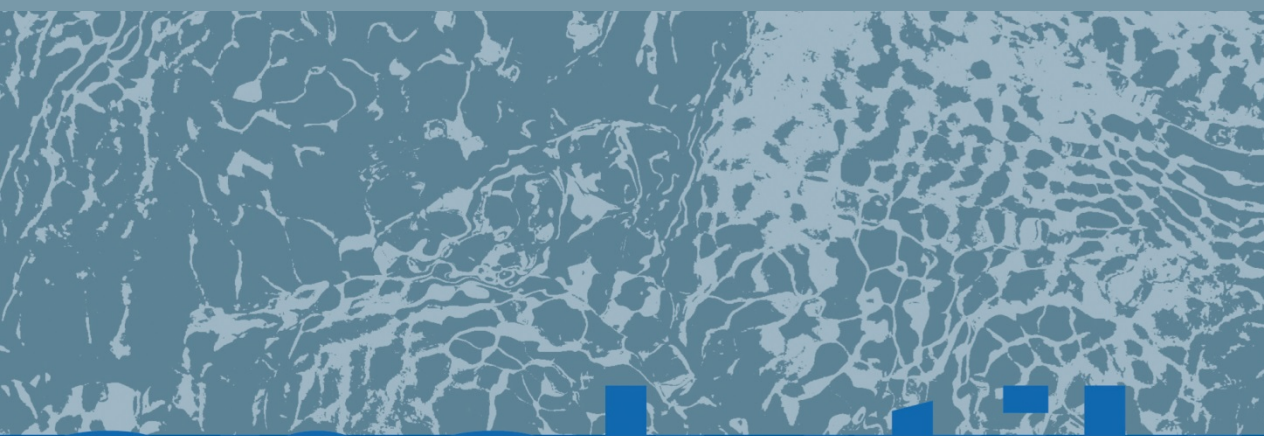




# Feinstaubinhaltsstoffe: Quantifizierung der Anteile von Streusalz und Straßensplitt im PM10/PM2.5

Abschlussbericht  
01.06.2009 – 30.06.2016



analytik





# **Feinstaubinhaltsstoffe: Quantifizierung der Anteile von Streu- salz und Straßensplitt im $PM_{10}/PM_{2.5}$**

**Abschlussbericht  
01.06.2009 – 30.06.2016**

## Impressum

Feinstaubinhaltsstoffe: Quantifizierung der Anteile von Streusalz und Straßensplitt im PM<sub>10</sub>/PM<sub>2,5</sub>  
Abschlussbericht 01.06.2009 – 30.06.2016

### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg  
Tel.: 0821 9071-0  
Fax: 0821 9071-5556  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

### Bearbeitung/Text/Konzept:

LfU, Ref. 72, Dr. Jürgen Diemer; Ref. 24, Dr. Heinz Ott; Ref. 23, Andrea Wellhöfer, Dr. Mike Pitz; Ref. 71, Dr. Martin Schmid

### Redaktion:

LfU, Referat 72, Dr. Jürgen Diemer

### Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt, © Bayerische Vermessungsverwaltung 2016

### Stand:

Juli 2016

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern 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. Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – wird um Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars gebeten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Diese Broschüre 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. 089 122220 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto: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

<b>1</b>	<b>Ausgangslage und Zielsetzung</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Probenahme und Analytik</b>	<b>15</b>
2.1	Probenahme, Probenahmeorte und Zeiträume	15
2.2	Analytik von Feinstaubinhaltsstoffen und Streumitteln	18
<b>3</b>	<b>Plausibilisierung und Auswertung</b>	<b>22</b>
3.1	Informationen zum Einsatz von Streumitteln im Winterdienst	22
3.2	Kriterien für das Erkennen von Winterdiensteinflüssen auf die Feinstaubkonzentration	23
3.3	Ermittlung des Anteils von aufgewirbeltem Streusalz im PM <sub>10</sub>	23
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>25</b>
4.1	Einfluss von Streusalz aus dem Winterdienst auf PM <sub>10</sub>	25
4.2	Einfluss von Splitt aus dem Winterdienst auf PM <sub>10</sub>	63
4.3	Einfluss natürlicher Quellen auf PM <sub>10</sub>	77
<b>5</b>	<b>Ermittlung der durch die Aufwirbelung von Streusalz verursachten PM<sub>10</sub>-Tagesgrenzwertüberschreitungen</b>	<b>82</b>
<b>6</b>	<b>Einfluss des Wetters auf die PM<sub>10</sub>-Konzentration und das Ausmaß der Aufwirbelung von Streusalz</b>	<b>88</b>
<b>7</b>	<b>Ausblick</b>	<b>94</b>
<b>8</b>	<b>Literatur</b>	<b>95</b>

## Anlagen

Anlage 1	LÜB-Dokumentation
Anlage 2	Arbeitsbeschreibung Gravimetrie
Anlage 3	Streusalzberichte

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Übersicht der PM <sub>10</sub> -Probenahmen zur Erfassung der durch Winterdienst verursachten Anteile.	19
Abb. 2:	Übersicht der PM <sub>2,5</sub> -Probenahmen zur Erfassung der durch Winterdienst verursachten Anteile.	19
Abb. 3:	Jahresgang von Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Augsburg/Königsplatz (AUKÖ) im Jahr 2009.	26
Abb. 4:	Jahresgang von Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Jahr 2009.	26
Abb. 5:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Augsburg/Königsplatz (AUKÖ) im Jahr 2009 nach Plausibilisierung.	27
Abb. 6:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Jahr 2009 nach Plausibilisierung.	27
Abb. 7:	Prozentuale Anteile von Natrium und Chlorid am PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Augsburg/Königsplatz (AUKÖ) im Jahr 2009.	28
Abb. 8:	Prozentuale Anteile von Natrium und Chlorid am PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Jahr 2009.	28
Abb. 9:	Jahresgang von Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Jahr 2010.	30
Abb. 10:	Jahresgang von Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Augsburg/Karlstraße (AUKA) im Jahr 2010.	30
Abb. 11:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Jahr 2010 nach Plausibilisierung.	31
Abb. 12:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Augsburg/Karlstraße (AUKA) im Jahr 2010 nach Plausibilisierung.	31
Abb. 13:	Prozentuale Anteile von Natrium und Chlorid am PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Jahr 2010.	32
Abb. 14:	Prozentuale Anteile von Natrium und Chlorid am PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Augsburg/Karlstraße (AUKA) im Jahr 2010.	32
Abb. 15:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Oberaudorf/Inntalautobahn (OBIA) im Winter 2009/2010.	34
Abb. 16:	Natrium und Chlorid im PM <sub>2,5</sub> an der LÜB-Messstation Oberaudorf/Inntalautobahn (OBIA) im Winter 2009/2010.	34
Abb. 17:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2009/2010.	35
Abb. 18:	Natrium und Chlorid im PM <sub>2,5</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2009/2010.	35
Abb. 19:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2011/2012.	36
Abb. 20:	Natrium und Chlorid im PM <sub>2,5</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2011/2012.	36

Abb. 21:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2012/2013.	37
Abb. 22:	Natrium und Chlorid im PM <sub>2,5</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2012/2013.	37
Abb. 23:	Ammonium und Nitrat im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation MÜLA im Winter 2011/2012.	39
Abb. 24:	Ammonium und Nitrat im PM <sub>2,5</sub> an der LÜB-Messstation MÜLA im Winter 2011/2012.	39
Abb. 25:	Natrium im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Würzburg/Stadtring Süd (WBSS) und am 15 m von der Straße entfernten Standort (WBSS-15 m) im Winter 2010/2011	40
Abb. 26:	Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Würzburg/Stadtring Süd (WBSS) und am 15 m von der Straße entfernten Standort (WBSS-15 m) im Winter 2010/2011.	41
Abb. 27:	Nitrat im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Würzburg/Stadtring Süd (WBSS) und am 15 m von der Straße entfernten Standort (WBSS-15 m) im Winter 2010/2011.	42
Abb. 28:	Ammonium im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Würzburg/Stadtring Süd (WBSS) und am 15 m von der Straße entfernten Standort (WBSS-15 m) im Winter 2010/2011.	42
Abb. 29:	Calcium im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Würzburg/Stadtring Süd (WBSS) und am 15 m von der Straße entfernten Standort (WBSS-15 m) im Winter 2010/2011.	43
Abb. 30:	Magnesium im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Würzburg/Stadtring Süd (WBSS) und am 15 m von der Straße entfernten Standort (WBSS-15 m) im Winter 2010/2011.	44
Abb. 31:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Würzburg/Stadtring Süd (WBSS) im Winter 2010/2011 nach Plausibilisierung.	45
Abb. 32:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> am 15 m entfernten Standort von der LÜB-Messstation Würzburg/Stadtring Süd (WBSS-15 m) im Winter 2010/2011 nach Plausibilisierung.	45
Abb. 33:	LÜB-Messstation Tiefenbach/Alten-schneeberg (TBAL), Stationsansicht Blickrichtung Ost.	46
Abb. 34:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Tiefenbach/Altenschneeberg (TBAL) im Winter 2009/2010.	47
Abb. 35:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Tiefenbach/Altenschneeberg (TBAL) im Winter 2009/2010 nach Plausibilisierung.	47
Abb. 36:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Augsburg/Karlstraße (AUKA) im Winter 2009/2010 nach Plausibilisierung.	48
Abb. 37:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Würzburg/Stadtring Süd (WBSS) im Winter 2009/2010 nach Plausibilisierung.	49
Abb. 38:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Würzburg/Kardinal-Faulhaber-Platz (WBKA) im Winter 2009/2010 nach Plausibilisierung.	49
Abb. 39:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2011/2012.	52
Abb. 40:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Kelheim/Regensburger Straße (KERE) im Winter 2011/2012.	52
Abb. 41:	Lage der Messstation Kelheim/Regensburger Straße (KERE) – Blick nach Westen.	53
Abb. 42:	Lage der Messstation Kelheim/Regensburger Straße (KERE) – Blick nach Osten.	53
Abb. 43:	Natrium im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation MÜLA und am Standort MÜLASTV vom 22.10.2012 bis 14.01.2013.	55

Abb. 44:	Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation MÜLA und am Standort MÜLASTV vom 22.10.2012 bis 14.01.2013.	55
Abb. 45:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2012/2013.	57
Abb. 46:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2013/2014.	57
Abb. 47:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Nürnberg/Von-der-Tann-Straße (NÜVDT) im Winter 2012/2013.	58
Abb. 48:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Nürnberg/Von-der-Tann-Straße (NÜVDT) im Winter 2013/2014.	59
Abb. 49:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> am Standort München/Freimann im Winter 2013/2014.	59
Abb. 50:	Natrium und Chlorid im PM <sub>10</sub> am Standort Trostberg/“Engstelle“ Am Vormarkt im Winter 2013/2014.	60
Abb. 51:	Luftbild des Standortes Trostberg/Am Vormarkt mit markiertem Messpunkt und der Angabe zur Lage der Pfortnerampeln und Geschwindigkeitsbeschränkungen.	61
Abb. 52:	Feinstaubsammler am Standort Trostberg/Am Vormarkt - Blick nach Westen.	61
Abb. 53:	Jahresgang von Calcium im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Augsburg/Königsplatz (AUKÖ) im Jahr 2009.	64
Abb. 54:	Jahresgang von Calcium im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Jahr 2009.	64
Abb. 55:	Jahresgang von Calcium im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Jahr 2010.	66
Abb. 56:	Jahresgang von Calcium im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Augsburg/Karlstraße (AUKA) im Jahr 2010.	66
Abb. 57:	Jahresgang von Magnesium im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Augsburg/Königsplatz (AUKÖ) im Jahr 2009.	67
Abb. 58:	Jahresgang von Magnesium im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Jahr 2009.	67
Abb. 59:	Jahresgang von Magnesium im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Jahr 2010.	68
Abb. 60:	Jahresgang von Magnesium im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Augsburg/Karlstraße (AUKA) im Jahr 2010.	68
Abb. 61:	Calcium im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Station Oberaudorf/Inntalautobahn (OBIA) im Winter 2009/2010.	69
Abb. 62:	Calcium im PM <sub>2,5</sub> an der LÜB-Station Oberaudorf/Inntalautobahn (OBIA) im Winter 2009/2010.	70
Abb. 63:	Calcium im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Station München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2009/2010.	70
Abb. 64:	Calcium im PM <sub>2,5</sub> an der LÜB-Station München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2009/2010.	71
Abb. 65:	Calcium im PM <sub>10</sub> an der LÜB-Station München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2012/2013.	71



Abb. 66:	Calcium im PM <sub>2,5</sub> an der LÜB-Station München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2012/2013.	72
Abb. 67:	Calcium im PM <sub>10</sub> am Standort München/Freimann im Winter 2013/2014.	74
Abb. 68:	Magnesium im PM <sub>10</sub> am Standort München/Freimann im Winter 2013/2014.	74
Abb. 69:	Calcium im PM <sub>10</sub> am Standort Trostberg/Am Vormarkt im Winter 2013/2014.	75
Abb. 70:	Magnesium im PM <sub>10</sub> am Standort Trostberg/Am Vormarkt im Winter 2013/2014.	75
Abb. 71:	Feinstaub (PM <sub>10</sub> ) an deutschen Messstationen am 18.04.2010 (linke Grafik) und am 19.04.2010 (rechte Grafik). Quelle: Umweltbundesamt	78
Abb. 72:	Feinstaub (PM <sub>10</sub> ) an deutschen Messstationen am 20.04.2010 (linke Grafik) und am 21.04.2010 (rechte Grafik). Quelle: Umweltbundesamt	78
Abb. 73:	Titan als Bestandteil des Feinstaubes PM <sub>10</sub> an verschiedenen LÜB-Stationen (14.04.-23.04.2010).	79
Abb. 74:	Zirconium als Bestandteil des Feinstaubes PM <sub>10</sub> an verschiedenen LÜB-Stationen (14.04.-23.04.2010).	79
Abb. 75:	Zusammensetzung der Vulkanasche des Eyjafjallajökull.	80
Abb. 76:	Ermittlung des Beitrags der Vulkanasche zur lokalen PM <sub>10</sub> -Konzentration.	81
Abb. 77:	Ermittlung des Beitrags der Vulkanasche in Andechs/Rothenfeld.	81
Abb. 78:	Mittlere Lufttemperatur Tagesminimum in München und Anzahl der PM <sub>10</sub> -Überschreitungstage im jeweiligen Kalenderjahr an der LÜB-Messstation München / Landshuter Allee.	89
Abb. 79:	Anzahl der Tage mit dem Mittelwert der Lufttemperatur in München unter 0° und Anzahl der PM <sub>10</sub> -Überschreitungstage im jeweiligen Kalenderjahr an der LÜB-Messstation München / Landshuter Allee.	89
Abb. 80:	Lufttemperatur Tagesminimum in München im jeweiligen Kalenderjahr und Anzahl der Tage mit signifikanten Mengen NaCl im PM <sub>10</sub> .	90
Abb. 81:	Anzahl der Tage mit dem Mittelwert der Lufttemperatur in München unter 0°C im jeweiligen Kalenderjahr und Anzahl der Tage mit signifikanten Mengen NaCl im PM <sub>10</sub> .	90
Abb. 82:	Lufttemperatur Tagesminimum in Augsburg im jeweiligen Kalenderjahr und Anzahl der Tage mit signifikanten Mengen NaCl im PM <sub>10</sub> .	90
Abb. 83:	Anzahl der Tage mit dem Mittelwert der Lufttemperatur in Augsburg unter 0°C im jeweiligen Kalenderjahr und Anzahl der Tage mit signifikanten Mengen NaCl im PM <sub>10</sub> .	90
Abb. 84:	Mittlere Lufttemperatur Tagesminimum in München und Anzahl der durch Streusalz verursachten PM <sub>10</sub> -Überschreitungstage im jeweiligen Kalenderjahr an der LÜB-Messstation München / Landshuter Allee.	91
Abb. 85:	Anzahl der Tage mit dem Mittelwert der Lufttemperatur in München unter 0° und Anzahl der durch Streusalz verursachten PM <sub>10</sub> -Überschreitungstage im jeweiligen Kalenderjahr an der LÜB-Messstation München / Landshuter Allee.	91
Abb. 86:	Mittlere Lufttemperatur Tagesminimum in Augsburg und Anzahl der durch Streusalz verursachten PM <sub>10</sub> -Überschreitungstage im jeweiligen Kalenderjahr an der LÜB-Messstation Augsburg / Karlstraße.	91

- Abb. 87: Anzahl der Tage mit dem Mittelwert der Lufttemperatur in Augsburg unter 0° und Anzahl der durch Streusalz verursachten PM<sub>10</sub>-Überschreitungstage im jeweiligen Kalenderjahr an der LÜB-Messstation Augsburg / Karlstraße. 91
- Abb. 88: PM<sub>10</sub>-Verlauf an vier Münchner LÜB-Mess-stationen vom 07.01. - 14.01.2008 (Halbstundenmittelwerte); 12:00 Uhr der Tage 08. - 12.01.2008 (Di - Sa) ist durch eine hellblaue Linie gekennzeichnet. 93

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Auflistung aller auf Streusalz im Projekt untersuchten LÜB-Messstationen bzw. Standorte.	17
Tab. 2:	LÜB-Messstationen, an denen Probenahmen zur Charakterisierung natürlicher Feinstaubanteile (Vulkanasche) erfolgten.	18
Tab. 3:	Bestimmungsgrenzen für die Analytik von Staubinhaltsstoffen mittels wässriger Elution und Ionenchromatographie.	20
Tab. 4:	Ergebnisse der Vergleichsmessung für die Parameter Chlorid und Natrium.	21
Tab. 5:	Ergebnisse der Vergleichsmessung für die Parameter Calcium und Magnesium.	21
Tab. 6:	Im Winterdienst auf den Fahrbahnen verwendete Streumittel.	22
Tab. 7:	LÜB-Messstationen, an denen mit Hilfe ganzjähriger Messungen der Jahresgang von Natrium und Chlorid im Feinstaub PM <sub>10</sub> erfasst wurde.	25
Tab. 8:	Einfluss von Natriumchlorid auf die Feinstaubkonzentration an verschiedenen LÜB-Messstationen in den Kalenderjahren 2009 und 2010.	33
Tab. 9:	LÜB-Messstationen, an denen neben Feinstaub PM <sub>10</sub> auch Feinstaub PM <sub>2,5</sub> auf Staubinhaltsstoffe untersucht wurde.	33
Tab. 10:	Vergleich der Konzentrationen von Natriumchlorid in Feinstaub PM <sub>10</sub> und Feinstaub PM <sub>2,5</sub> .	38
Tab. 11:	Einfluss von Natriumchlorid auf die PM <sub>10</sub> -Feinstaubkonzentration an verschiedenen LÜB-Messstationen im Winter 2009/10.	50
Tab. 12:	Einfluss von Natriumchlorid auf die PM <sub>10</sub> -Feinstaubkonzentration an verschiedenen LÜB-Messstationen im Winter 2010/11.	50
Tab. 13:	Einfluss von Natriumchlorid auf die PM <sub>10</sub> -Feinstaubkonzentration an verschiedenen LÜB-Messstationen im Winter 2011/12.	51
Tab. 14:	Einfluss von Natriumchlorid auf die PM <sub>10</sub> -Feinstaubkonzentration an verschiedenen LÜB-Messstationen im Winter 2012/13.	54
Tab. 15:	Einfluss von Natriumchlorid auf die PM <sub>10</sub> -Feinstaubkonzentration an verschiedenen LÜB-Messstationen im Winter 2013/14.	56
Tab. 16:	Einfluss von Natriumchlorid auf die PM <sub>10</sub> -Feinstaubkonzentration an weiteren Standorten im Winter 2013/14.	56
Tab. 17:	Einfluss von Natriumchlorid auf die PM <sub>10</sub> -Feinstaubkonzentration an verschiedenen LÜB-Messstationen im Winter 2014/15.	62
Tab. 18:	Einfluss von Natriumchlorid auf die PM <sub>10</sub> -Feinstaubkonzentration an verschiedenen LÜB-Messstationen im Winter 2015/16.	62
Tab. 19:	Abschätzung der durch Vulkanasche verursachten PM <sub>10</sub> -Beiträge an verschiedenen LÜB-Stationen; Quantifizierung über das Element Titan.	82
Tab. 20:	Überschreitungshäufigkeiten des PM <sub>10</sub> -Tagesgrenzwertes vor und nach Korrektur bezüglich des Anteils an aufgewirbeltem Streusalz nach unterschiedlichen Berechnungsmethoden.	85
Tab. 21:	Anzahl der durch aufgewirbeltes Streusalz verursachten Überschreitungen des PM <sub>10</sub> -Tagesgrenzwertes an den untersuchten LÜB-Messstationen; Ermittlung nach der im EU-Leitfaden empfohlenen Methode.	86

Tab. 22:	Jahresmittelwerte für PM <sub>10</sub> an verschiedenen LÜB-Messstationen vor und nach Korrektur bezüglich der Streusalzgehalte.	87
Tab. 23:	Aggregierte Wetterdaten für München aus der Datenbank „WESTE_XL“, jeweils Mittelwert über den Zeitraum Januar bis März und November / Dezember.	88
Tab. 24:	Datensatz zu PM <sub>10</sub> und der Aufwirbelung von Streusalz an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee	88
Tab. 25:	Streueinsätze am Abschnitt der LÜB- Messstation München/Landshuter Allee für das 1. Quartal (Januar-März) der Jahre 2013-2015.	92

## Schlaglicht

Welchen Anteil am Feinstaub hat die Aufwirbelung von Streumitteln durch den Straßenverkehr? Um diese Frage zu klären, analysierte das LfU von 2009 bis 2016 mehr als zehntausend Feinstaubproben, die überwiegend an Messstationen in der Nähe vielbefahrener Straßen genommen wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass der Anteil von Streusalz im Feinstaub an einzelnen Tagen beträchtlich sein kann. So wurden beispielsweise im Jahr 2013 an der Messstation München / Landshuter Allee neun der 39 Überschreitungen des  $PM_{10}$ -Tagesgrenzwertes durch Aufwirbelung von Streusalz verursacht.

## Kurzfassung

Ziel dieser Untersuchung war die Charakterisierung und Quantifizierung des Anteils von aufgewirbeltem Streusalz und Streusplitt am Feinstaub ( $PM_{10}$ ) sowie die Charakterisierung von Feinstaubbeiträgen aus natürlichen Quellen. Dazu wurden an insgesamt 19 Messstationen des Lufthygienischen Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB) unterschiedlicher Stationscharakteristik (vgl. Anlage 1) sowie an fünf zusätzlichen, temporär eingerichteten Standorten Feinstaubproben genommen und mittels chemischer Analytik in Tagesauflösung auf ihre Staubzusammensetzung untersucht.

Einer der Untersuchungsschwerpunkte war die LÜB-Messstation München / Landshuter Allee. Hier wurden in den Jahren 2009 und 2010 ganzjährig sowie in den folgenden Jahren während der Monate November bis März Staubinhaltsstoffanalysen durchgeführt, die die bereits vor Projektbeginn vorliegenden Erkenntnisse zu hohen Gehalten von Natrium und Chlorid im Winter im  $PM_{10}$  an diesem Standort bestätigten.

- Durch Vergleich von Messergebnissen stark verkehrsbelasteter Standorte mit hoher Winterdienstaktivität mit Messergebnissen von Hintergrundstandorten,
- Betrachtung von Jahregängen der Inhaltsstoffe Natrium und Chlorid,
- Vergleich der Anteile in der Partikelgrößenfraktion  $PM_{10}$  und  $PM_{2,5}$  sowie
- Informationen über Art und Häufigkeit des Streumiteleinsatzes auf Straßen im Nahbereich von LÜB-Messstationen

konnte eindeutig gezeigt werden, dass die erhöhten Gehalte von Natrium und Chlorid im  $PM_{10}$  aus Aufwirbelung von im Winterdienst ausgebrachtem Streusalz stammen. Diese für die Bewertung der Daten entscheidende Erkenntnis wurde in einer Fachzeitschrift publiziert und durch entsprechendes Datenmaterial belegt.

Dieser Befund ist von hoher Bedeutung, da nach der 39. BImSchV vom 02.08.2010 Überschreitungen des Tagesmittelwerts für  $PM_{10}$ , die auf die Ausbringung von Streusand (Splitt) und -salz auf Straßen im Winterdienst zurückzuführen sind, bei der Luftreinhalteplanung nicht als Tagesgrenzwertüberschreitung zu werten sind. Somit kann der durch analytische Bestimmung der Feinstaubinhaltsstoffe ermittelte Streusalzanteil bei der Beurteilung der Einhaltung der Luftqualitätsgrenzwerte unberücksichtigt bleiben (§ 25 der 39. BImSchV). Dies kann die Anzahl der relevanten Überschreitungstage erheblich reduzieren. Im Jahr 2013 wurden an der LÜB-Messstation München / Landshuter Allee 39 Überschreitungen des  $PM_{10}$ -Tagesgrenzwertes registriert, von denen allerdings neun auf die Aufwirbelung von Streusalz zurückzuführen waren. Da diese Tage bei der Ermittlung von Überschreitungen von Immissionsgrenzwerten außer Ansatz bleiben, war der Grenzwert der 39. BImSchV (max. 35 ÜS-Tage) an der LÜB-Messstation München / Landshuter Allee im Jahr 2013 somit eingehalten.

Auch an vielen anderen im Rahmen dieses Projekts untersuchten LÜB-Messstationen wurden zum Teil sehr hohe Gehalte von Natrium und Chlorid im  $PM_{10}$  gemessen, die auf Aufwirbelung von Streusalz aus dem Winterdienst zurückzuführen sind. Entscheidende Parameter für das Auftreten erhöhter Anteile sind Fahrgeschwindigkeit, Durchschnittliche Tägliche Verkehrsstärke (DTV) und der Abstand des Probenahmeortes vom Fahrbahnrand. Der Einfluss des Abstandes vom Fahrbahnrand wurde an der LÜB-Messstation Würzburg / Stadtring Süd näher untersucht. Hierbei wurde festgestellt, dass bereits ein 15 m weiter vom Fahrbahnrand entfernter Standort im Winter 2010/2011 um 31 % niedrigere Konzentrationen von Natrium und Chlorid im  $PM_{10}$  und lediglich 29 statt 56 Tage mit Einfluss der Aufwirbelung von Streusalz auf die  $PM_{10}$ -Konzentration aufwies.

Die Ergebnisse der im Rahmen dieses Projekts durchgeführten umfangreichen Staubinhaltsstoffanalysen zeigen, dass an verkehrsorientierten Standorten ein hoher Anteil der Überschreitungen des  $PM_{10}$ -Tagesgrenzwertes durch die Aufwirbelung von Streusalz aus dem Winterdienst verursacht sein kann. Dies wurde mittlerweile durch in anderen Bundesländern (z. B. in Baden-Württemberg) durchgeführte Messprogramme bestätigt. Insofern erhält die in der EU-Luftqualitätsrichtlinie vorgesehene Möglichkeit, bei entsprechendem Nachweis, die auf Aufwirbelung von Streusalz zurückzuführenden Überschreitungen für die Luftreinhalteplanung unberücksichtigt zu lassen, eine große Bedeutung. Allerdings zeigte sich bei den Untersuchungen auch, dass die Anzahl auf Aufwirbelung von Streusalz zurückzuführender Überschreitungstage schwer zu prognostizieren ist. An der LÜB-Messstation Nürnberg/Von-der-Tann-Straße wurde 2011 eine und 2012 zwei Überschreitungen durch Aufwirbelung von Streusalz verursacht; im Jahr 2013 waren es dagegen zehn durch Aufwirbelung von Streusalz verursachte Überschreitungen des Tagesgrenzwertes für  $PM_{10}$ .

Für die Feinstaubinhaltsstoffe Calcium und Magnesium, die als Carbonate Hauptbestandteile des Streusplitts sind, lassen die Ergebnisse keine eindeutige Aussage zu, ob die Gehalte im Feinstaub aus im Winterdienst ausgebrachtem Splitt stammen. Calcium und Magnesium im  $PM_{10}$  sind zwar an verkehrsreichen Standorten gegenüber dem Hintergrund deutlich erhöht und liegen vorzugsweise in größeren Partikelfractionen vor, es ist jedoch kein klarer Jahrgang wie beim Natriumchlorid erkennbar. Zudem wird Splitt nicht auf Fahrbahnen, sondern lediglich auf Fuß- und Radwegen verwendet. Verschiedene Erkenntnisse aus diesem Projekt weisen darauf hin, dass es sich zumindest bei einem wesentlichen Teil der calcium- und magnesiumhaltigen Partikel im  $PM_{10}$  um aufgewirbelten Feinstaub, der nicht aus Winterdienst, sondern aus Fahrbahnabrieb oder anderen Quellen stammt, handelt. Eine Differenzierung zwischen Fahrbahnabrieb und Splitt mittels chemischer Analytik ist nicht möglich, weil es sich bei den für die Abstumpfung der Asphaltdeckschicht bzw. für den Einsatz als Streusplitt verwendeten Splitten letztlich um dasselbe Material handeln kann. Damit ist eine Quantifizierung der aus Aufwirbelung von Splitt aus dem Winterdienst stammenden Feinstaubanteile im Rahmen dieses Projekts nicht möglich.

Die vorliegenden Untersuchungen umfassten auch die Charakterisierung natürlicher Feinstaubaerosole mit dem Ziel der Differenzierung von anthropogenen Feinstaubanteilen. Zur Ermittlung des Beitrags natürlicher Quellen wurden Feinstaubproben verschiedener LÜB-Messstationen aus dem Zeitraum 14.04.2010 bis 23.04.2010, an denen ein Einfluss des Vulkans Eyjafjallajökull auf die bodennahen Feinstaubkonzentrationen vermutet wurde, auf ihre Elementzusammensetzung untersucht. Durch Vergleich der gemessenen Elementgehalte mit publizierten Werten der Vulkanasche, mit üblichen Elementzusammensetzungen an LÜB-Messstationen und mit Daten anderer Landesumweltbehörden (LUBW, LANUV) gelang der Nachweis, dass am 19.04.2010 und 20.04.2010 vom Eyjafjallajökull stammende Vulkanaschepartikel Einfluss auf bodennahes  $PM_{10}$  hatten und für Grenzwertüberschreitungen an einer Reihe von LÜB-Messstationen ursächlich waren. So waren im Jahr 2010 an mehreren LÜB-Messstationen ein bis zwei Überschreitungen des Tagesgrenzwertes für  $PM_{10}$  auf den Einfluss von Vulkanasche zurückzuführen.

# 1 Ausgangslage und Zielsetzung

Der Hauptanteil des in dichtbesiedelten Gebieten vorzufindenden Feinstaubes ist anthropogen verursacht. Wesentliche Quellen sind der Straßenverkehr, die Gebäudebeheizung, die Industrie, der übrige Verkehr, die Landwirtschaft und sonstige Quellen (Schüttgutumschlag, Bautätigkeit etc.) [1]. Aufgrund negativer gesundheitlicher Auswirkungen erhöhter Feinstaubkonzentrationen existiert seit dem 01.01.2005 ein europaweit gültiger Grenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Feinstaub  $\text{PM}_{10}$  im Jahresmittel sowie ein weiterer Grenzwert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Feinstaub  $\text{PM}_{10}$  im Tagesmittel (bei 35 erlaubten Überschreitungen dieses Tagesgrenzwertes). Auch an verschiedenen Messstationen des Lufthygienischen Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB) kam es in den Jahren nach Einführung dieser Grenzwerte, insbesondere 2005 und 2006, zu einer hohen Anzahl von Überschreitungen des Tagesgrenzwertes für  $\text{PM}_{10}$  [2].

Neben der Messung der Feinstaubkonzentrationen wurde am Bayerischen Landesamt für Umwelt gerade während Phasen hoher Feinstaubbelastungen immer wieder chemische Analytik von Feinstaubproben durchgeführt. Ziel dieser Staubinhaltsstoffanalysen war die Quellenzuordnung, um eine Ermittlung der Verursacher vornehmen zu können und für die zu erstellenden Luftreinhaltepläne gezielte Maßnahmen vorschlagen zu können. Die Analytik umfasste häufig die Untersuchung von EC („elemental carbon“) zur Bestimmung des Beitrags von Ruß aus Dieselfahrzeugen, die Elementanalytik, die z. B. zur Abschätzung des Beitrags von Bremsbelagabrieb dienen kann, sowie die Erfassung und Quantifizierung von Sulfaten und Nitraten, die aus den Vorläufersubstanzen Schwefeldioxid und Stickstoffoxiden sekundär gebildet werden. Die Bestimmung der Gehalte von Natrium und Chlorid im Feinstaub, die zur Ermittlung des Anteils an aufgewirbeltem Streusalz dienen können, sowie die Bestimmung der Gehalte von Calcium und Magnesium, die möglicherweise aus zerkleinertem Splitt stammen könnten, waren lediglich ein Nebenaspekt. Dennoch konnten hier bereits an einzelnen Belastungsschwerpunkten durch Winterdienst verursachte Anteile im Feinstaub erfasst und wichtige analytisch-methodische Erkenntnisse gewonnen werden [3]. Nach diesen Untersuchungen wurden besonders an stark verkehrsbelasteten Standorten mit einer hohen Anzahl von  $\text{PM}_{10}$ -Tagesgrenzwertüberschreitungen tageweise hohe, möglicherweise durch Winterdienst verursachte Anteile von Natrium, Chlorid und Calcium im  $\text{PM}_{10}$  festgestellt.

Eine erste zielgerichtete Messkampagne auf winterdienstspezifische Feinstaubinhaltsstoffe wurde im Januar 2008 an der LÜB-Messstation München-Landshuter Allee, einem „hot spot“ mit sehr hoher Verkehrsbelastung (ca. 130.000 Kfz/24 h), durchgeführt. Bei dieser Untersuchung wurden ebenfalls während einer Phase mit erhöhten Feinstaubkonzentrationen genommene Feinstaubproben analysiert. Die Staubinhaltsstoffanalysen ergaben an einzelnen Tagen hohe Anteile von Natrium und Chlorid (in der Summe bis zu  $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sowie von Calcium und Magnesium (umgerechnet auf Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) bzw. Magnesiumcarbonat ( $\text{MgCO}_3$ ) bis zu  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) [3]. Als mögliche Quelle der offensichtlich hohen lokalen  $\text{PM}_{10}$ -Zusatzbelastung an dieser LÜB-Messstation kam die Aufwirbelung von im Winterdienst ausgebrachtem Streusalz sowie von Streusplitt in Frage. Diese Zusatzbelastung entsprach im Maximum einem Feinstaubanteil von bis zu etwa 50 %, der an dieser LÜB-Messstation dem Anschein nach auf Winterdienst zurückgeführt werden könnte. Entsprechend deutlich kann sich dieser Anteil auf die Anzahl der  $\text{PM}_{10}$ -Tagesgrenzwertüberschreitungen auswirken.

Aus verschiedenen Forschungsprojekten, deren Zielsetzung die Unterscheidung zwischen Auspuffemissionen und Emissionen aus Abrieb und Aufwirbelung [4] bzw. die Quantifizierung des  $\text{PM}_{10}$ -Beitrags von Aufwirbelung und Abrieb waren [5], ist bekannt, dass Abrieb und Aufwirbelung einen wesentlichen Teil der gesamten primären  $\text{PM}_{10}$ -Emissionen des Straßenverkehrs darstellen. Ebenso ist bekannt, dass bei den mechanisch erzeugten Emissionen aus Abrieb und Aufwirbelung relativ grobe mineralische Partikel dominieren, während die Auspuffemissionen vorwiegend aus feinen ( $<200 \text{ nm}$ ) Partikeln aus Ruß und organischen Verbindungen bestehen [4], [6]. Dennoch war die Höhe der an der LÜB-Messstation München / Landshuter Allee im  $\text{PM}_{10}$  gemessenen Natriumchlorid-Konzentrationen

überraschend. Derartig hohe Beiträge an Natriumchlorid (NaCl) aus Aufwirbelung von im Winterdienst ausgebrachtem Streusalz waren nach unserer Kenntnis bis dato nicht publiziert worden.

Eine hohe Relevanz für die Luftreinhalteplanung erhält der Befund durch die EU-Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG [7] vom 21.05.2008, die mit der 39. BImSchV [8] vom 02.08.2010 in deutsches Recht umgesetzt wurde. Darin wird den Mitgliedstaaten die Möglichkeit eingeräumt, Überschreitungen des Tagesmittelwerts für PM<sub>10</sub>, die auf natürliche Quellen (§ 24) und die Ausbringung von Streusand (Splitt) und -salz auf Straßen im Winterdienst (§ 25) zurückzuführen sind, bei der Luftreinhalteplanung nicht als Tagesgrenzwertüberschreitung zu werten. Wenn also durch spurenanalytische Bestimmung der Feinstaubinhaltsstoffe für den jeweiligen Überschreitungstag der Gehalt an Natriumchlorid (bzw. CaCO<sub>3</sub> und MgCO<sub>3</sub>) im Feinstaub quantifiziert werden kann und belegt werden kann, dass es sich bei einem für die Grenzwertüberschreitung relevanten Anteil des Feinstaubs um die Aufwirbelung von im Winterdienst ausgebrachtem Streusand (Splitt) und -salz auf Straßen handelt, dann liegt am betreffenden Tag keine Tagesgrenzwertüberschreitung vor. Die Ermittlung der durch natürliche Quellen sowie Winterdienst verursachten Feinstaubanteile ist daher insbesondere an belasteten Standorten, die möglicherweise an mehr als den zulässigen 35 Tagen den Tagesgrenzwert von 50 µg/m<sup>3</sup> für PM<sub>10</sub> überschreiten, von hohem Interesse, da unter Umständen auf die Erstellung bzw. Fortschreibung gebietsbezogener Luftreinhalte-/Aktionspläne verzichtet werden kann.

Zur systematischen Klärung der Ursache erhöhter Gehalte an Natriumchlorid bzw. CaCO<sub>3</sub> und MgCO<sub>3</sub> im Feinstaub PM<sub>10</sub> wurde daher das vorliegende Forschungsprojekt: „Feinstaubinhaltsstoffe: Quantifizierung der Anteile von Streusalz und Straßensplitt im PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>“ bearbeitet. In diesem Projekt sollten die Untersuchungen auf eine Reihe weiterer LÜB-Messstationen unterschiedlicher Stationscharakteristik ausgedehnt und längerfristig angelegt werden. Die Gehalte von möglicherweise winterdienstspezifischen Parametern Natrium, Chlorid, Calcium, Magnesium im PM<sub>10</sub> sollten an allen LÜB-Messstationen über die gesamten Wintermonate von November bis einschließlich März erfasst werden. Eine Auswertung dieser Ergebnisse in Abhängigkeit von Parametern wie Temperatur, Verkehrsstärke (DTV), Fahrgeschwindigkeit, Abstand der Station vom Fahrbahnrand, ausgebrachter Streumittelart und -menge sollte belastbare Rückschlüsse auf die Quelle (Aufwirbelung) erlauben. Analysen der von den jeweiligen Straßenmeistereien verwendeten Streumittel sollten zusätzliche Hinweise liefern. In einem zweiten Projektschritt sollte an ausgewählten Standorten der Streusalz/Splittanteil in unterschiedlichen Partikelgrößenfraktionen (PM<sub>10</sub> / PM<sub>2.5</sub>) erfasst werden. Dazu sollten konkret folgende Arbeitsschritte durchgeführt und Fragestellungen bearbeitet werden:

- Analyse von im Nahbereich vielbefahrener Straßen genommener Feinstaubproben auf Parameter, die für Streusalz und Straßensplitt spezifisch sind
- Bestimmung der Anteile von aufgewirbeltem Streusalz und Straßensplitt an der Feinstaubfraktion PM<sub>10</sub> sowie an ausgewählten Standorten in der Feinstaubfraktion PM<sub>2.5</sub>
- Ermittlung der Abhängigkeit der Streusalz- bzw. Splittanteile von standortspezifischen Parametern wie Temperatur, Fahrzeugdichte, Fahrgeschwindigkeit, Abstand der Station vom Fahrbahnrand, ausgebrachter Streumittelart und -menge
- Erstellung eines „Wahrscheinlichkeitsprofils“ für streusalz- und splittbedingte Überschreitungen in Abhängigkeit der Standortcharakteristik der LÜB-Messstation und Übertragung auf andere betroffene Standorte
- Prognose, an welchen LÜB-Stationen entsprechende Überschreitungen auftreten können
- Charakterisierung der Feinstaubpartikel an ausgewählten Proben mit dem Ziel der Unterscheidung natürlicher Aerosole (z.B. Saharastaub) von anthropogenen Feinstaubkomponenten



## 2 Probenahme und Analytik

### 2.1 Probenahme, Probenahmeorte und Zeiträume

Bei der Aufwirbelung von Streusalz und Splitt ist von stark variierenden Beiträgen mit lokaler Prägung auszugehen, die mit steigender Entfernung zum Fahrbahnrand rasch abnehmen. Aufgrund dieser räumlichen und zeitlichen Variabilität ist eine Vielzahl an Probenahmen und systematisch erhobener Staubinhaltsstoffdaten erforderlich, um die Anteile am Feinstaub zu ermitteln.

Die Probenahme in der Außenluft erfolgt in Anlehnung an die Norm DIN EN 12341 Außenluft – Gravimetrisches Standardmessverfahren für die Bestimmung der PM<sub>10</sub> oder PM<sub>2,5</sub>-Massenkonzentration des Schwebstaubes vom August 2014. Diese Norm beschreibt ein Standardmessverfahren zur Bestimmung der PM<sub>10</sub>- oder PM<sub>2,5</sub>-Massenkonzentration von Schwebstaub in der Außenluft durch Probenahme des Staubes auf Filtern und anschließender Wägung der Filter, das im LfU zur Anwendung kommt. Hierzu wird an den ausgewählten Messstandorten Außenluft mit einem bekannten, konstanten Volumenstrom durch einen gröÙenselektiven Probeneinlass geführt. Die Staubfraktion wird über eine Dauer von 24 h (Beprobungszeitraum) gesammelt. Die dabei auf dem Filter abgeschiedene Staubmasse  $c$  wird durch Wägung als Differenz zwischen Leerfilter ( $m_1$ ) und beprobtem Filter ( $m_2$ ) ermittelt. Anschließend kann die PM<sub>2,5</sub>- oder PM<sub>10</sub>-Massenkonzentration des beprobten Quarzfaserfilters  $c_V$  nach folgender Formel berechnet werden:

$$c_V = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

Hierbei ist  $V$  das Probeluftvolumen, welches während des Beprobungszeitraumes durch den Filter gesaugt wurde.

Im LÜB werden für alle gravimetrischen Messungen Quarzfaserfilter verwendet, ebenso auch in diesem Projekt. Die gravimetrische Bestimmung der PM<sub>2,5</sub>- und PM<sub>10</sub>-Massenkonzentration führte im Untersuchungszeitraum von 2009 bis 2016 zu mehr als 32.500 Wägungen von Quarzfaserfiltern. Sämtliche im Zusammenhang mit der Gravimetrie durchzuführenden Arbeitsschritte sowie die Qualitätssicherungsmaßnahmen sind in einer entsprechenden Arbeitsbeschreibung in Anlage 2 hinterlegt.

Die Probenahmen erfolgten an ausgewählten Messstationen des Lufthygienischen Landesüberwachungssystems Bayern sowie teilweise an zusätzlichen, temporären Messorten.

Dabei wurden zur Quellenzuordnung und Quantifizierung der durch Winterdienst verursachten Anteile am Feinstaub verkehrsnah Standorte beprobt, die

- sich in unmittelbarer Nähe (Fahrbahnrand) vielbefahrener Straßen befinden,
- aufgrund ihrer Lage relativ hohe Fahrzeuggeschwindigkeiten und damit verstärkte Aufwirbelung erwarten lassen

und/oder die

- eine hohe Anzahl von Überschreitungen des PM<sub>10</sub>-Tagesgrenzwerts von 50 µg/m<sup>3</sup> aufweisen.

Zusätzlich wurden Feinstaubproben an der LÜB-Messstation Tiefenbach/Altenschneeberg genommen, die als Hintergrundstandort diente, an dem ein durch Winterdienst verursachter nennenswerter

Feinstaubanteil nicht möglich ist. Dadurch sollte auch der (unwahrscheinliche) Fall überprüft werden, ob relevante Seesalzanteile in Bayern zu erwarten sind.

Zur Quellenzuordnung und Quantifizierung der durch den Winterdienst verursachten Anteile am Feinstaub wurde eine Vielzahl von Probenahmen durchgeführt. Eine Übersicht der untersuchten Standorte gibt Tab. 1. An allen aufgeführten Probenahmestandorten wurden Quarzfaserfilter für die Feinstaubprobenahme exponiert und die Feinstaubkonzentration ermittelt, um eine Bestimmung der prozentualen Anteile der analytisch bestimmten Feinstaubinhaltsstoffe zu ermöglichen.

Zur Charakterisierung des Anteils natürlicher Aerosole am Feinstaub ( $PM_{10}$ ) wurden wegen des Ausbruchs des isländischen Vulkans Eyjafjallajökull im April 2010 an den in Tab. 2 aufgeführten Standorten Feinstaubproben genommen und auf ihre Elementzusammensetzung analysiert, um einen Beitrag von Vulkanasche zum bodennahen Feinstaub zu untersuchen.

Für die im Projekt untersuchten LÜB-Messstationen ist die Dokumentation mit Angaben zum Standort, den gemessenen Luftschadstoffen und meteorologischen Parametern, einem Stationsfoto und der Flurkarte in Anlage 1 zu finden.

Tab. 1: Auflistung aller auf Streusalz im Projekt untersuchten LÜB-Messstationen bzw. Standorte.

Name der LÜB-Messstation bzw. des Standortes	Lokaler LÜB-Code	EU LÜB-Code	Bezeichnung im Projektbericht
Messstation München / Landshuter Allee	L14.4	DEBY115	MÜLA
Messstation München / Landshuter Allee Stationsverschiebung*			MÜLASTV
Messstation Augsburg / Königsplatz	L7.1	DEBY006	AUKÖ
Messstation Augsburg / Karlstraße	L14.1	DEBY110	AUKA
Messstation Würzburg / Stadtring Süd	L14.5	DEBY119	WBSS
Würzburg Stadtring Süd 15 m**			WBSS-15m
Messstation Würzburg / Kardinal-Faulhaber-Platz	L6.4	DEBY076	WBKA
Messstation Oberaudorf / Inntalautobahn	L14.8	DEBY121	OBIA
Messstation Tiefenbach / Altenschneeberg	L3.6	DEBY072	TBAL
Messstation München / Stachus	L8.1	DEBY037	MÜST
Messstation Nürnberg / Von-der-Tann-Straße	L14.7	DEBY120	NÜVDT
Messstation Landshut / Podewilsstraße	L2.3	DEBY033	LAPO
Messstation Burghausen / Marktler Straße	L1.2	DEBY012	BUMA
Messstation Kelheim / Regensburger Straße	L2.1	DEBY028	KERE
Messstation Kulmbach / Konrad-Adenauer Straße	L4.8	DEBY032	KUKO
Messstation Lindau (Bodensee) / Holderegggenstraße	L7.4	DEBY035	LIHO
Messstation Passau / Stelzhamerstraße	L2.12	DEBY118	PAST
Messstation Regensburg / Rathaus***	L3.1	DEBY063	RERA
Messstation Ansbach / Residenzstraße	L5.12	DEBY001	ANRE
Karlsfeld / Münchner Straße****			KAMÜ
Trostberg / "Engstelle" Am Vormarkt*****			TR
München-Freimann / ADSB*****			MÜFR

\*München / Landshuter Allee Stationsverschiebung: Aufgrund einer geplanten und zwischenzeitlich durchgeführten Verschiebung der Messstation München/Landshuter Allee um ca. 12 m nach Süden wurde an diesem Messort zeitweise ein PM<sub>10</sub>-Sammler betrieben.

\*\*Würzburg Stadtring Süd 15 m: PM<sub>10</sub>-Messung in einer Entfernung von 15 m zur Messstation WBSS. Die Probenahmen dienen der Ermittlung des Einflusses der Entfernung vom Fahrbahnrand auf die Feinstaubzusammensetzung.

\*\*\*Die Messstation Regensburg / Rathaus wurde am 11.03.2015 vom Schwanenplatz um ca. 420 m nach Süden in die D.-Martin-Luther-Straße versetzt.

\*\*\*\*Karlsfeld / Münchner Straße: PM<sub>10</sub>-Messung in Karlsfeld, Münchner Straße 218, mit Staubinhaltsstoffanalytik auf winterdienstspezifische Komponenten.

\*\*\*\*\*Trostberg / "Engstelle" Am Vormarkt: PM<sub>10</sub>-Messung in Trostberg, Am Vormarkt 46 mit Staubinhaltsstoffanalytik auf winterdienstspezifische Komponenten.

\*\*\*\*\*München-Freimann / ADSB: PM<sub>10</sub>-Messung an der Autobahn A9 auf dem Gelände der Autobahndirektion Südbayern, Heidemannstraße 219, München, mit Staubinhaltsstoffanalytik auf winterdienstspezifische Komponenten.

Tab. 2: LÜB-Messstationen, an denen Probenahmen zur Charakterisierung natürlicher Feinstaubanteile (Vulkanasche) erfolgten.

LÜB-Messstation	Stationskürzel	Probenahmen	
		von	bis
Andechs/Rothenfeld	ADRO	14.04.2010	23.04.2010
Augsburg/LfU	AUBÜ	14.04.2010	23.04.2010
Augsburg/Königsplatz	AUKÖ	14.04.2010	23.04.2010
Augsburg/Karlstraße	AUKA	14.04.2010	23.04.2010
München/Landshuter Allee	MÜLA	14.04.2010	23.04.2010
Oberaudorf/Inntalautobahn	OBIA	14.04.2010	23.04.2010
Tiefenbach/Altenschneeberg	TBAL	14.04.2010	23.04.2010

## 2.2 Analytik von Feinstaubinhaltsstoffen und Streumitteln

Die zur Analytik der Feinstaubproben verwendeten Verfahren waren bereits vor Projektbeginn am LfU etabliert. Im Wesentlichen wurden zwei Analysenmethoden eingesetzt:

### 2.2.1 Bestimmung löslicher Feinstaubinhaltsstoffe

Die Bestimmung löslicher Feinstaubinhaltsstoffe erfolgte in Anlehnung an das in CEN/TR 16269 [9] beschriebene Verfahren. Dazu wurden die auf Quarzfaserfiltern gesammelten Feinstaubproben im Labor durch Vierteln oder Ausstanzen aliquotiert. Diese Aliquote wurden jeweils mit einer definierten Menge Reinstwasser versetzt und durch Schütteln und anschließende Behandlung im Ultraschallbad eluiert. Das Eluat wurde nach Zentrifugation und ggf. Filtration mittels Ionenchromatographie (IC) auf die Staubinhaltsstoffe Natrium, Chlorid, Calcium und Magnesium untersucht. Im Rahmen dieser Analytik wurden auch Daten zu weiteren löslichen Staubinhaltsstoffen (Ammonium, Sulfat, Nitrat) erhoben. Mit dem Verfahren werden alle löslichen Bestandteile und damit auch mögliche abzugsfähige Feinstaubanteile natürlicher Quellen, wie z. B. Seesalz erfasst.

Zwischen Januar 2009 und März 2016 wurden über 11.000 Feinstaubproben (PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub>) genommen und auf lösliche Analyten untersucht. In Abb. 1 und Abb. 2 sind die im Verlauf des Projektes untersuchten Feinstaubproben (PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub>) zusammengestellt. Neben der Bestimmung von Feinstaubinhaltsstoffen wurden auch die von den jeweiligen Straßenmeistereien eingesetzten Streumittel stichprobenartig auf ihre Zusammensetzung analysiert.

### 2.2.2 Elementanalytik von Feinstaubproben

Einige Feinstaubproben wurden ergänzend mit dem Analysenverfahren gemäß DIN EN 14902 [10], das am LfU zur Bestimmung von Pb, Cd, As, Ni in Feinstaubproben gemäß 1. und 4. Tochterrichtlinie zur EU-Luftqualitätsrahmenrichtlinie etabliert ist, untersucht. Neben den in der Norm explizit genannten Elementen lässt sich eine Reihe weiterer Elemente bestimmen [11]. Damit sollte u.a. auch überprüft werden, ob die oben beschriebene Methode gemäß CEN/TR 16269 im Rahmen dieses Projektes für die Bestimmung von Calcium und Magnesium eingesetzt werden kann, oder ob wegen der geringeren Löslichkeit dieser Bestandteile ein (erheblich aufwändigerer) Säureaufschluss wie nachfolgend beschrieben erforderlich ist. Bei der Bestimmung gemäß DIN EN 14902 wird ein Filteraliquot zunächst einem Mikrowellendruckaufschluss mit einem oxidierenden Säuregemisch unterzogen. Die Aufschlusslösung wird verdünnt und nach Zugabe der internen Standards Rhodium und Lutetium mittels ICP-MS (inductively coupled plasma – mass spectrometry) auf ihre Elementzusammensetzung untersucht. Das zur Messung eingesetzte ICP-MS (7500 cx, Fa. Agilent) ist mit einer heliumbetriebenen

Kollisionszelle zur Minimierung polyatomarer Interferenzen ausgestattet. Das Gerät wurde arbeitstäg- lich mit Hilfe von Multielementlösungen kalibriert und durch Messung von Kontrollstandards überprüft. Im Projekt wurden ca. 60 Feinstaubproben im Rahmen von Vergleichsmessungen zwischen Ionen- chromatographie und ICP-MS sowie ca. 80 Feinstaubproben zum Nachweis des Vulkanascheeintrags mit diesem Verfahren auf ihre Elementgehalte untersucht.

PM10	2009												2010												2011												2012												2013												2014												2015												2016											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MÜLA																																																																																																
MÜLASTV																																																																																																
AUKÖ																																																																																																
ALKA																																																																																																
WBSS																																																																																																
OBIA																																																																																																
TBAL																																																																																																
WBKA																																																																																																
WBSS 15m																																																																																																
MÜST																																																																																																
NÜVDT																																																																																																
LAPO																																																																																																
BUMA																																																																																																
KERE																																																																																																
KUKO																																																																																																
LIHO																																																																																																
PAST																																																																																																
RERA																																																																																																
ANRE																																																																																																
KAMU																																																																																																
TR																																																																																																
MÜFR																																																																																																

Abb. 1: Übersicht der PM<sub>10</sub>-Probenahmen zur Erfassung der durch Winterdienst verursachten Anteile.

PM2.5	2009												2010												2011												2012												2013												2014												2015												2016											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12												
MÜLA																																																																																																
OBIA																																																																																																

Abb. 2: Übersicht der PM<sub>2.5</sub>-Probenahmen zur Erfassung der durch Winterdienst verursachten Anteile.

**2.2.3 Blindwerte und Bestimmungsgrenzen**

Für die spurenanalytische Bestimmung von Feinstaubinhaltsstoffen sind möglichst niedrige und gleichmäßige Verfahrensblindwerte erforderlich, um die zur Bearbeitung der Fragestellungen erforderlichen niedrigen Bestimmungsgrenzen sowie eine gute Reproduzierbarkeit erreichen zu können. Da die Verfahrensblindwerte maßgeblich durch die Qualität der für die Feinstaubprobenahmen verwendeten Quarzfaserfilter bestimmt werden, wurde vor Projektbeginn nach Voruntersuchung von Filterchargen verschiedener Hersteller eine größere Anzahl von Quarzfaserfiltern einer Produktionscharge bezogen, die für alle Probenahmen im Rahmen dieses Projekts verwendet wurden. Damit werden gleichbleibende und ausreichend niedrige Bestimmungsgrenzen über die gesamte Projektlaufzeit gewährleistet.

Diese Verfahrensblindwerte wurden im Projektverlauf ständig überprüft. Daraus ergeben sich die in Tab. 3 aufgeführten Bestimmungsgrenzen der einzelnen Parameter.

Parameter	Bestimmungsgrenze [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Natrium	0,2
Chlorid	0,2
Calcium	0,2
Magnesium	0,1

Tab. 3:  
Bestimmungsgrenzen für die Analytik von Staubinhaltsstoffen mittels wässriger Elution und Ionenchromatographie.

#### 2.2.4 Qualitätssicherung

Die chemische Analytik der Staubinhaltsstoffe erfolgte in Laboratorien des Bayerischen Landesamtes für Umwelt, in denen ein Qualitätssicherungssystem etabliert ist, das den Anforderungen der internationalen Norm "DIN EN ISO/IEC 17025 für Prüflaboratorien" entspricht. Die verwendeten Untersuchungsverfahren sind in standardisierten Arbeitsanweisungen (SOPs) beschrieben. Dies gewährleistet, dass ein hohes Maß an Reproduzierbarkeit der Analytik eingehalten wird. Alle Analyseergebnisse sowie die zugehörigen Kalibrations- und Qualitätskontrolldaten werden bis auf die Ebene der Rohdaten dokumentiert. Zur arbeitstäglichen Überprüfung des Messgerätes auf einwandfreie Funktion und valide Kalibration wird in jeder Messserie mehrfach ein unabhängig von den Kalibrationsstandards angesetzter Qualitätskontrollstandard gemessen. Die Ergebnisse dieser Messungen werden mit Hilfe von Kontrollkarten ausgewertet und dokumentiert. Das Labor nimmt, sofern verfügbar, für alle Untersuchungsverfahren an Ringversuchen und Vergleichsuntersuchungen teil.

Zur analytischen Qualitätssicherung der Staubinhaltsstoffanalytik wurde eine Vergleichsuntersuchung mit dem Labor für Luft- und Sonderanalytik der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (LUBW), Karlsruhe durchgeführt. Dabei wurden ausgewählte reale Feinstaubproben (d. h. Quarzfaserfilter, auf denen Feinstaub  $\text{PM}_{10}$  gesammelt wurde) aliquotiert und von beiden Laboratorien mit den jeweils verfügbaren Analyseverfahren unabhängig voneinander analysiert. Die Ergebnisse der Vergleichsuntersuchung finden sich in Tab. 4 und Tab. 5. Insgesamt ergibt sich trotz der z. T. sehr niedrigen Gehalte eine akzeptable Übereinstimmung.

Tab. 4: Ergebnisse der Vergleichsmessung für die Parameter Chlorid und Natrium.

Parameter	Chlorid		Natrium			
	[µg/m³]	LfU-IC	LUBW-IC	LfU-IC	LUBW-IC	LUBW-OES
AUKA10/069		3,94	3,36	2,39	1,82	2,19
AUKA10/070		0,95	0,82	0,75	0,53	0,70
AUKA10/071		1,68	1,38	1,15	0,93	1,13
AUKA10/072		2,04	2,59	1,47	1,33	1,47
WBSS10/046		2,36	3,31	1,70	1,61	2,10
WBSS10/047		2,76	2,57	2,02	1,92	2,00
WBSS10/048		11,1	10,2	7,12	6,91	6,69
WBSS10/049		1,36	1,35	1,12	1,03	1,14
WBSS10/050		0,92	0,96	0,77	0,83	0,85
OBIA10/031		2,44	2,05	1,63	1,82	1,49
OBIA10/032		6,82	6,48	4,41	4,54	4,43
OBIA10/033		5,35	5,26	3,45	3,31	3,23
OBIA10/034		4,27	4,01	2,57	2,53	2,56
SSTR210410A		0,13	0,11	0,50	0,52	0,52
SSTR270410A		0,064	0,046	0,34	0,36	0,36
SSTR290410A		0,097	0,071	0,20	0,20	0,19

IC: Ionenchromatografie; OES: Optische Emissionsspektrometrie

Tab. 5: Ergebnisse der Vergleichsmessung für die Parameter Calcium und Magnesium.

Parameter	Calcium			Magnesium			
	[µg/m³]	LfU-IC	LUBW-IC	LUBW-OES	LfU-IC	LUBW-IC	LUBW-OES
AUKA10/069		2,82	2,52	2,62	0,29	0,17	0,17
AUKA10/070		0,43	0,43	0,42	0,11	0,098	0,083
AUKA10/071		0,99	0,94	0,91	0,18	0,17	0,15
AUKA10/072		2,00	1,92	1,92	0,32	0,26	0,24
WBSS10/046		0,17	0,21	0,22	0,039	0,041	0,033
WBSS10/047		0,25	0,26	0,30	0,045	0,045	0,034
WBSS10/048		0,68	0,70	0,70	0,073	0,081	0,067
WBSS10/049		0,29	0,28	0,29	0,038	0,038	0,026
WBSS10/050		0,21	0,22	0,24	0,039	0,038	0,026
OBIA10/031		0,13	0,12	0,14	0,049	0,035	0,029
OBIA10/032		0,20	0,25	0,26	0,050	0,045	0,043
OBIA10/033		0,29	0,28	0,29	0,058	0,055	0,046
OBIA10/034		0,24	0,23	0,25	0,051	0,048	0,036
SSTR210410A		0,79	0,85	0,78	0,115	0,122	0,118
SSTR270410A		0,81	0,80	0,78	0,093	0,094	0,093
SSTR290410A		1,48	1,38	1,28	0,089	0,069	0,065

IC: Ionenchromatografie; OES: Optische Emissionsspektrometrie

### 3 Plausibilisierung und Auswertung

#### 3.1 Informationen zum Einsatz von Streumitteln im Winterdienst

Informationen zu Art und Umfang der Streumittleinsätze im Umfeld der Messstationen wurden bei den zuständigen Straßenmeistereien abgefragt und zur Plausibilisierung und Bewertung der Analysergebnisse herangezogen (siehe Tab. 6). Für die Bewertung der Entstehung von Feinstaub aus im Winterdienst ausgebrachten Streumitteln ist insbesondere relevant, dass auf den Fahrbahnen häufig Feuchtsalzausbringung erfolgt. Dabei wird festes NaCl direkt bei der Ausbringung mit einer 10-25 %igen Sole, die aus in Wasser gelöstem NaCl, MgCl<sub>2</sub> oder CaCl<sub>2</sub> besteht, vermischt. Das Mischungsverhältnis Feststoff zu Sole beträgt 70:30 (FS 30). Damit sind bei Aufwirbelung von Streumitteln, welche im Winterdienst auf Fahrbahnen aufgebracht wurden, als Hauptkomponenten Natrium und Chlorid zu erwarten.

Tab. 6: Im Winterdienst auf den Fahrbahnen verwendete Streumittel.

Winterdienst	Salz	Sole	Konzentration der Sole	Feststoff/Sole bei Ausbringung	auf die Fahrbahn ausgebrachtes Verhältnis	
					Na/Mg bzw. Na/Ca	NaCl/Mg bzw. NaCl/Ca
München	NaCl	NaCl	60%	70/30 (FS 30)	nur NaCl	nur NaCl
Augsburg	NaCl	MgCl <sub>2</sub>	8.5% - 15%	70/30 (FS 30)	Na/Mg ~ 17:1	NaCl/Mg ~ 43:1
Würzburg	NaCl	NaCl	k.A.	70/30 (FS 30)	nur NaCl	nur NaCl
Nürnberg	NaCl	CaCl <sub>2</sub>	23%	70/30 (FS 30)	Na/Ca ~ 8:1	NaCl/Ca ~ 20:1
Regensburg	NaCl	NaCl	ca. 20%	nur festes Salz oder nur NaCl-Sole	nur NaCl	nur NaCl
Passau	NaCl	NaCl	ca. 50%	70/30 (FS 30)	nur NaCl	nur NaCl
Burghausen	NaCl			nur festes Salz	nur NaCl	nur NaCl
Kelheim	NaCl			nur festes Salz	nur NaCl	nur NaCl
Lindau	NaCl			nur festes Salz	nur NaCl	nur NaCl
Oberaudorf	NaCl	CaCl <sub>2</sub>	22-24%	70/30 (FS 30)	Na/Ca ~ 8:1	NaCl/Ca ~ 20:1

FS30: Mischungsverhältnis Feststoff zu Sole 70:30

Nebenbestandteile der Feuchtsalzstreuung wie Magnesium oder Calcium erreichen max. einen Massenanteil von ca. 5 % bezogen auf die Menge an ausgebrachtem NaCl (siehe Tab. 6). Daher ist trotz der unterschiedlichen Solelösungen bei der Feuchtsalzstreuung mengenmäßig ausschließlich der Natrium- und Chloridanteil relevant. Es ist anzunehmen, dass die von einigen Straßenmeistereien verwendete MgCl<sub>2</sub>- bzw. CaCl<sub>2</sub>-Sole bei Aufwirbelung von der Fahrbahn nur vergleichsweise geringe Anteile von Magnesium bzw. Calcium im Feinstaub verursacht.

Splitt, der in Bayern hauptsächlich aus Calcium- und Magnesiumcarbonat besteht, wird nach Aussage mehrerer Straßenmeistereien lediglich auf Fuß- und Radwegen eingesetzt, nicht auf Fahrbahnen. Kommunale Winterdienstaktivitäten werden mit einem Fahrtenbuch bzw. Betriebstagebuch dokumentiert. Somit ist es möglich, den Zeitpunkt der Streusalzausbringung in die Auswertung und Plausibilisierung der Ergebnisse einzubeziehen.



### 3.2 Kriterien für das Erkennen von Winterdiensteeinflüssen auf die Feinstaubkonzentration

Im vorliegenden Projekt war zunächst grundlegend zu klären, ob mengenmäßig relevante Anteile des Feinstaubes auf die Ausbringung von Streusalz und -splitt im Winterdienst zurückzuführen sind. Als dafür in Frage kommende Staubinhaltsstoffe wurden Natrium und Chlorid (aus Streusalz) sowie Calcium und Magnesium (Abrieb von Splitt, Bestandteil von bei der Feuchtsalzzstreueung verwendeten Solelösungen) betrachtet. Für die Entscheidung, ob Staubinhaltsstoffe der Quelle „Winterdienst“ zuzuordnen sind, wurden folgende Kriterien herangezogen:

- Durch Winterdienst verursachte Feinstaubkomponenten weisen einen Jahresgang, d. h. im Winter höhere Absolutgehalte als im Sommer, auf.
- An verkehrsreichen Straßen mit starker Fahrbahnstreuung werden höhere Werte als an verkehrsarmen Straßen gemessen.
- Da die Aufwirbelung mechanisch zerkleinerter Feststoffe (durch Reifenkontakt zerriebenes Streusalz auf der Fahrbahnoberfläche) überwiegend grobe Partikel erzeugt [4], sind durch Winterdienst erzeugte Komponenten überproportional in der „größeren“ Partikelfraktion zwischen  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$  vertreten. Daher unterscheiden sich die Absolutgehalte entsprechender Komponenten im  $PM_{10}$  und im  $PM_{2,5}$  deutlich.
- Das Molverhältnis zwischen der ermittelten Natrium- und Chlorid-Konzentration muss zwischen 0,66 und 1,5 liegen (Verhältnis in reinem Natriumchlorid ist 1,0), um auszuschließen, dass relevante Natrium- oder Chlorideinträge aus anderen Quellen (z. B. Mineralien aus Erdkrustenmaterial) das Ergebnis verfälschen und zu hohe Streusalzgehalte vortäuschen.
- Nach Prüfung der Informationen über Art und Zeitpunkt des Streumittleinsatzes durch Winterdienst ist das Auftreten der Komponenten im Feinstaub plausibel.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden im Kapitel 4.1 vorgestellt.

### 3.3 Ermittlung des Anteils von aufgewirbeltem Streusalz im $PM_{10}$

Nachdem durch die im Rahmen des vorliegenden Projektes durchgeführten systematischen Untersuchungen Erkenntnisse zu Jahresgängen (siehe 4.1.1), zu Natrium- und Chloridgehalten im  $PM_{10}$  an verschiedenen Messstationen und zu Vergleichen von Natrium und Chlorid im  $PM_{10}$  und  $PM_{2,5}$  (siehe 4.1.2) vorlagen, die eindeutig ergaben, dass die erhöhten Gehalte von Natrium und Chlorid im  $PM_{10}$  aus Aufwirbelung von im Winterdienst ausgebrachtem Streusalz stammen, wurde für die weitere Auswertung der Daten (Quantifizierung der Anteile) folgende Vorgehensweise erarbeitet:

- Signifikanzschwelle für die Summe Natrium und Chlorid  
Im ersten Schritt wird eine Signifikanzschwelle von  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für die Summe der Staubinhaltsstoffe Natrium und Chlorid gewählt. Das bedeutet, dass, unabhängig von den niedrigeren Bestimmungsgrenzen der Staubinhaltsstoffanalytik, alle Tage, an denen diese Summe weniger als  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  beträgt, im Hinblick auf Streusalzeinfluss durch Winterdienst als nicht relevant erachtet werden.
- Plausibilitätsbereich für das Verhältnis Natrium zu Chlorid  
Im zweiten Schritt wird ein „Plausibilitätsbereich“ für das Verhältnis Natrium zu Chlorid von 1:1 von  $\pm 50\%$  gewählt. Konkret bedeutet dies, dass das gemessene Verhältnis Natrium zu Chlorid zwischen 0,66 und 1,5 liegen muss, damit in der Feinstaubprobe enthaltenes Natrium und

Chlorid als Aufwirbelung von Streusalz aus dem Winterdienst beurteilt wird. Dies hat zur Folge, dass Tage mit deutlichem Überschuss einer der beiden Komponenten nicht als maßgeblich durch Streusalz beeinflusst interpretiert werden (Beispiel Neujahrstag: Überschuss von Chlorid im  $PM_{10}$  durch Verwendung chloridhaltiger Salze wie  $SrCl_2$ ,  $BaCl_2$  etc. für das Feuerwerk).

- Ermittlung der  $PM_{10}$ -Überschreitungstage

Zur Ermittlung der Anzahl der Überschreitungen des  $PM_{10}$ -Tagesgrenzwerts, die auf den Einsatz von Streusalz im Winterdienst zurückzuführen sind, wird in einem dritten Schritt das nach Schritt 2 erhaltene NaCl (Summe von Natrium und Chlorid nach Plausibilisierung) von den  $PM_{10}$ -Tagesmittelwerten subtrahiert und anschließend die Differenz der Überschreitungstage mit und ohne NaCl-Abzug errechnet.

- Plausibilisierung des Streumitelesinsatzes

In einem vierten Schritt wird nun für diejenigen Tage, an denen Überschreitungen außer Ansatz bleiben, geprüft, ob Aufwirbelung von Streusalz aus dem Winterdienst tatsächlich als plausible Quelle in Frage kommt. Hierzu werden Informationen über den Zeitpunkt der Streumitelesätze bei der zuständigen Straßenmeisterei abgefragt.

Im Jahr 2011 wurde durch die EU-Kommission ein Leitfaden zum Nachweis von Emissionsbeiträgen durch Aufwirbelung von Streusand oder -salz auf Straßen im Winterdienst veröffentlicht [12]. In Kapitel 4.2.2 dieses Leitfadens wird für die Ermittlung des Anteils von aufgewirbeltem Streusalz am Feinstaub die Durchführung chemischer Analytik zur Ermittlung der Konzentration von Chlorid im Feinstaub empfohlen. Diese Chloridkonzentration soll dann über die molaren Massen von Chlor ( $M=35,5$  g/mol) sowie Natriumchlorid ( $M=58,5$  g/mol) in den NaCl-Anteil im  $PM_{10}$  umgerechnet werden. Dazu wird die analytisch bestimmte Konzentration von Chlorid im  $PM_{10}$  mit dem Faktor  $(58,5/35,5) = 1,65$  multipliziert. Diese Konzentration an Natriumchlorid im  $PM_{10}$  wird dann von den  $PM_{10}$ -Tagesmittelwerten abgezogen, um bezüglich der Aufwirbelung von Streusalz korrigierte  $PM_{10}$ -Tagesmittelwerte zu erhalten.

Die bereits zuvor im Rahmen des Projektes erarbeitete Berechnungsmethode für durch Aufwirbelung von Streusalz verursachte Tagesgrenzwertüberschreitungen wurde mit der im EU-Leitfaden [12] vorgeschlagenen Berechnungsmethode an allen relevanten Tagen verglichen (siehe Kapitel 5). Dabei ist allerdings zu beachten, dass am 01.01. eines Jahres durch das Silvesterfeuerwerk häufig ungewöhnlich hohe Konzentrationen von Chlorid im Feinstaub auftreten. Diese Konzentrationen von Chlorid sind an diesen Tagen nicht als maßgeblich durch Streusalz beeinflusst anzusehen. Daher kann bei am ersten Januar genommenen Feinstaubproben die im EU-Leitfaden beschriebene Vorgehensweise nicht bzw. nicht ungeprüft angewendet werden. Abgesehen davon ergibt der Vergleich beider Berechnungsmethoden (Kapitel 5) sehr ähnliche Ergebnisse.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Einfluss von Streusalz aus dem Winterdienst auf PM<sub>10</sub>

#### 4.1.1 Jahrgänge der Komponenten Natrium und Chlorid

Um die Jahrgänge von Natrium und Chlorid zu untersuchen, erfolgten an drei LÜB-Messstationen (siehe Tab. 7) Probenahmen und Staubinhaltsstoffanalysen in Tagesauflösung über das gesamte Kalenderjahr.

Tab. 7: LÜB-Messstationen, an denen mit Hilfe ganzjähriger Messungen der Jahrgang von Natrium und Chlorid im Feinstaub PM<sub>10</sub> erfasst wurde.

LÜB-Messstation	Stationskürzel	Probenahmen	
		von	bis
München/Landshuter Allee	MÜLA	01.01.2009	31.12.2009
München/Landshuter Allee	MÜLA	01.01.2010	31.12.2010
Augsburg/Königsplatz	AUKÖ	01.01.2009	31.12.2009
Augsburg/Karlstraße	AUKA	01.01.2010	31.12.2010

Die Ergebnisse für die LÜB-Messstation Augsburg/Königsplatz im Jahr 2009 sind in Abb. 3 dargestellt. Wie aus dieser Abbildung hervorgeht, weisen die Gehalte von Natrium und insbesondere von Chlorid im PM<sub>10</sub> einen deutlichen Jahrgang auf. Bei einer Bestimmungsgrenze von 0,2 µg/m<sup>3</sup> ist auch im Sommer häufig Natrium und selten auch Chlorid im Feinstaub nachweisbar. Dabei liegt im Sommer ein Überschuss von Natrium vor (das molare Verhältnis Natrium zu Chlorid ist größer 1), der auf einen Einfluss anderer Quellen hindeutet. Dagegen liegt bei hohen Gehalten im Winter das molare Verhältnis Natrium zu Chlorid im Rahmen der analytischen Messgenauigkeit bei etwa 1:1, was die Interpretation als aufgewirbeltes NaCl aus der Fahrbahnstreuung stützt.

Die Ergebnisse der Staubinhaltsstoffanalytik auf Natrium und Chlorid für die LÜB-Messstation München/Landshuter Allee im Jahr 2009 sind in Abb. 4 dargestellt. Der Jahrgang der Gehalte von Natrium und Chlorid im PM<sub>10</sub> ist hier noch sehr viel ausgeprägter als an der LÜB-Station Augsburg/Königsplatz, da die absolute Konzentration dieser Komponenten im PM<sub>10</sub> im Winterhalbjahr sehr viel höher ist.

Für die weitere Auswertung der Daten wurde eine Signifikanzschwelle von 1 µg/m<sup>3</sup> für die Summe aus Natrium und Chlorid gewählt, d. h. alle Tage, an denen diese Summe weniger als 1 µg/m<sup>3</sup> betrug, wurden im Hinblick auf Streusalzeinfluss durch Winterdienst nicht als relevant erachtet (siehe 3.3). Zudem wurde ein „Plausibilitätsbereich“ für das Verhältnis Natrium zu Chlorid von 1:1 von ± 50% gewählt.

Tage mit deutlichem Überschuss einer der beiden Komponenten wurden nicht als maßgeblich durch Streusalz beeinflusst interpretiert. Die so erhaltenen Daten für den LÜB-Standort Augsburg/Königsplatz im Jahr 2009 sind in Abb. 5 dargestellt. Entsprechend wurden die Messergebnisse für den LÜB-Standort München/Landshuter Allee im Jahr 2009 dargestellt (Abb. 6).

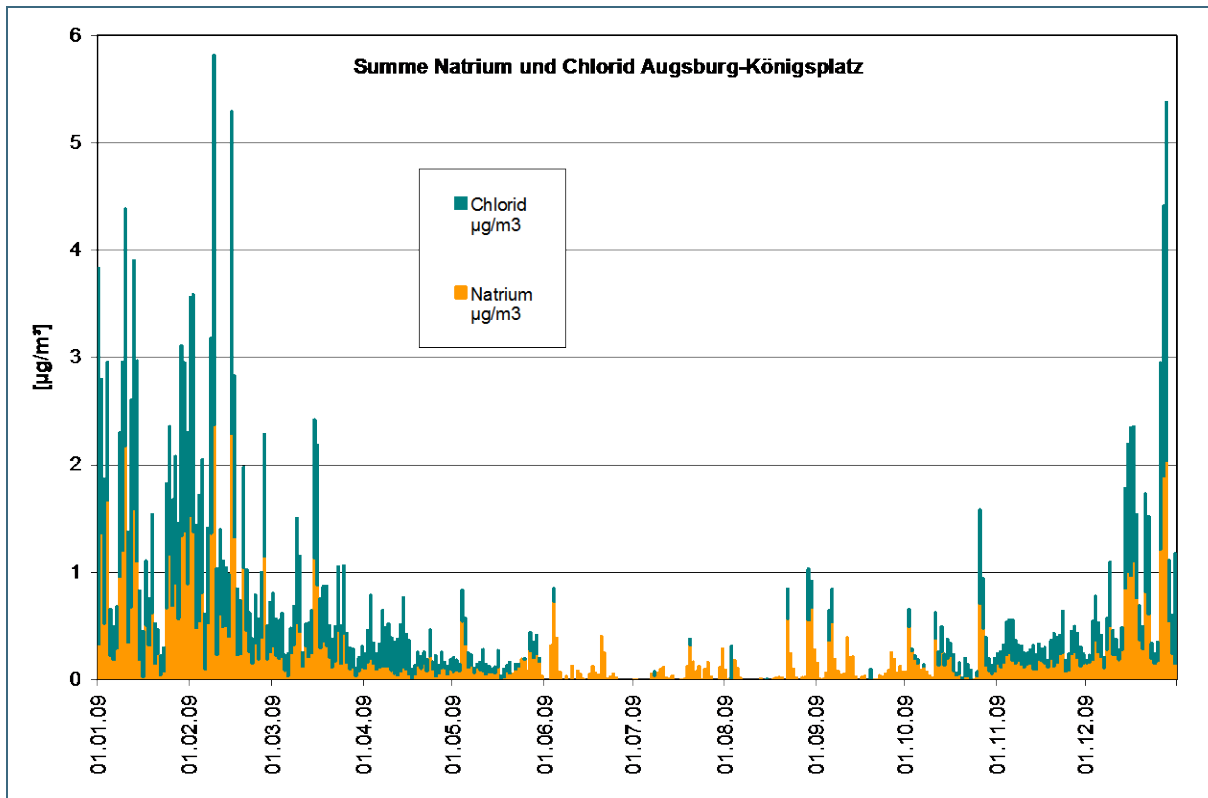


Abb. 3: Jahresgang von Natrium und Chlorid im  $\text{PM}_{10}$  an der LÜB-Messstation Augsburg/Königsplatz (AUKÖ) im Jahr 2009.

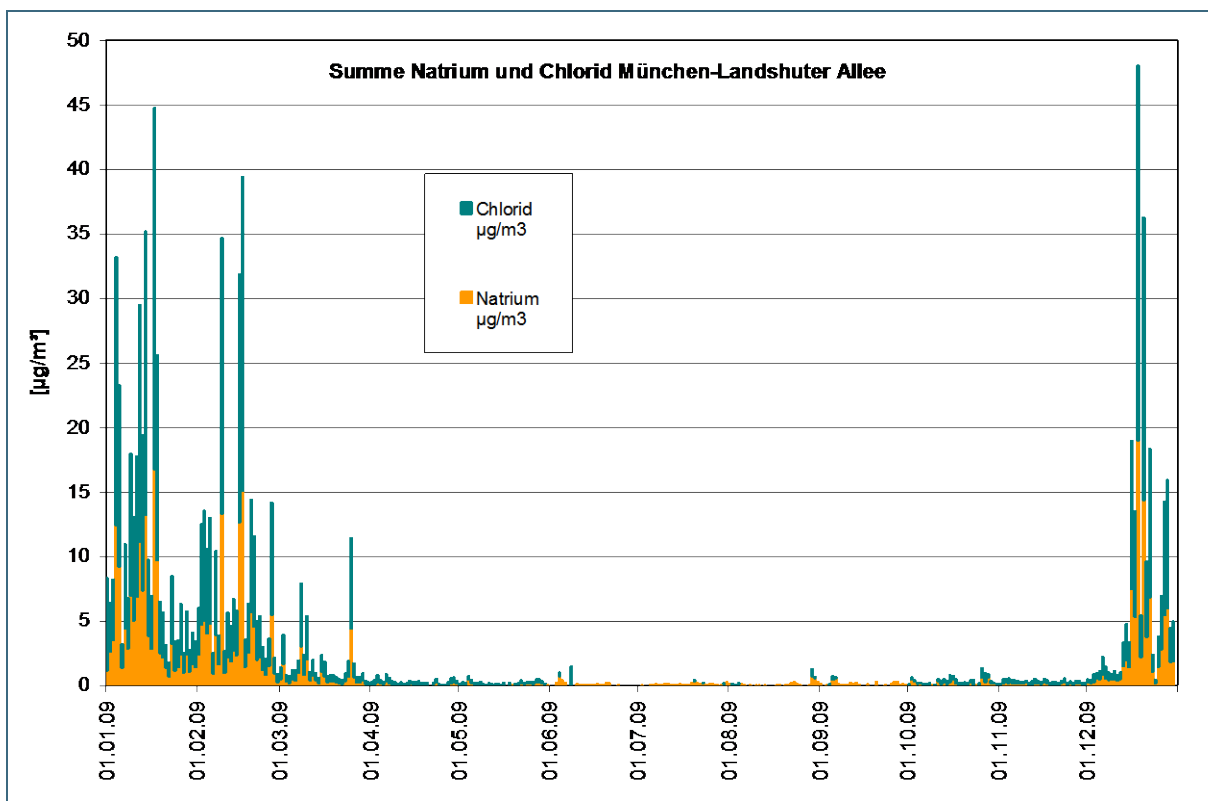


Abb. 4: Jahresgang von Natrium und Chlorid im  $\text{PM}_{10}$  an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Jahr 2009.

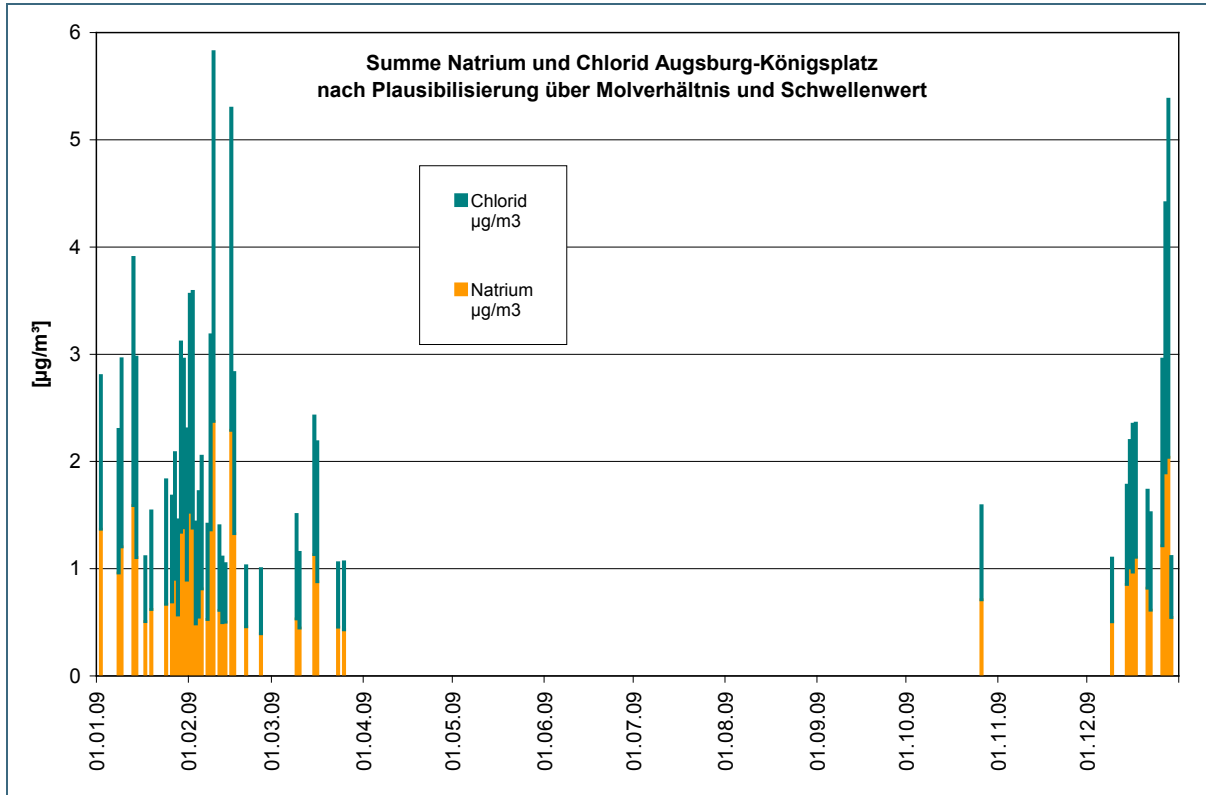


Abb. 5: Natrium und Chlorid im  $\text{PM}_{10}$  an der LÜB-Messtation Augsburg/Königsplatz (AUKÖ) im Jahr 2009 nach Plausibilisierung.

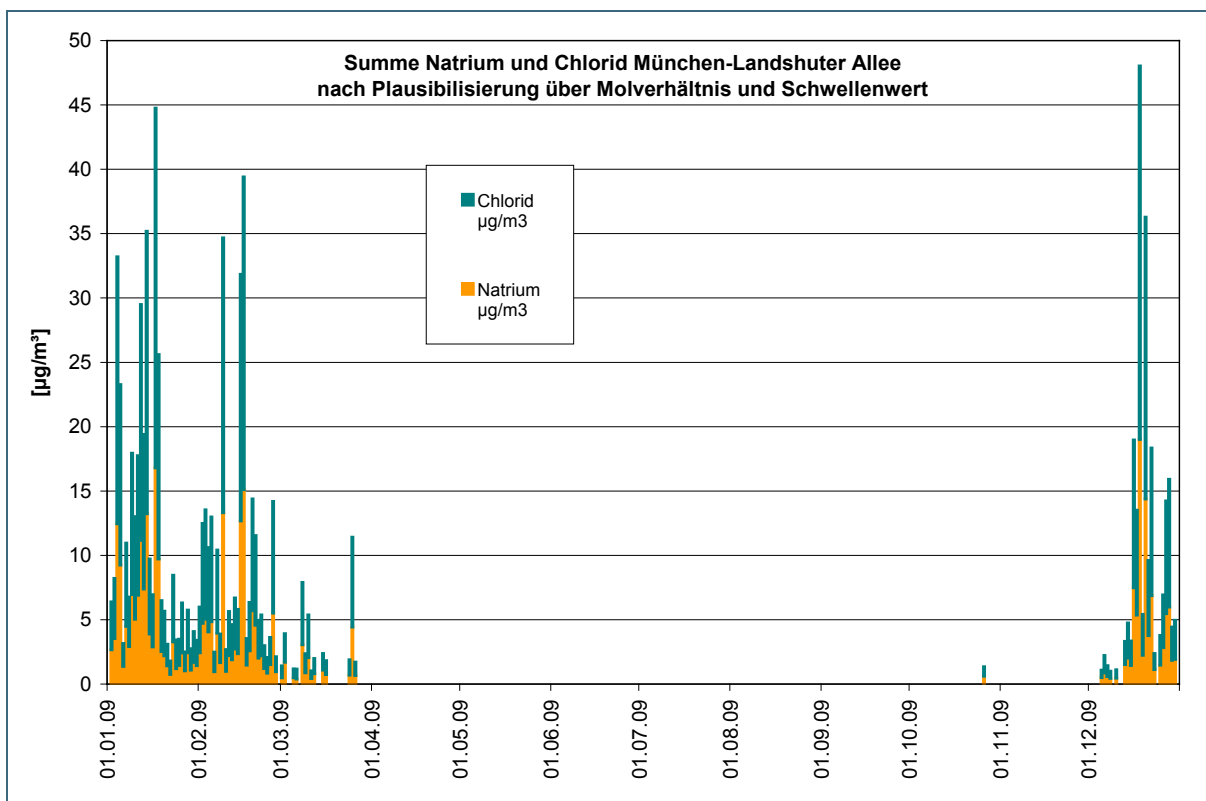


Abb. 6: Natrium und Chlorid im  $\text{PM}_{10}$  an der LÜB-Messtation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Jahr 2009 nach Plausibilisierung.

Am LÜB-Standort Augsburg/Königsplatz wurden nach den oben genannten Kriterien im Kalenderjahr 2009 an 47 Tagen signifikante Anteile von NaCl an der PM<sub>10</sub>-Konzentration ermittelt. Die entsprechenden Anteile von NaCl an der PM<sub>10</sub>-Konzentration sind in Abb. 7 dargestellt.

Entsprechend wurden für den LÜB-Standort München/Landshuter Allee im Jahr 2009 an 94 Tagen signifikante Anteile von NaCl an der PM<sub>10</sub>-Konzentration ermittelt. Die entsprechenden Anteile von NaCl an der PM<sub>10</sub>-Konzentration sind in Abb. 8 dargestellt. Aus der Grafik geht hervor, dass diese Anteile stark schwanken, aber an einzelnen Tagen mehr als 50 % erreichen können.

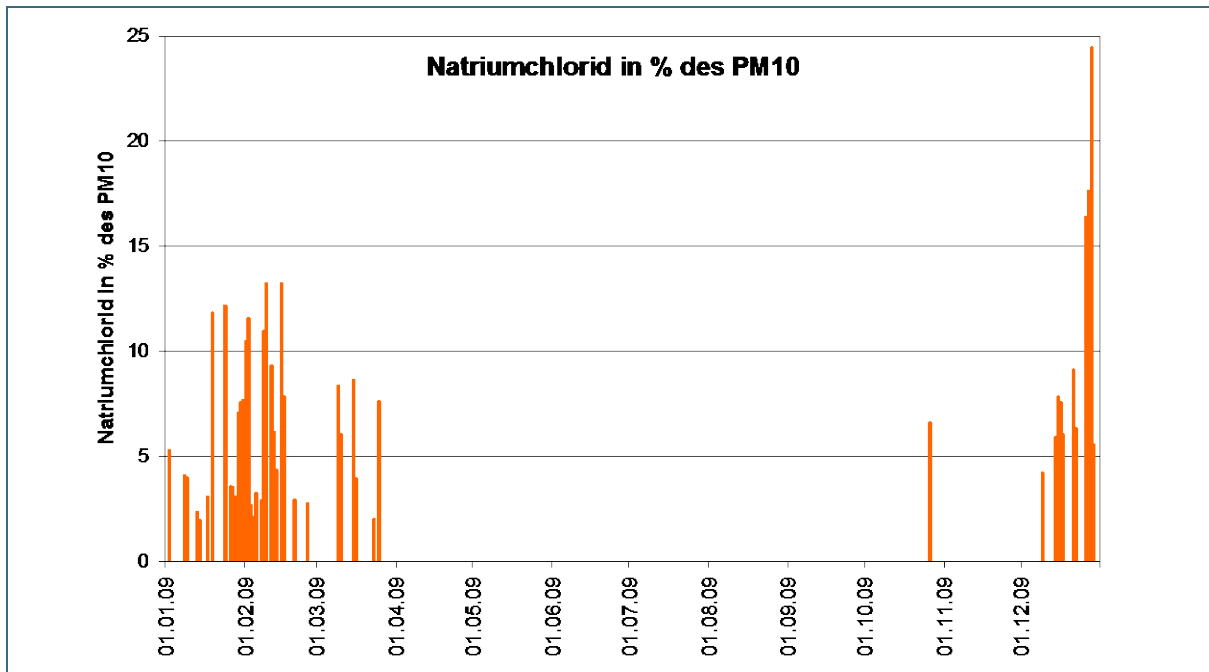


Abb. 7: Prozentuale Anteile von Natrium und Chlorid am PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messtation Augsburg/Königsplatz (AUKÖ) im Jahr 2009.

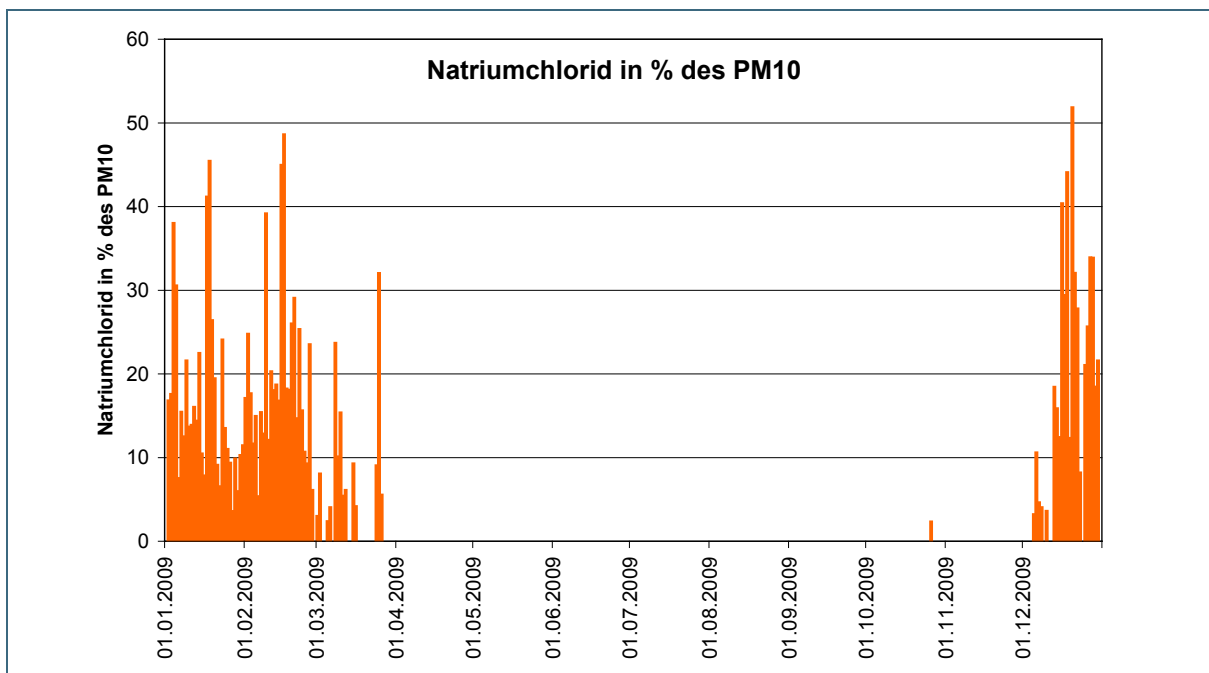


Abb. 8: Prozentuale Anteile von Natrium und Chlorid am PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messtation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Jahr 2009.

Zur Ergänzung der in 2009 ermittelten Jahrgänge von Natrium und Chlorid im Feinstaub  $PM_{10}$  erfolgten an den LÜB-Messstationen München/Landshuter Allee und Augsburg/Karlstraße entsprechende Probenahmen und Staubinhaltsstoffanalysen über das gesamte Kalenderjahr 2010. Die Ergebnisse für die LÜB-Messstation MÜLA sind in Abb. 9 dargestellt, die Ergebnisse für die LÜB-Messstation AUKA in Abb. 10. Wie bereits im Jahr 2009 an den LÜB-Messstationen MÜLA und AUKÖ beobachtet, weisen die Gehalte von Natrium und insbesondere von Chlorid im  $PM_{10}$  auch 2010 einen deutlichen Jahrgang auf. Im Sommer liegt bei insgesamt sehr niedrigen Gehalten von Natrium und Chlorid ein Überschuss von Natrium im  $PM_{10}$  vor, der auf einen Einfluss anderer Quellen hindeutet. Als Natriumquelle wären verfrachtete Seesalzpartikel denkbar, die bei ihrem Transport durch die Atmosphäre infolge Versauerung der Oberfläche durch Absorption gasförmiger Säuren Chlorid als HCl „verlieren“ und somit relativ zu Chlorid an Natrium angereichert werden, d. h. einen Natriumüberschuss aufweisen [13]. Dagegen liegt bei hohen Gehalten im Winter das molare Verhältnis Natrium zu Chlorid im Rahmen der analytischen Messgenauigkeit bei etwa 1:1, was die Quellenzuordnung als aufgewirbeltes Streusalz aus dem Winterdienst stützt.

In Abb. 11 und Abb. 12 sind die Konzentrationen von Streusalz im  $PM_{10}$  im Jahresverlauf dargestellt, die durch Anlegen der in Kapitel 3.3 beschriebenen Kriterien (Summe NaCl größer  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , molares Verhältnis Na/Cl zwischen 0,66 und 1,5) für einen signifikanten Einfluss von Streusalz erhalten werden. Damit lässt sich an der LÜB-Messstation MÜLA im Jahr 2010 an 115 Tagen ein signifikanter Einfluss von Streusalz auf die  $PM_{10}$ -Konzentrationen ableiten. Am LÜB-Messstandort AUKA waren es im Jahr 2010 insgesamt 56 Tage. Die hieraus und aus den jeweiligen  $PM_{10}$ -Konzentrationen der entsprechenden Tage errechneten prozentualen Anteile von aufgewirbeltem Streusalz im  $PM_{10}$  sind in Abb. 13 und Abb. 14 dargestellt. Auch hier ist wieder erkennbar, dass an der LÜB-Messstation München / Landshuter Allee die Anteile von NaCl im  $PM_{10}$  an einzelnen Tagen bis zu 50% erreichen können. Offensichtlich stellen sie im Winter einen wesentlichen Beitrag zum Feinstaub  $PM_{10}$  dar.

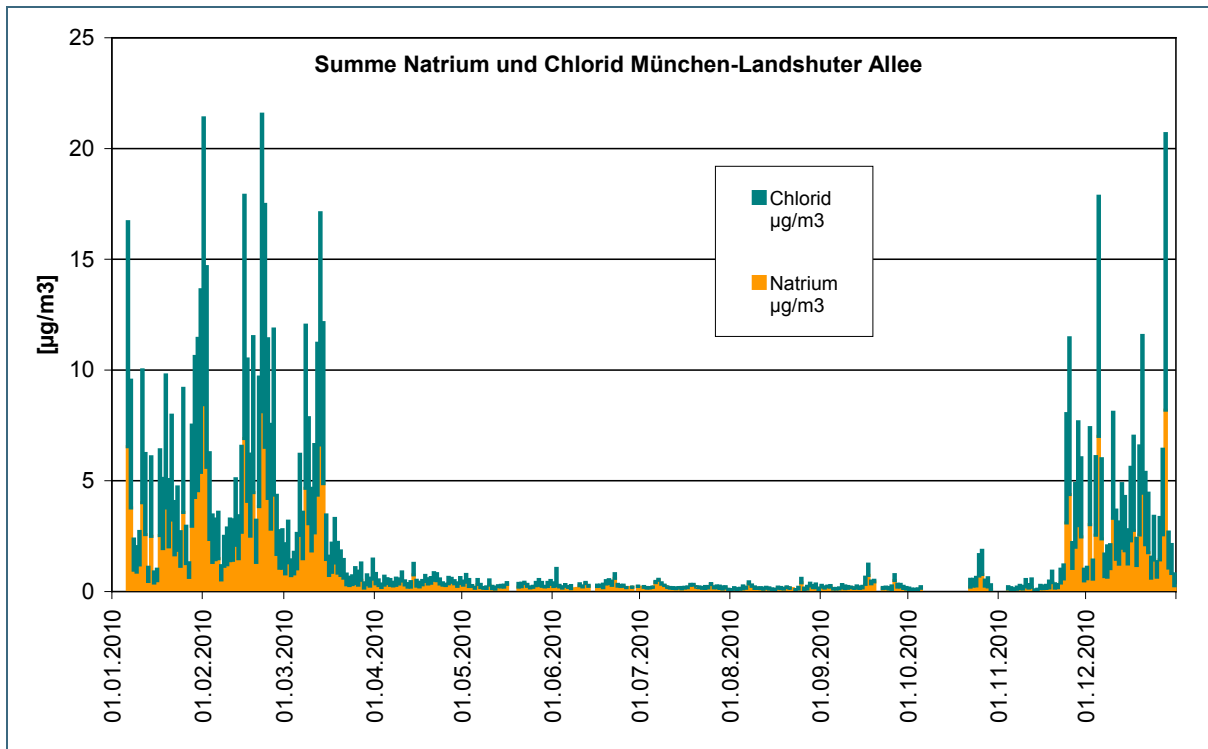


Abb. 9: Jahresgang von Natrium und Chlorid im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Jahr 2010.

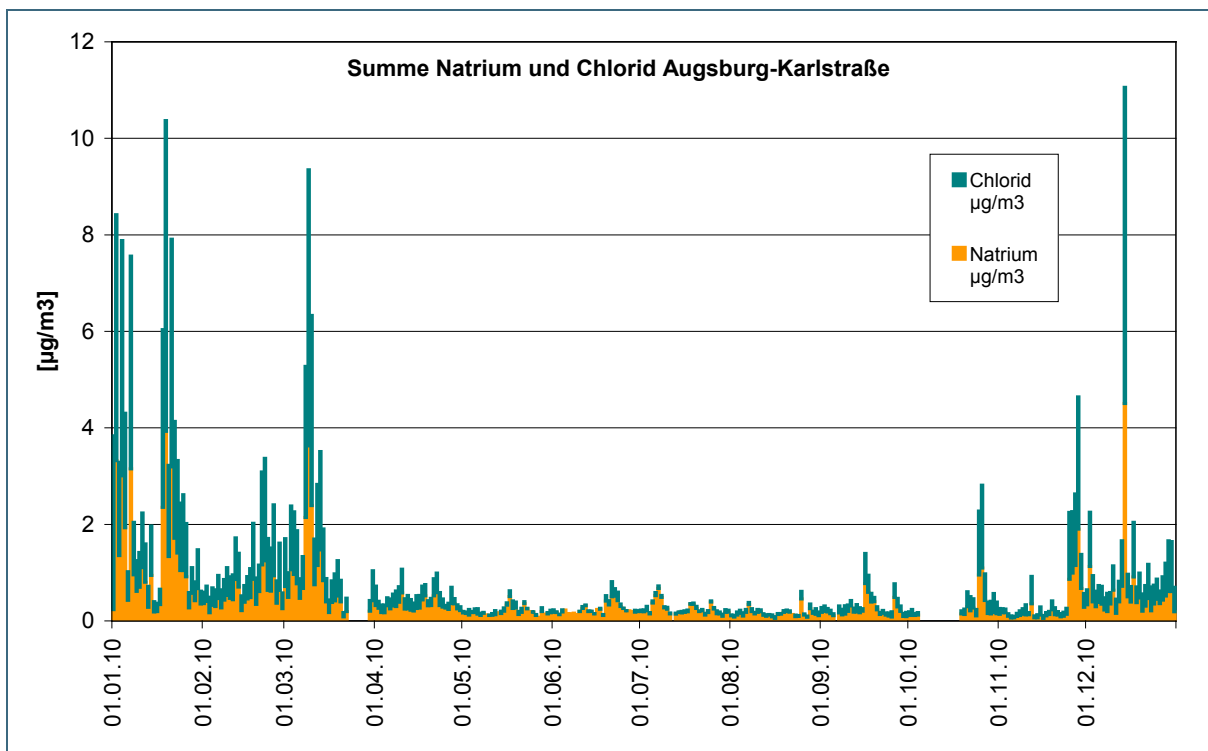


Abb. 10: Jahresgang von Natrium und Chlorid im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Augsburg/Karlstraße (AUKA) im Jahr 2010.



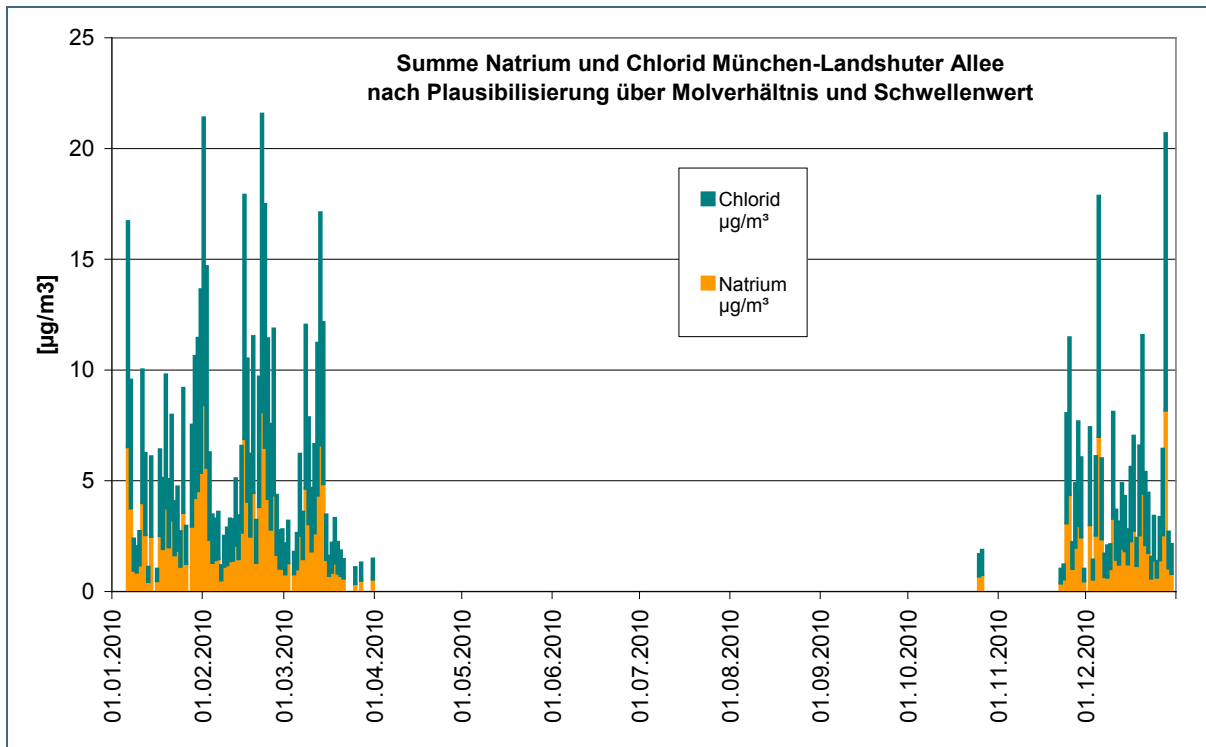


Abb. 11: Natrium und Chlorid im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Jahr 2010 nach Plausibilisierung.

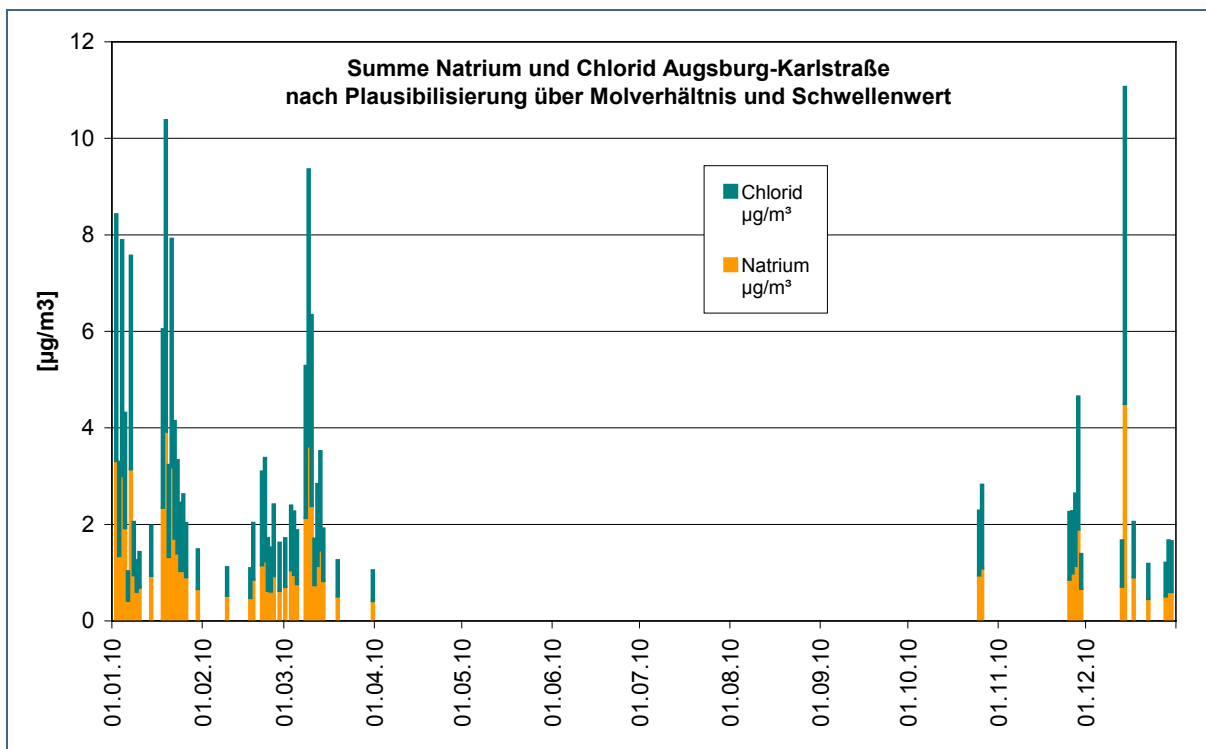


Abb. 12: Natrium und Chlorid im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Augsburg/Karlstraße (AUKA) im Jahr 2010 nach Plausibilisierung.

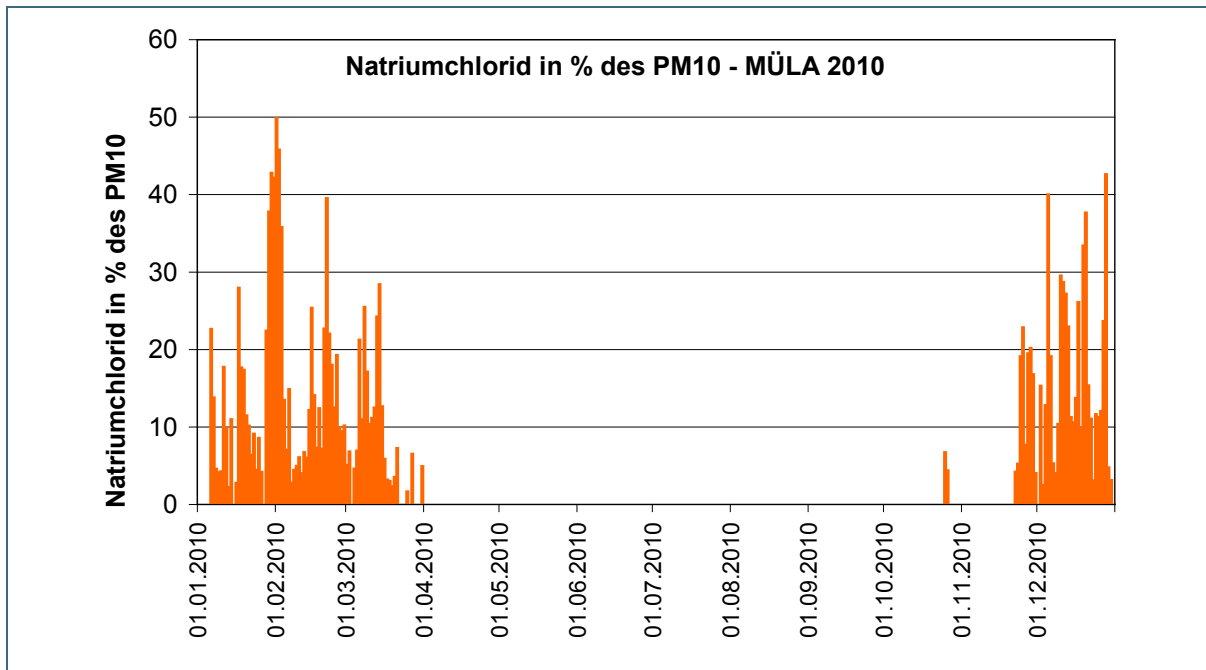


Abb. 13: Prozentuale Anteile von Natrium und Chlorid am PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Jahr 2010.

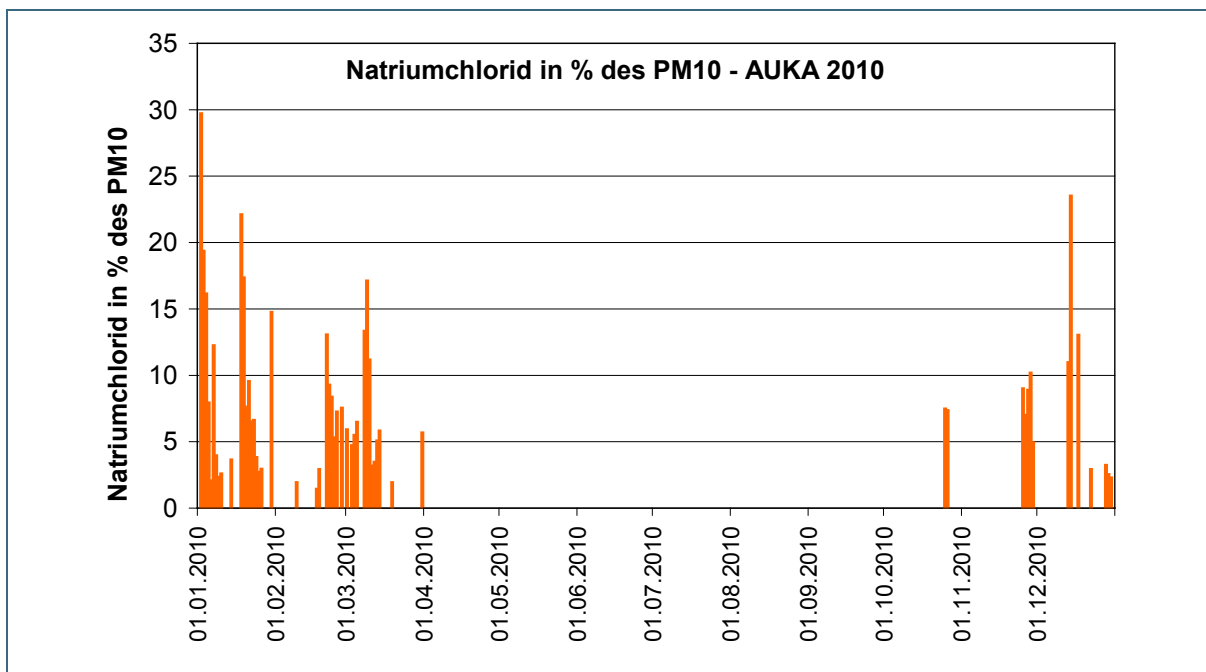


Abb. 14: Prozentuale Anteile von Natrium und Chlorid am PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Augsburg/Karlstraße (AUKA) im Jahr 2010.

In Tab. 8 sind für alle in 2009 und 2010 ganzjährig durchgeführten Feinstaubinhaltsstoffanalysen die maximalen Konzentrationen von Natriumchlorid im PM<sub>10</sub>, die jeweiligen Anteile am PM<sub>10</sub> und die Anzahl der Tage, an denen die PM<sub>10</sub>-Konzentrationen an den jeweils betrachteten Standorten durch die Aufwirbelung von Streusalz signifikant (mehr als 1 µg/m<sup>3</sup>) erhöht waren, aufgeführt. Aus den hier aufgeführten Daten geht deutlich der an verkehrsnahen LÜB-Messstationen bedeutende Einfluss der Aufwirbelung von Streusalz auf die PM<sub>10</sub>-Tagesmittelkonzentrationen hervor.

Tab. 8: Einfluss von Natriumchlorid auf die Feinstaubkonzentration an verschiedenen LÜB-Messstationen in den Kalenderjahren 2009 und 2010.

LÜB-Messstation	Zeitraum	höchster NaCl-Gehalt im PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	höchster Anteil von NaCl im PM <sub>10</sub> [%]	Anzahl der Tage mit Einfluss von Streusalz auf PM <sub>10</sub>
MÜLA	2009	48,0 µg/m <sup>3</sup>	52 %	94
AUKÖ	2009	5,8 µg/m <sup>3</sup>	25 %	47
MÜLA	2010	21,6 µg/m <sup>3</sup>	50 %	115
AUKA	2010	11,1 µg/m <sup>3</sup>	30 %	56

#### 4.1.2 Vergleich der Gehalte von Natrium und Chlorid in PM<sub>10</sub> und in PM<sub>2,5</sub>

Um Informationen über die Verteilung winterdienstspezifischer Feinstaubinhaltsstoffe auf unterschiedliche Partikelgrößenfraktionen zu erhalten, wurden an den LÜB-Messstationen Oberaudorf/Inntalautobahn und München/Landshuter Allee (siehe Tab. 9) sowohl Feinstaubproben der Fraktion PM<sub>10</sub> als auch Feinstaubproben der Fraktion PM<sub>2,5</sub> gewonnen und auf Staubinhaltsstoffe untersucht.

Tab. 9: LÜB-Messstationen, an denen neben Feinstaub PM<sub>10</sub> auch Feinstaub PM<sub>2,5</sub> auf Staubinhaltsstoffe untersucht wurde.

LÜB-Messstation	Stationskürzel	Probenahmen	
		von	bis
Oberaudorf/Inntalautobahn	OBIA	01.11.2009	31.03.2010
München/Landshuter Allee	MÜLA	01.11.2009	31.03.2010
München/Landshuter Allee	MÜLA	01.11.2011	31.03.2012
München/Landshuter Allee	MÜLA	22.10.2012	31.03.2013

Die Ergebnisse für die Komponenten Natrium und Chlorid an der LÜB-Messstation Oberaudorf/Inntalautobahn sind in Abb. 15 (PM<sub>10</sub>) und Abb. 16 (PM<sub>2,5</sub>) dargestellt. An der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee wurde der Vergleich zwischen PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> im Winter 2009/2010 (siehe Abb. 17 und Abb. 18), im Winter 2011/2012 (siehe Abb. 19 und Abb. 20) und im Winter 2012/2013 (siehe Abb. 21 und Abb. 22) vorgenommen.

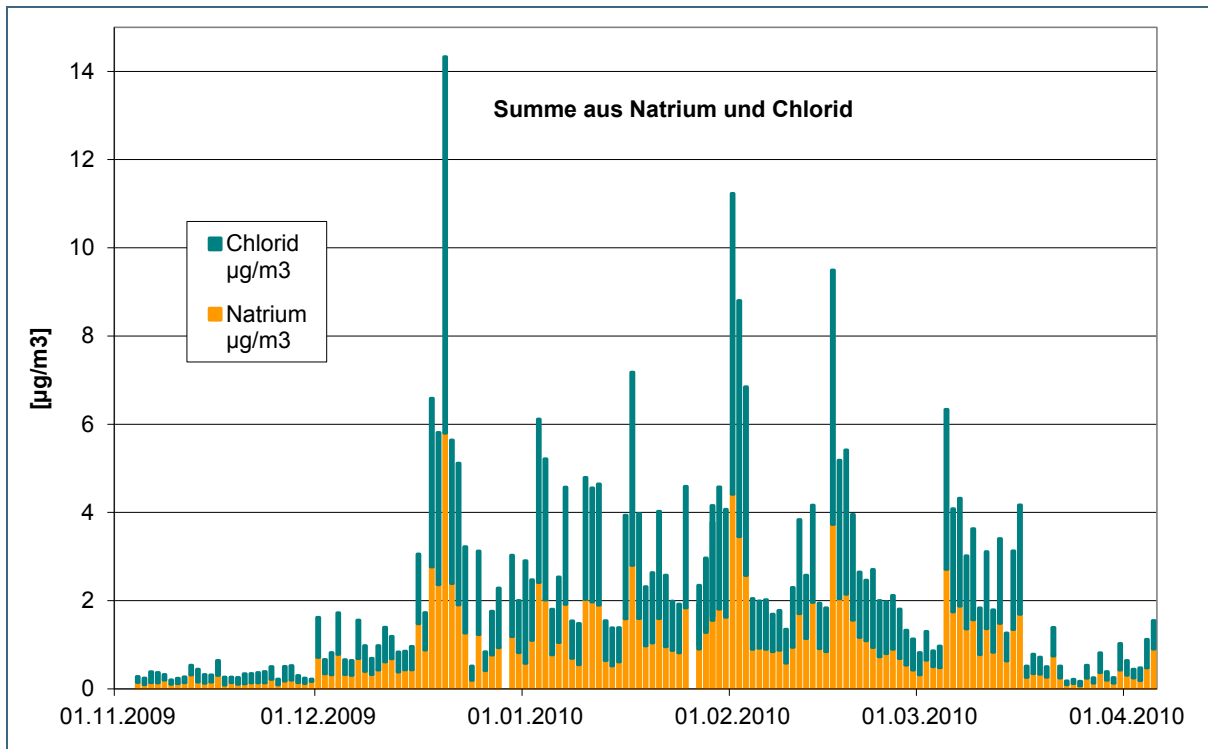


Abb. 15: Natrium und Chlorid im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messtation Oberaudorf/Inntalautobahn (OBIA) im Winter 2009/2010.

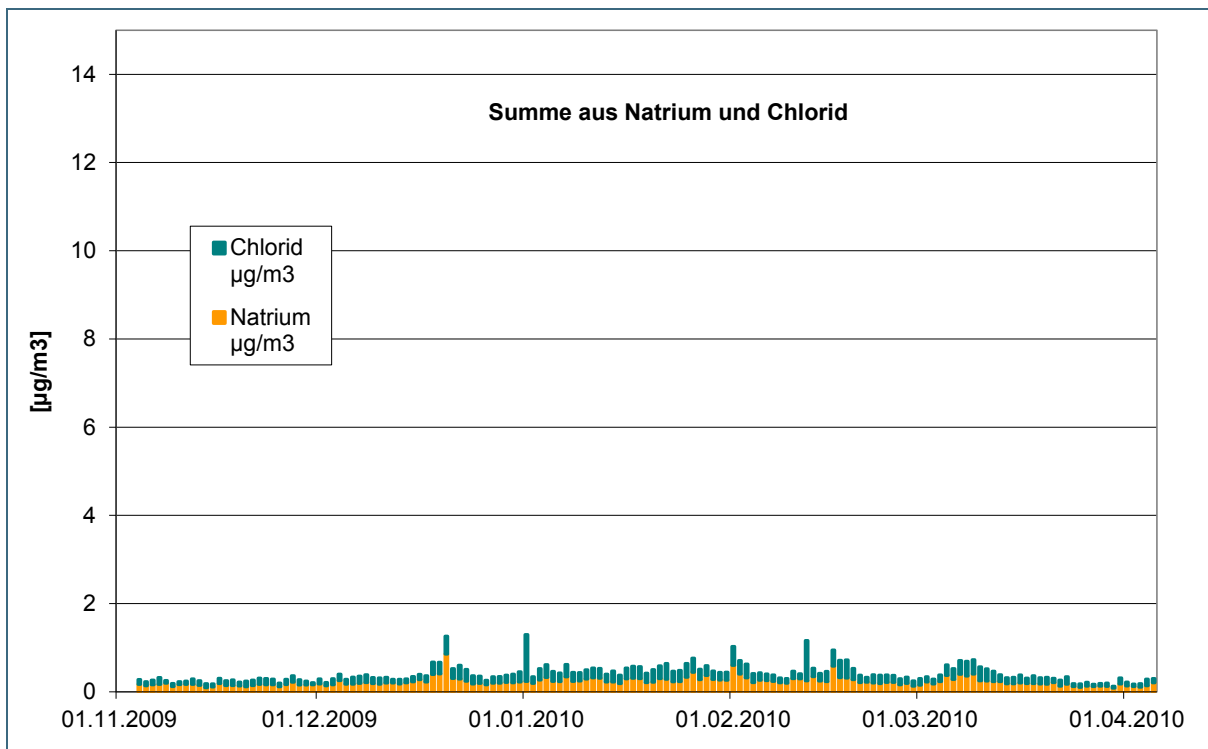


Abb. 16: Natrium und Chlorid im PM<sub>2.5</sub> an der LÜB-Messtation Oberaudorf/Inntalautobahn (OBIA) im Winter 2009/2010.

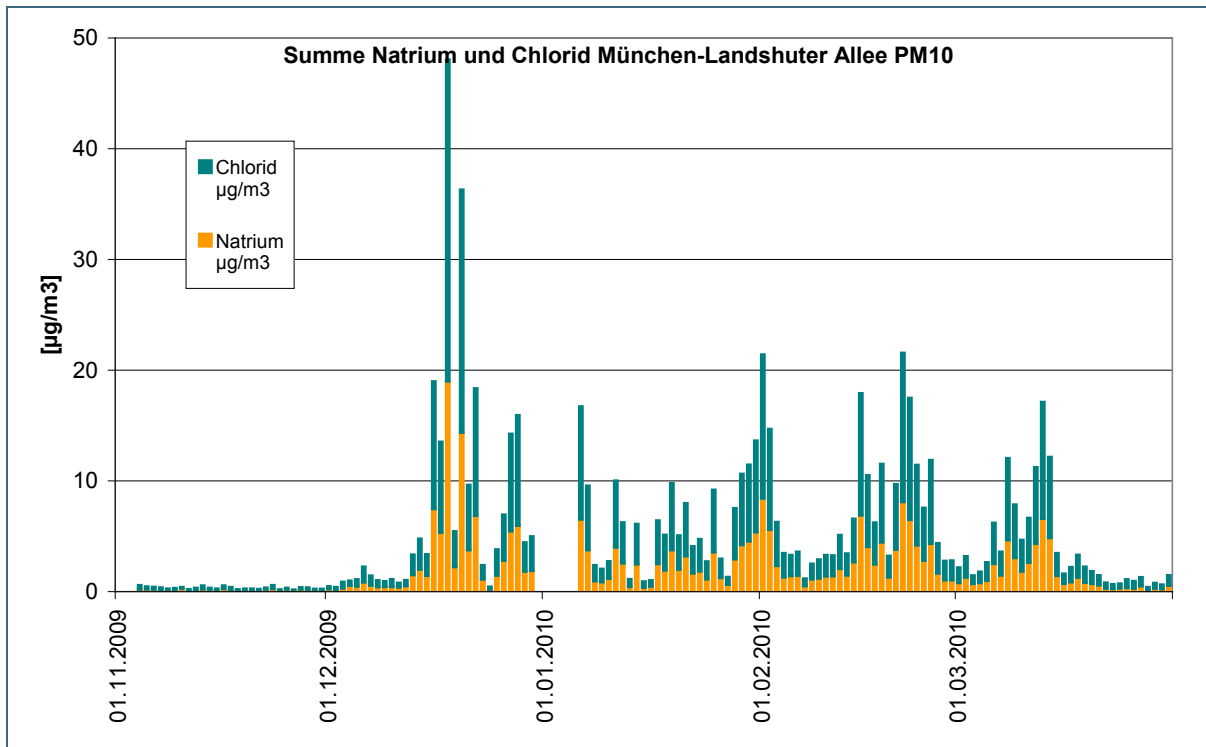


Abb. 17: Natrium und Chlorid im  $\text{PM}_{10}$  an der LÜB-Messtation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2009/2010.

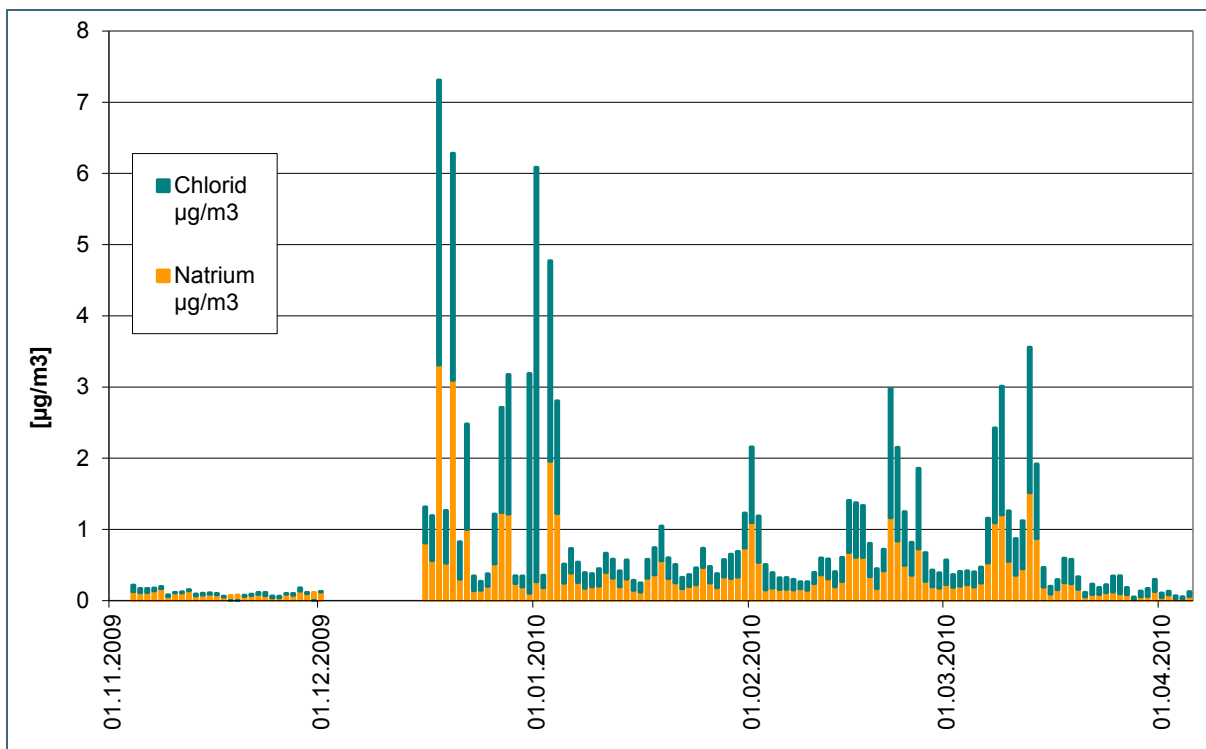


Abb. 18: Natrium und Chlorid im  $\text{PM}_{2.5}$  an der LÜB-Messtation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2009/2010.

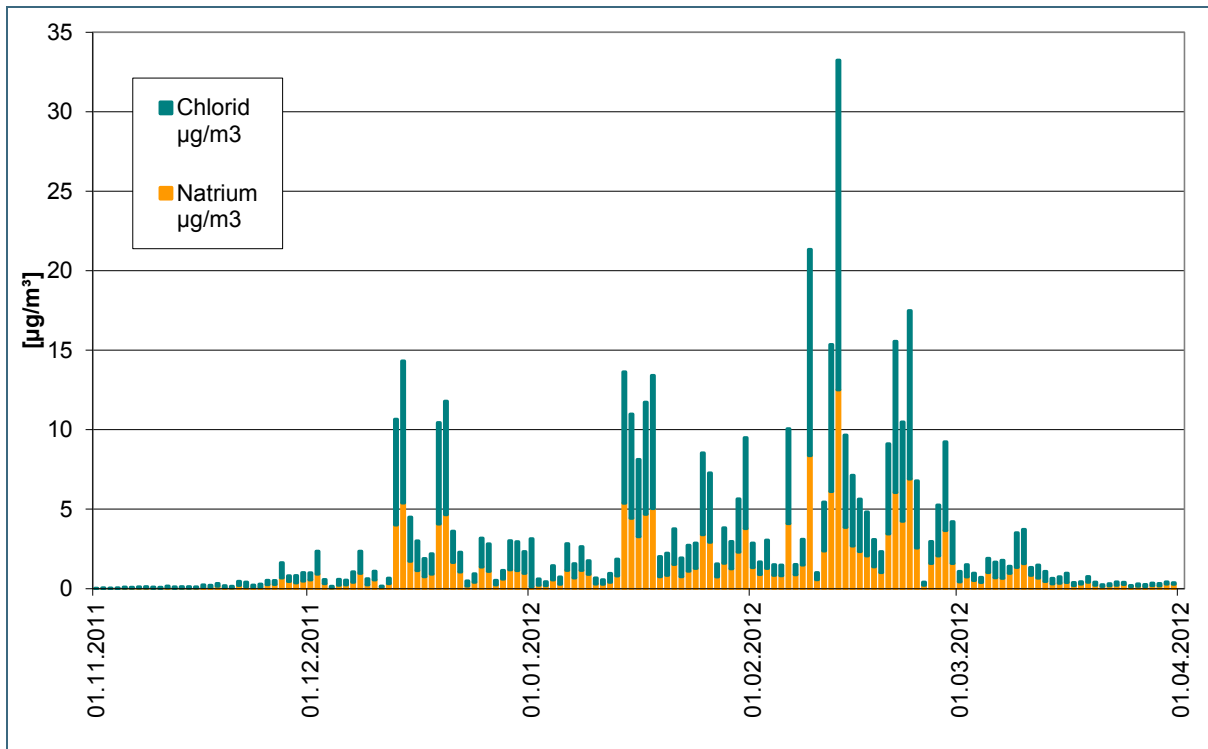


Abb. 19: Natrium und Chlorid im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2011/2012.

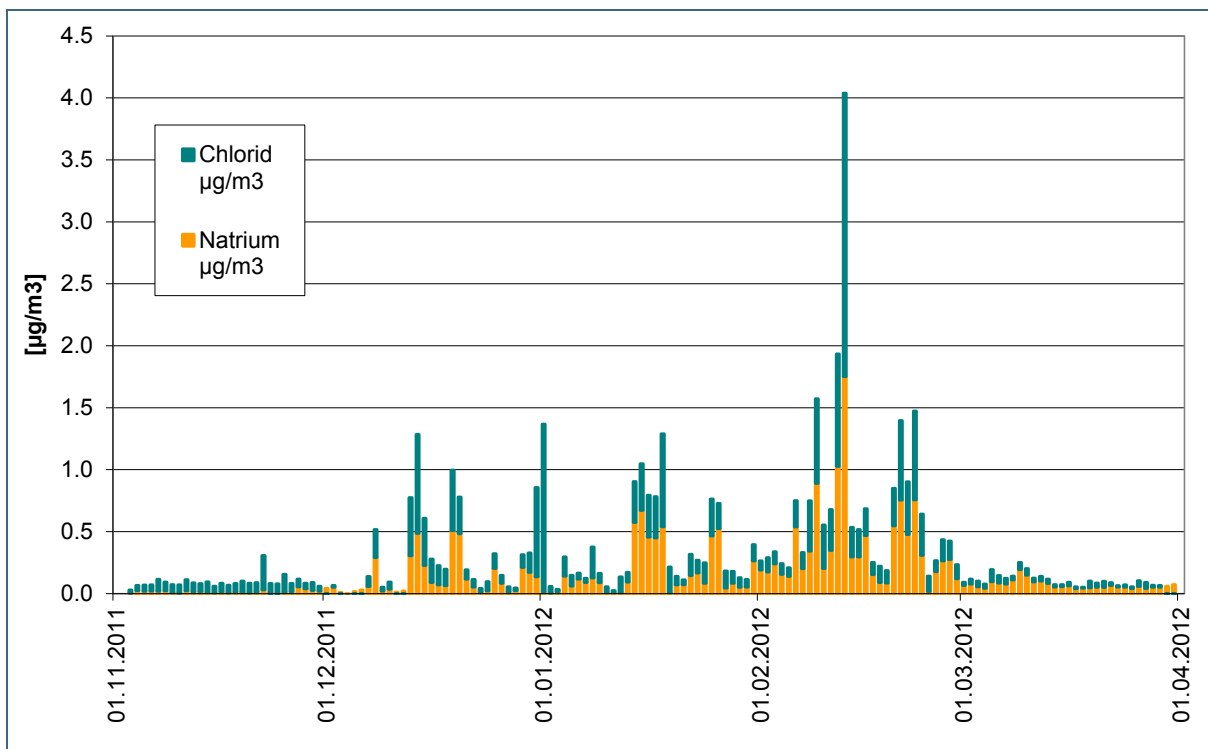


Abb. 20: Natrium und Chlorid im PM<sub>2.5</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2011/2012.

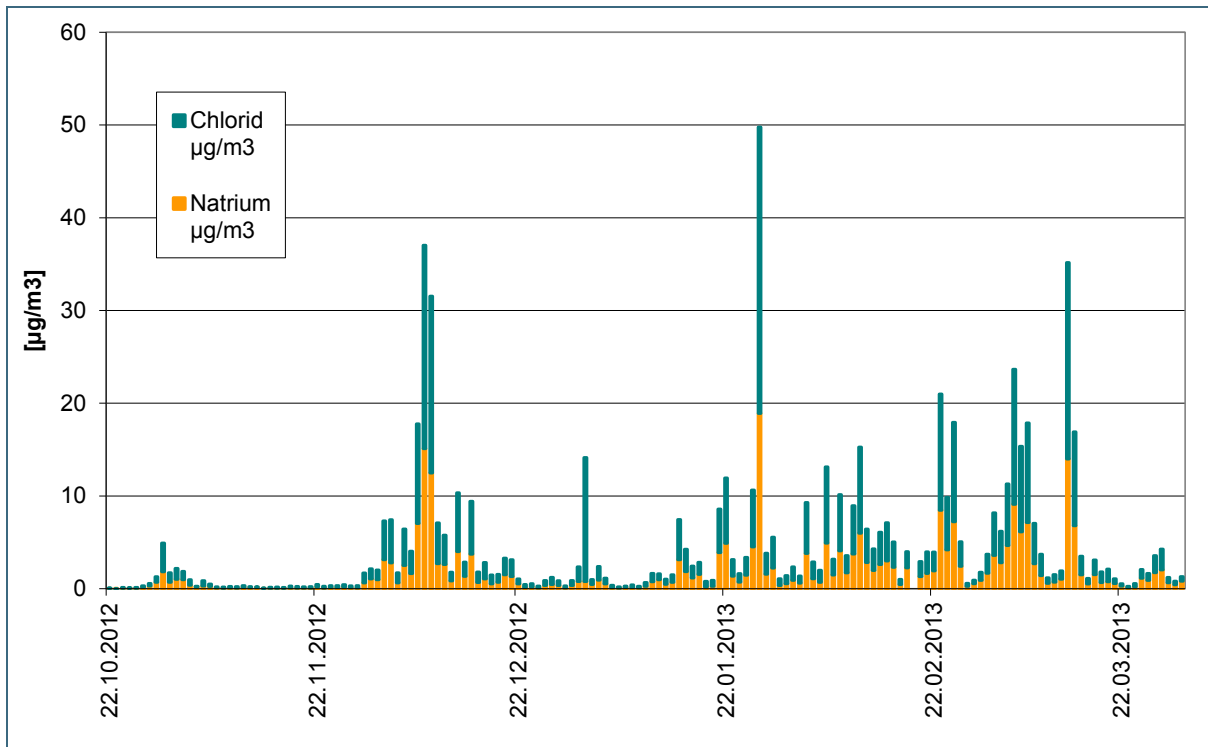


Abb. 21: Natrium und Chlorid im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messtation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2012/2013.

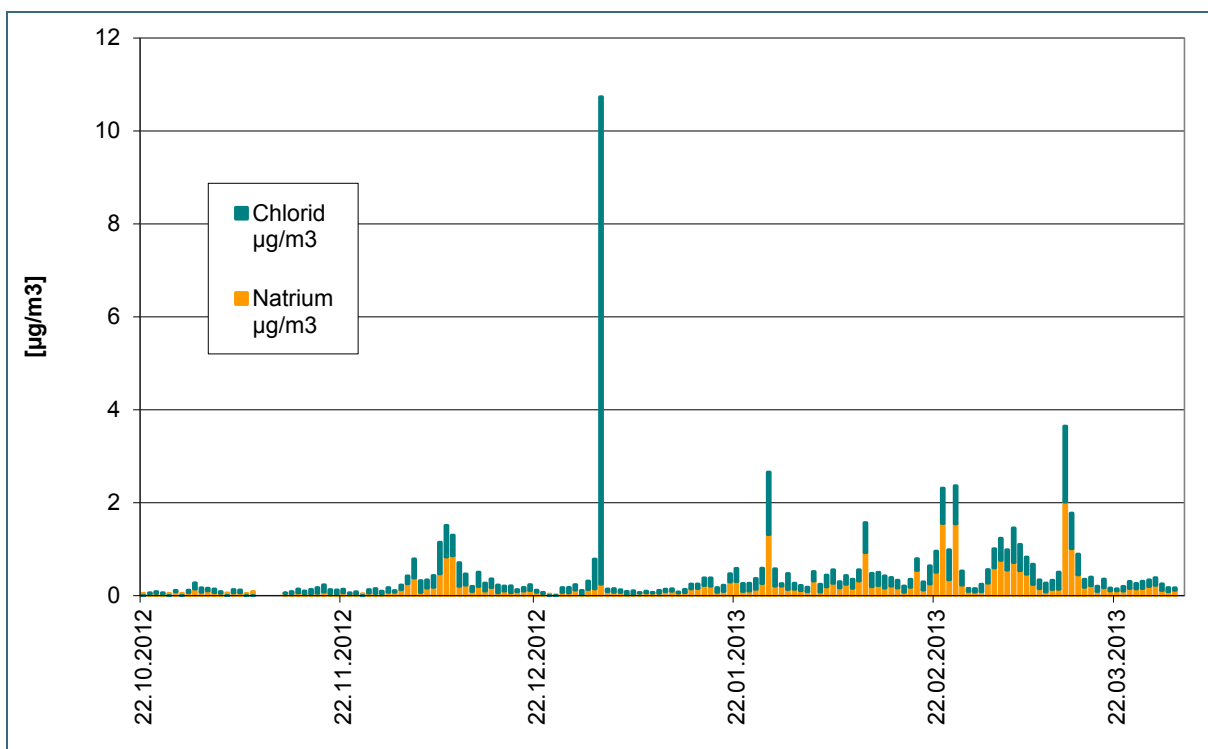


Abb. 22: Natrium und Chlorid im PM<sub>2.5</sub> an der LÜB-Messtation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2012/2013.

Wenn man den 01.01. jeden Jahres, an dem der Einfluss des Silvesterfeuerwerks auf die Zusammensetzung des Feinstaubs überwiegt, außer Acht lässt, zeigen die Messungen deutlich, dass der Massenanteil der Komponenten Natrium und Chlorid im  $PM_{10}$  um ein Mehrfaches höher als im  $PM_{2,5}$  ist. Am LÜB-Standort München/Landshuter Allee beträgt das Verhältnis von NaCl im  $PM_{10}$  zu NaCl im  $PM_{2,5}$  etwa 7:1. Nur an Tagen mit sehr hohen NaCl-Konzentrationen im  $PM_{10}$  werden auch signifikante Anteile an NaCl im  $PM_{2,5}$  gefunden. Es ist bekannt, dass aus Aufwirbelung stammende Feinstaubinhaltsstoffe zum weit überwiegenden Teil Bestandteil größerer Partikel und damit in der Fraktion  $PM_{2,5}$  -  $PM_{10}$  zu finden sind [4]. Der im Rahmen dieser Untersuchung gemessene sehr hohe Anteil von Natriumchlorid in den größeren Partikeln stützt die These, dass es sich um lokal entstandene Partikel handelt, die aus der mechanischen Zerkleinerung und Aufwirbelung von Streusalz stammen.

In Tab. 10 sind die Vergleiche der Konzentrationen von Natriumchlorid im  $PM_{10}$  bzw. im  $PM_{2,5}$  zusammengefasst. Wird die in Kap. 3.3 beschriebene Anwendung des Schwellenwerts von  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und die Plausibilisierung über das molare Verhältnis durchgeführt, so erhält man die in Tab. 10 aufgeführte Anzahl der Tage, an denen ein signifikanter Einfluss der Aufwirbelung von Streusalz auf die jeweilige Feinstaubfraktion festgestellt wurde. Augenfällig ist der große Unterschied der NaCl-Gehalte im  $PM_{10}$  und im  $PM_{2,5}$  insbesondere im Winter 2011/2012 und im Winter 2012/2013 an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee. Während in der  $PM_{10}$ -Fraktion maximale Gehalte von  $33,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bzw.  $49,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  NaCl festgestellt wurden, wurden an denselben Messtagen nur  $4,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bzw.  $2,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  NaCl in der  $PM_{2,5}$ -Fraktion registriert.

Tab. 10: Vergleich der Konzentrationen von Natriumchlorid in Feinstaub  $PM_{10}$  und Feinstaub  $PM_{2,5}$ .

LÜB-Messstation	Zeitraum	Feinstaubfraktion	höchster NaCl-Gehalt [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Datum	Anzahl der Tage mit signifikantem Einfluss von Streusalz auf PM
OBIA	Winter 2009/2010	$PM_{10}$	$14,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$	20.12.2009	83
OBIA	Winter 2009/2010	$PM_{2,5}$	-	-	0
MÜLA	Winter 2009/2010	$PM_{10}$	$48,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$	18.12.2009	97
MÜLA	Winter 2009/2010	$PM_{2,5}$	$7,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$	18.12.2009	24
MÜLA	Winter 2011/2012	$PM_{10}$	$33,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$	13.02.2012	72
MÜLA	Winter 2011/2012	$PM_{2,5}$	$4,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$	13.02.2012	3
MÜLA	Winter 2012/2013	$PM_{10}$	$49,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$	27.01.2013	88
MÜLA	Winter 2012/2013	$PM_{2,5}$	$2,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	27.01.2013	4

#### 4.1.3 Gehalte von Nitrat und Ammonium in $PM_{10}$ und in $PM_{2,5}$

Im Vergleich dazu sind in Abb. 23 und Abb. 24 die Gehalte von Nitrat und Ammonium im  $PM_{10}$  bzw. im  $PM_{2,5}$  dargestellt. Diese beiden Staubinhaltsstoffe sind Bestandteile von Sekundärpartikeln, die durch Reaktion aus den Vorläufersubstanzen Ammoniak und Stickstoffoxiden entstehen, und die neben Sulfaten und organischem Kohlenstoff als Ammoniumnitrat massenmäßig den größten Anteil des Feinstaubes in der Fraktion 150-300 nm bilden [14]. Die Abbildungen verdeutlichen, dass die durch Sekundärpartikelbildung erzeugten Aerosolpartikel überwiegend in der Partikelfraktion kleiner  $2,5 \mu\text{m}$  zu finden sind.



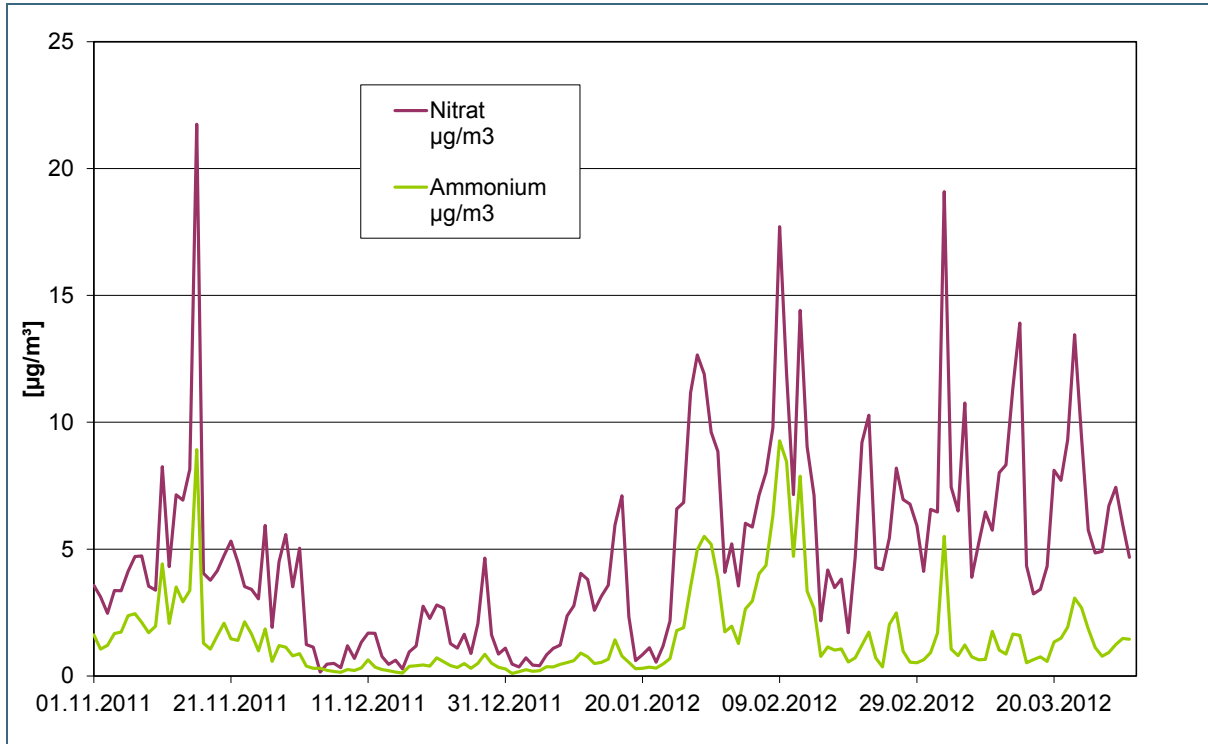


Abb. 23: Ammonium und Nitrat im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messstation MÜLA im Winter 2011/2012.

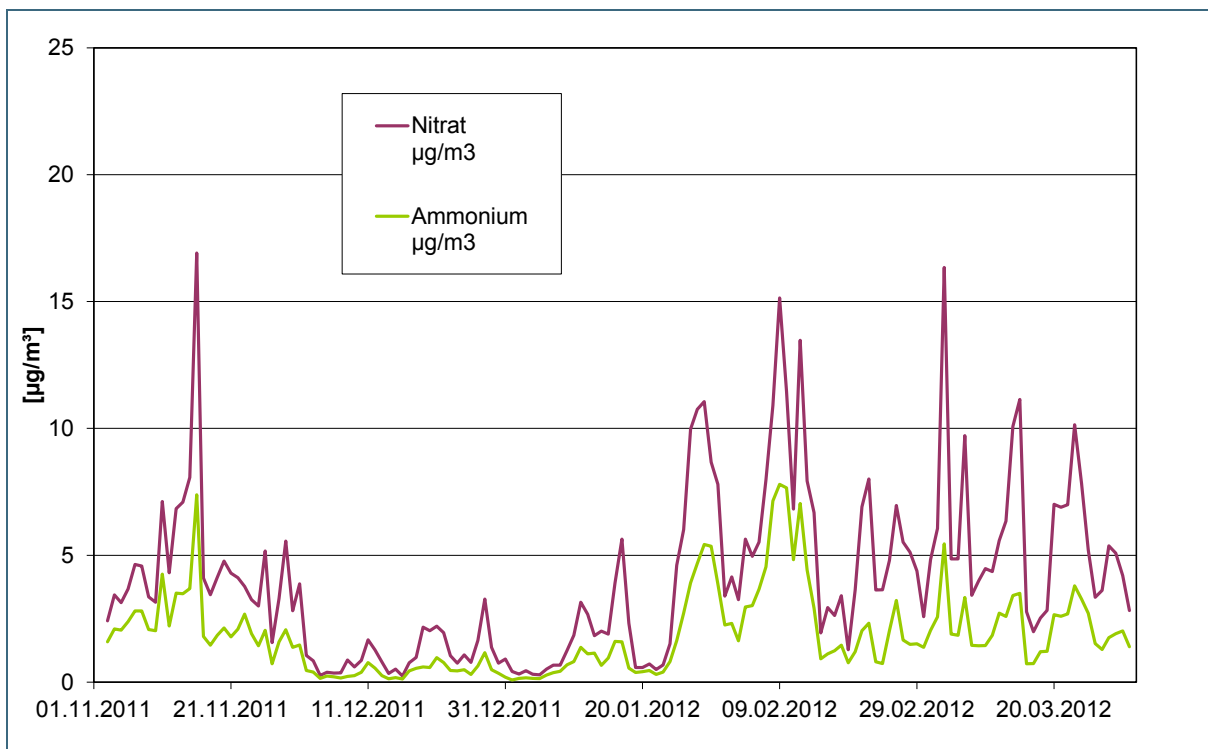


Abb. 24: Ammonium und Nitrat im PM<sub>2.5</sub> an der LÜB-Messstation MÜLA im Winter 2011/2012.

#### 4.1.4 Einfluss der Entfernung zum Fahrbahnrand

Um Informationen über die Ausbreitung von Feinstaubkomponenten zu erhalten, die durch Straßenverkehr von der Fahrbahnoberfläche aufgewirbelt werden, wurde im Winter 2010/2011 neben der LÜB-Messstation Würzburg/Stadtring Süd (WBSS) in einem Abstand von 15 m an der Fahrbahn abgewandten Seite ein weiterer Feinstaubsammler (Bezeichnung WBSS-15 m) betrieben. Die an beiden Messorten gewonnenen Proben wurden wie in [9] beschrieben analysiert. Die Ergebnisse sind einander im Folgenden gegenübergestellt.

In Abb. 25 ist der Verlauf von Natrium, in Abb. 26 der Verlauf von Chlorid im  $PM_{10}$  aufgetragen. Die Korrelation zwischen beiden Standorten ist zwar hoch, es zeigt sich aber ein deutlicher Unterschied in der Höhe der Belastung. An der LÜB-Messstation WBSS werden deutlich höhere Konzentrationen von Natrium und Chlorid als am weiter vom Fahrbahnrand entfernten Standort WBSS-15 m gefunden. Der zeitliche Verlauf von Natrium und Chlorid ist an beiden Standorten praktisch identisch und belegt, dass erhöhte Natrium- und Chloridkonzentrationen im  $PM_{10}$  fast immer in Kombination auftreten. Das stützt wiederum die Aussage, dass es sich bei der Quelle der z. T. sehr hohen Gehalte von Natrium und Chlorid im  $PM_{10}$  um Aufwirbelung von Streusalz aus dem Winterdienst handelt.

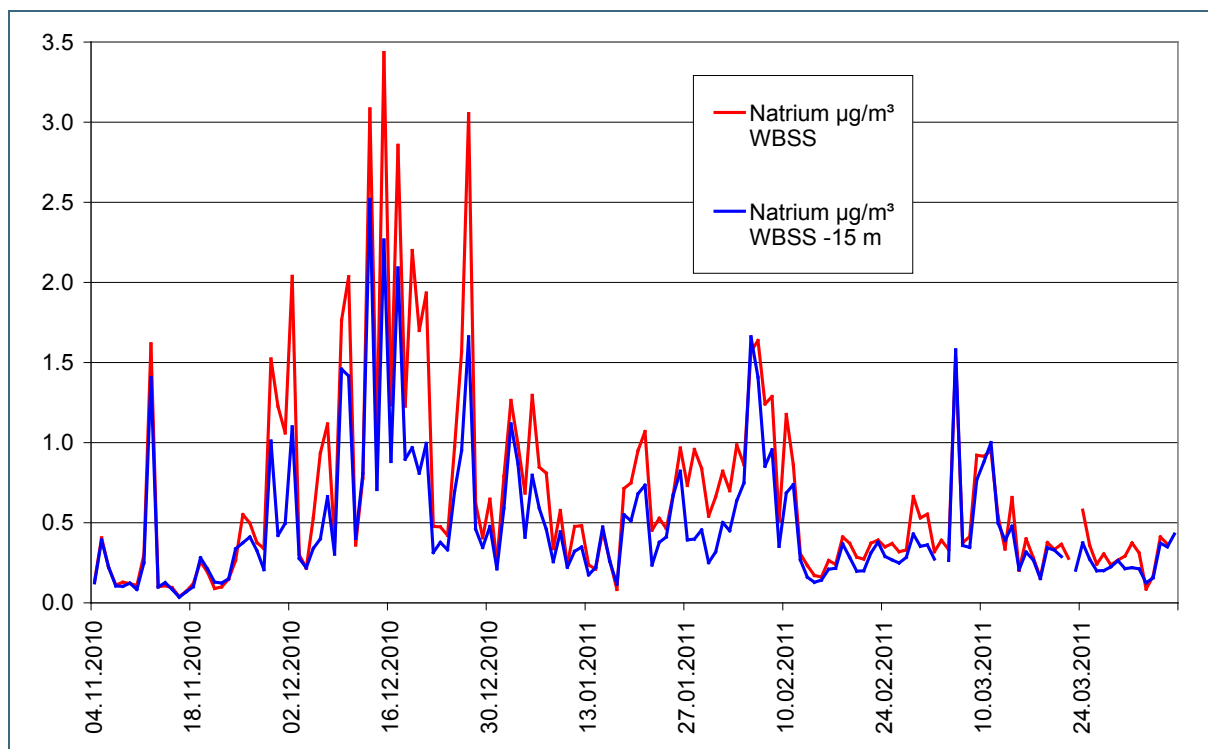


Abb. 25: Natrium im  $PM_{10}$  an der LÜB-Messstation Würzburg/Stadtring Süd (WBSS) und am 15 m von der Straße entfernten Standort (WBSS-15 m) im Winter 2010/2011

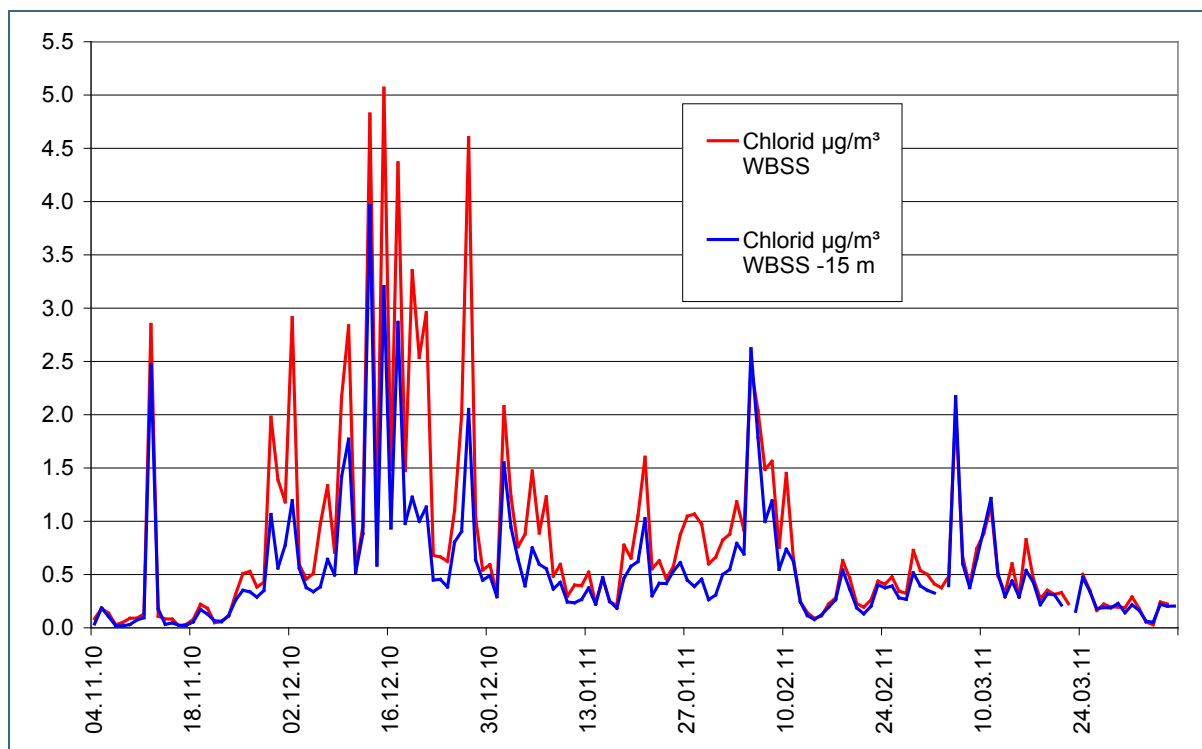


Abb. 26: Chlorid im  $\text{PM}_{10}$  an der LÜB-Messstation Würzburg/Stadtring Süd (WBSS) und am 15 m von der Straße entfernten Standort (WBSS-15 m) im Winter 2010/2011.

In Abb. 27 und Abb. 28 ist der Verlauf der Staubinhaltsstoffe Nitrat und Ammonium im  $\text{PM}_{10}$  an den Standorten WBSS und WBSS-15 m abgebildet. Wie aus den Abbildungen ersichtlich wird, sind die an beiden Standorten gemessenen Konzentrationen sehr hoch korreliert. Nitrate zeigen im städtischen Bereich eine homogene Verteilung, obwohl die Vorläufersubstanz Stickstoffdioxid in Abhängigkeit der Nähe zur Emissionsquelle stark variieren kann [15], [16], [17]. Die Bildung von Nitrat ist aber ein langsamer Prozess und benötigt nach bisherigen Erkenntnissen geeignete Bedingungen. Somit ist von einer regional eher gleichmäßigen Verteilung der Nitratkonzentration auszugehen. Obwohl der Messstandort (WBSS-15 m) 15 m weiter von der Straße entfernt liegt als die LÜB-Messstation, sind erwartungsgemäß die gemessenen Konzentrationen an beiden Standorten nahezu gleich groß.

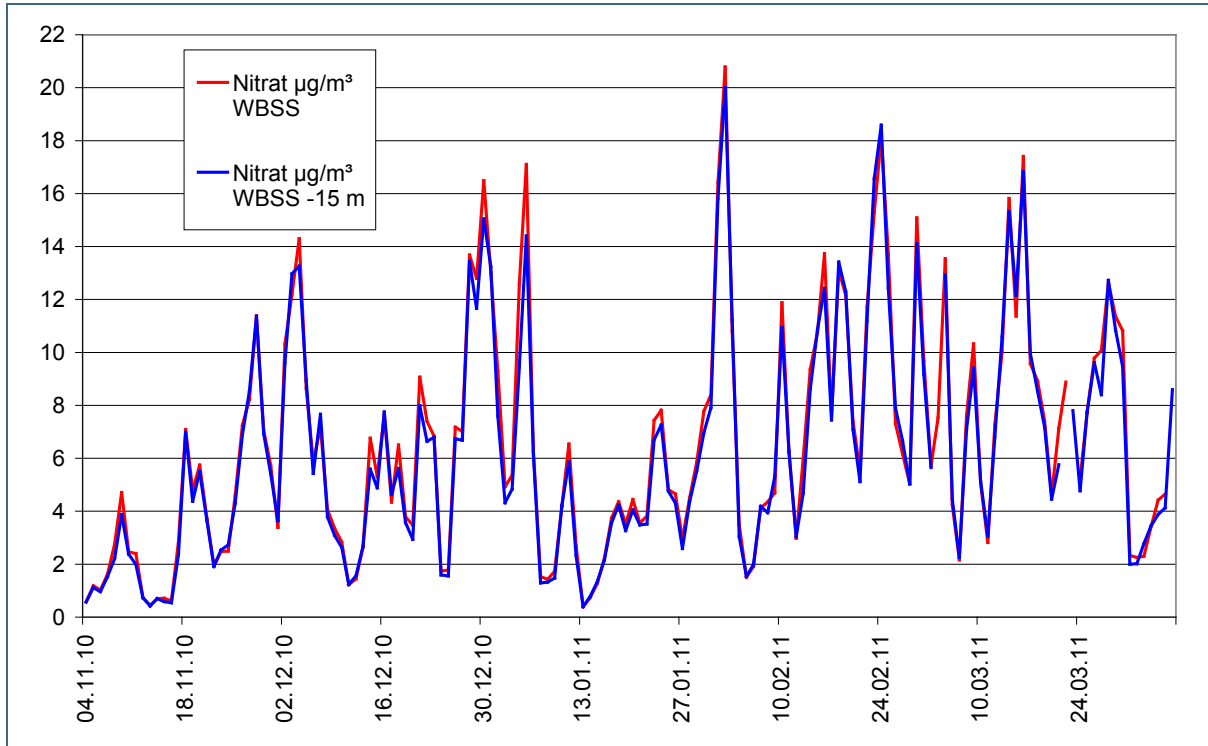


Abb. 27: Nitrat im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messtation Würzburg/Stadtring Süd (WBSS) und am 15 m von der Straße entfernten Standort (WBSS-15 m) im Winter 2010/2011.

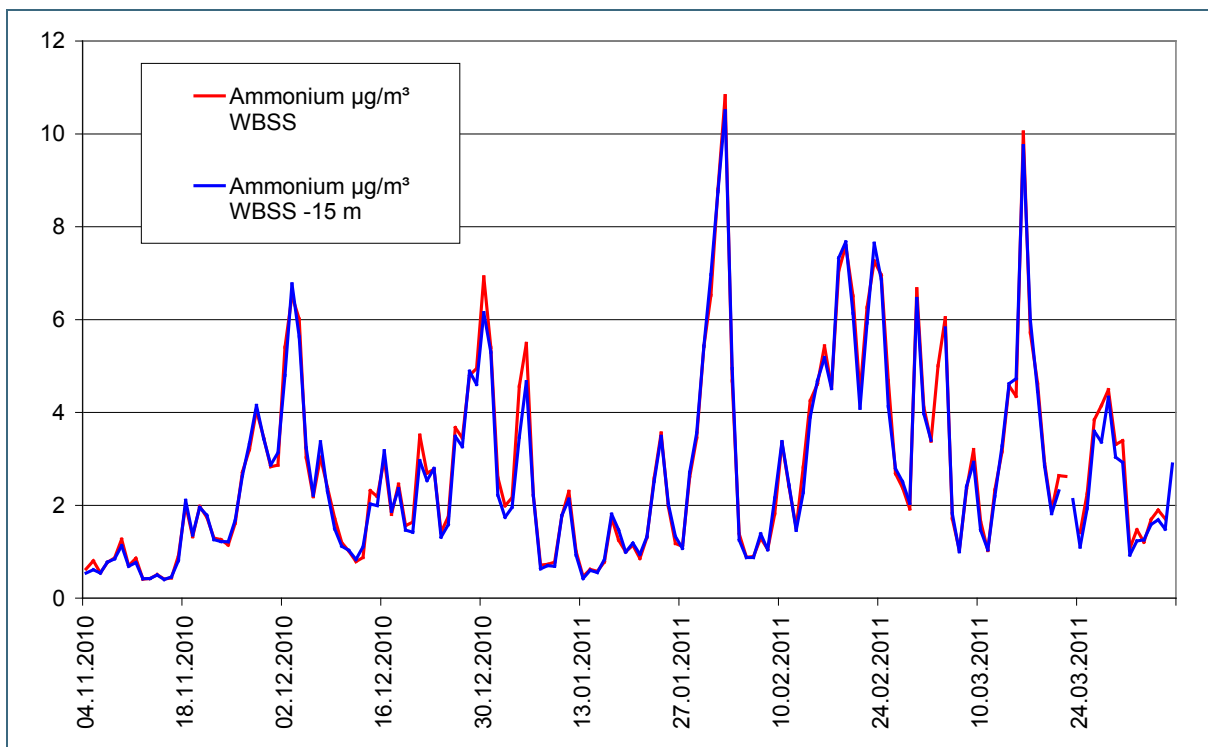


Abb. 28: Ammonium im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messtation Würzburg/Stadtring Süd (WBSS) und am 15 m von der Straße entfernten Standort (WBSS-15 m) im Winter 2010/2011.

Der zeitliche Verlauf der Komponente Calcium (Abb. 29) unterscheidet sich zwar von den Verläufen von Chlorid und Natrium, zeigt aber ebenfalls einen deutlichen Unterschied zwischen der LÜB-Messstation WBSS und dem Standort WBSS-15 m mit niedrigeren Konzentrationen bei größerer Entfernung vom Fahrbahnrand. Dies ist ein Indiz dafür, dass auch Calcium im  $PM_{10}$  an diesem Standort zum großen Teil aus Aufwirbelung durch den Straßenverkehr stammt. Bei Betrachtung der Komponente Magnesium im  $PM_{10}$  (Abb. 30) ist der starke Konzentrationsanstieg am 01.01.2011 auffällig, der von der Verwendung von Magnesium in pyrotechnischen Artikeln (Feuerwerkskörpern) herrührt. Im Zeitraum von etwa Anfang Februar bis Mitte März treten auch beim Magnesium Konzentrationsunterschiede zwischen der LÜB-Messstation WBSS und dem Standort WBSS-15 m und insgesamt ein dem Calcium ähnlicher zeitlicher Verlauf auf. Das Konzentrationsniveau ist allerdings insgesamt deutlich niedriger als beim Calcium. Viele Messwerte liegen daher bereits im Bereich der Bestimmungsgrenze.

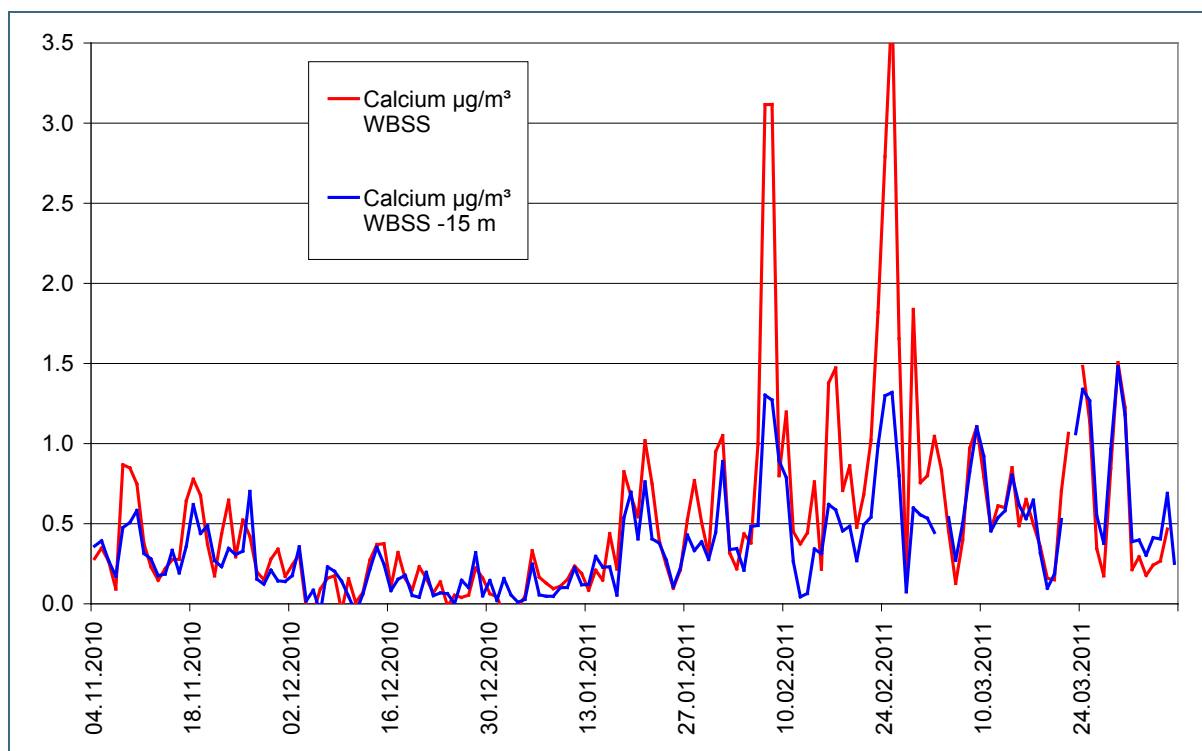


Abb. 29: Calcium im  $PM_{10}$  an der LÜB-Messstation Würzburg/Stadtring Süd (WBSS) und am 15 m von der Straße entfernten Standort (WBSS-15 m) im Winter 2010/2011.

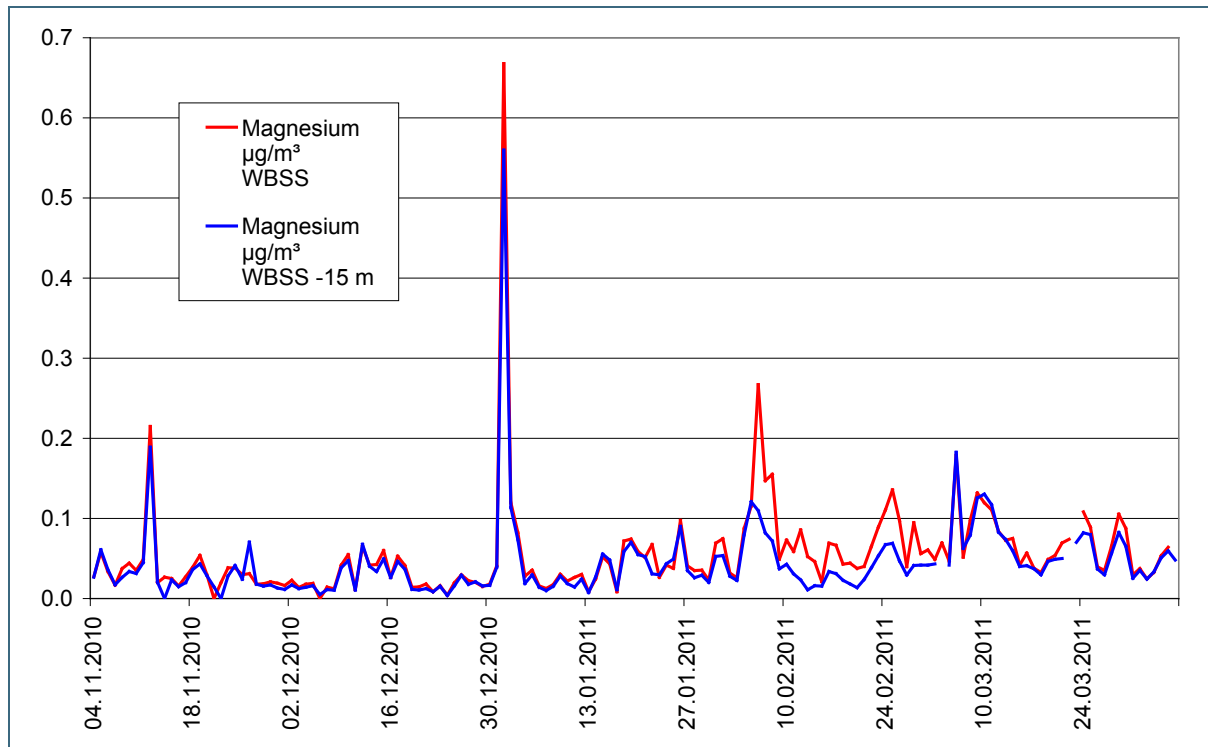


Abb. 30: Magnesium im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Würzburg/Stadtring Süd (WBSS) und am 15 m von der Straße entfernten Standort (WBSS-15 m) im Winter 2010/2011.

Die Konzentrationen von NaCl im PM<sub>10</sub> nach der in Kap. 3.3 beschriebenen Anwendung des Schwellenwerts von 1 µg/m<sup>3</sup> und die Plausibilisierung über das molare Verhältnis sind in Abb. 32 für die LÜB-Messstation WBSS sowie in Abb. 31 für WBSS-15 m dargestellt. Im Mittel finden sich am weiter vom Fahrbandrand entfernten Standort WBSS-15 m nur noch ca. 69 % der an der LÜB-Messstation WBSS gemessenen Konzentrationen von Natrium und Chlorid im PM<sub>10</sub>. An der LÜB-Messstation WBSS wurde im Winter 2010/2011 an 56 Tagen ein signifikanter Einfluss von NaCl aus der Aufwirbelung von Streusalz aus dem Winterdienst auf die PM<sub>10</sub>-Konzentration gefunden. Am nur 15 Meter weiter von der Straße entfernt liegenden Standort WBSS-15 m waren es nur 29 Tage.

Wie zu erwarten, nimmt der Einfluss des im Straßenverkehr aufgewirbelten Streusalzes mit steigendem Abstand vom Fahrbandrand ab. Die höchsten Anteile von Natriumchlorid im PM<sub>10</sub> werden erwartungsgemäß an beiden Standorten an denselben Tagen gefunden.

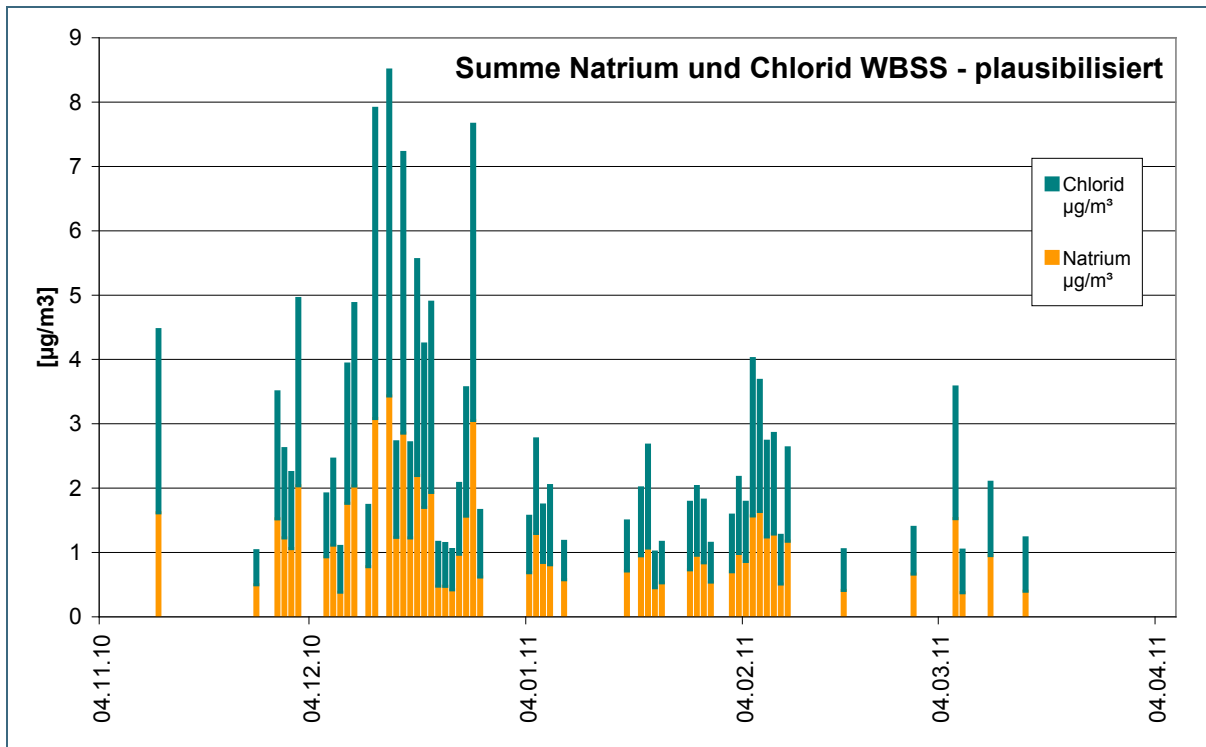


Abb. 31: Natrium und Chlorid im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messtation Würzburg/Stadtring Süd (WBSS) im Winter 2010/2011 nach Plausibilisierung.

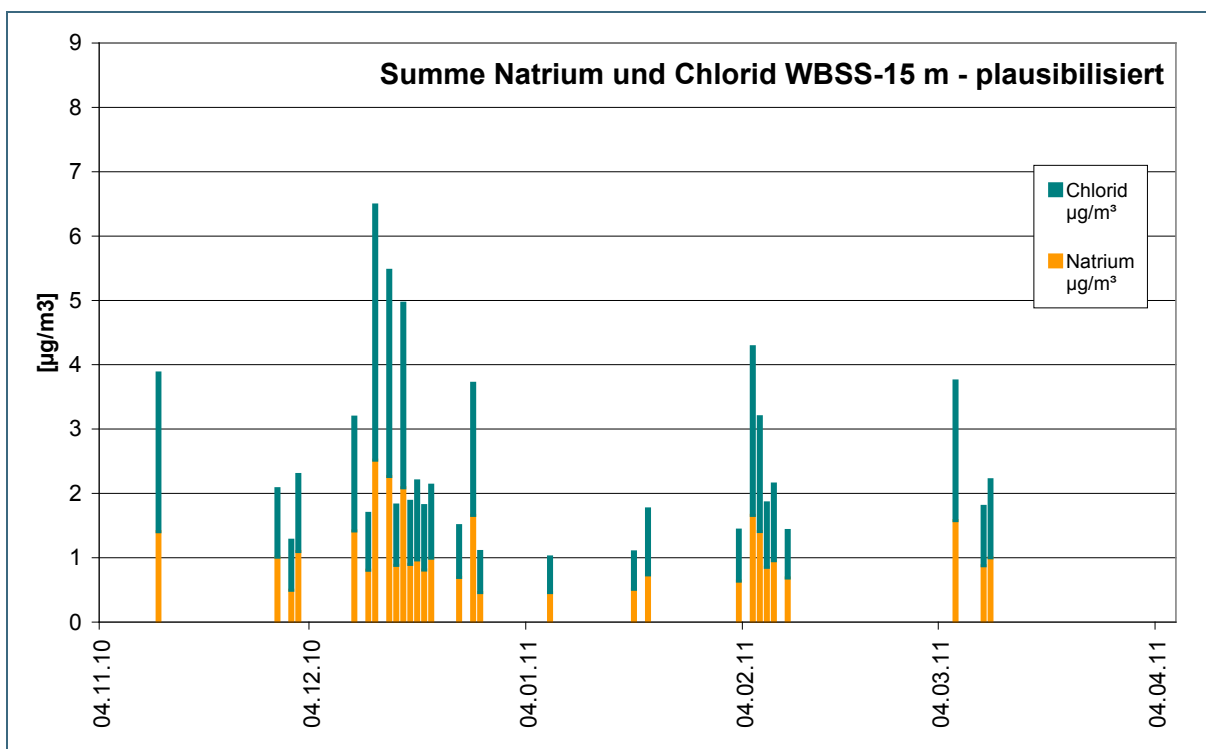


Abb. 32: Natrium und Chlorid im PM<sub>10</sub> am 15 m entfernten Standort von der LÜB-Messtation Würzburg/Stadtring Süd (WBSS-15 m) im Winter 2010/2011 nach Plausibilisierung.

#### 4.1.5 Hintergrundgehalte von Natrium- und Chlorid im PM<sub>10</sub>

Als Hintergrundstandort zur Ermittlung der Abhängigkeit der Streusalzanteile von standortspezifischen Parametern wurden an der LÜB-Messstation Tiefenbach/Altenschneeberg (siehe Abb. 33) im Winter 2009/2010 Feinstaubproben (PM<sub>10</sub>) genommen und wie in Kap. 2.2.1 beschrieben analysiert. Diese LÜB-Messstation ist für den ländlich regionalen Hintergrund repräsentativ und liegt weit abseits vielbefahrener Straßen, so dass hier kein nennenswerter Einfluss der Aufwirbelung von Streusalz durch den Straßenverkehr vorhanden ist. Die Ergebnisse der Staubinhaltsstoffanalysen auf die Komponenten Natrium und Chlorid sind als Rohdaten in Abb. 34 und nach Auswertung der Signifikanzschwelle über das molare Verhältnis von Natrium zu Chlorid (siehe Kap. 3.3) in Abb. 35 dargestellt.

An der LÜB-Messstation Tiefenbach/Altenschneeberg wurde während des Winters 2009/2010 an keinem einzigen Tag ein Einfluss von NaCl auf die PM<sub>10</sub>-Konzentration festgestellt. Auffällig ist zudem der Überschuss von Natrium, der auf einen Eintrag von Natrium aus anderen Quellen (kein Streusalz) hinweist, wie er an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee im Sommer beobachtet wurde. Es wäre denkbar, dass es sich hierbei überwiegend um verfrachtete Seesalzpartikel handelt, die bei ihrem Transport durch die Atmosphäre infolge Versauerung der Oberfläche durch Absorption gasförmiger Säuren Chlorid als HCl „verlieren“. Diese Partikel werden dann nach vollständiger Umwandlung an der LÜB-Messstation als Natriumnitrat detektiert [13], wodurch sich der Natriumüberschuss (Abweichung vom molaren Verhältnis 1:1 von Natrium zu Chlorid) in den Proben erklärt. Die insgesamt sehr niedrigen Messwerte zeigen allerdings, dass dieser überregionale Eintrag an LÜB-Messstationen im Vergleich zur Aufwirbelung von im Winterdienst ausgebrachtem Streusalz mengenmäßig nicht relevant ist.



Abb. 33:  
LÜB-Messstation  
Tiefenbach/Altenschneeberg (TBAL),  
Stationsansicht Blick-  
richtung Ost.



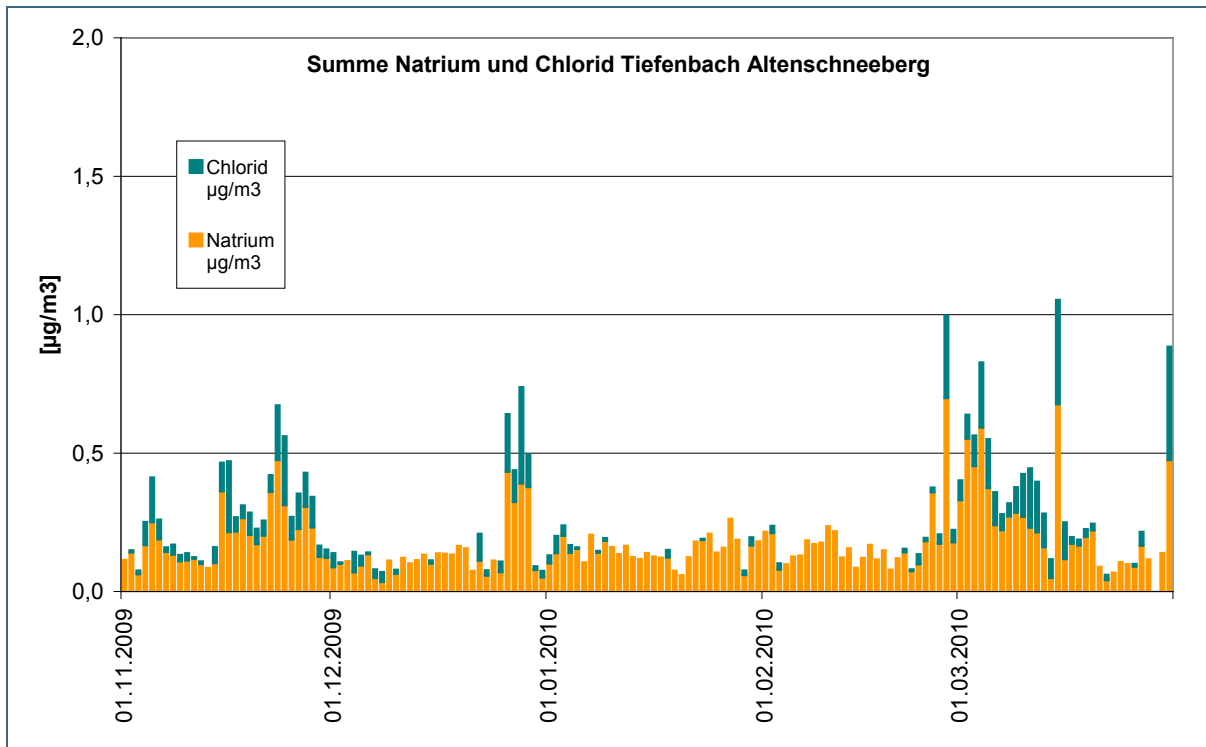


Abb. 34: Natrium und Chlorid im  $\text{PM}_{10}$  an der LÜB-Messtation Tiefenbach/Altenschneeberg (TBAL) im Winter 2009/2010.b

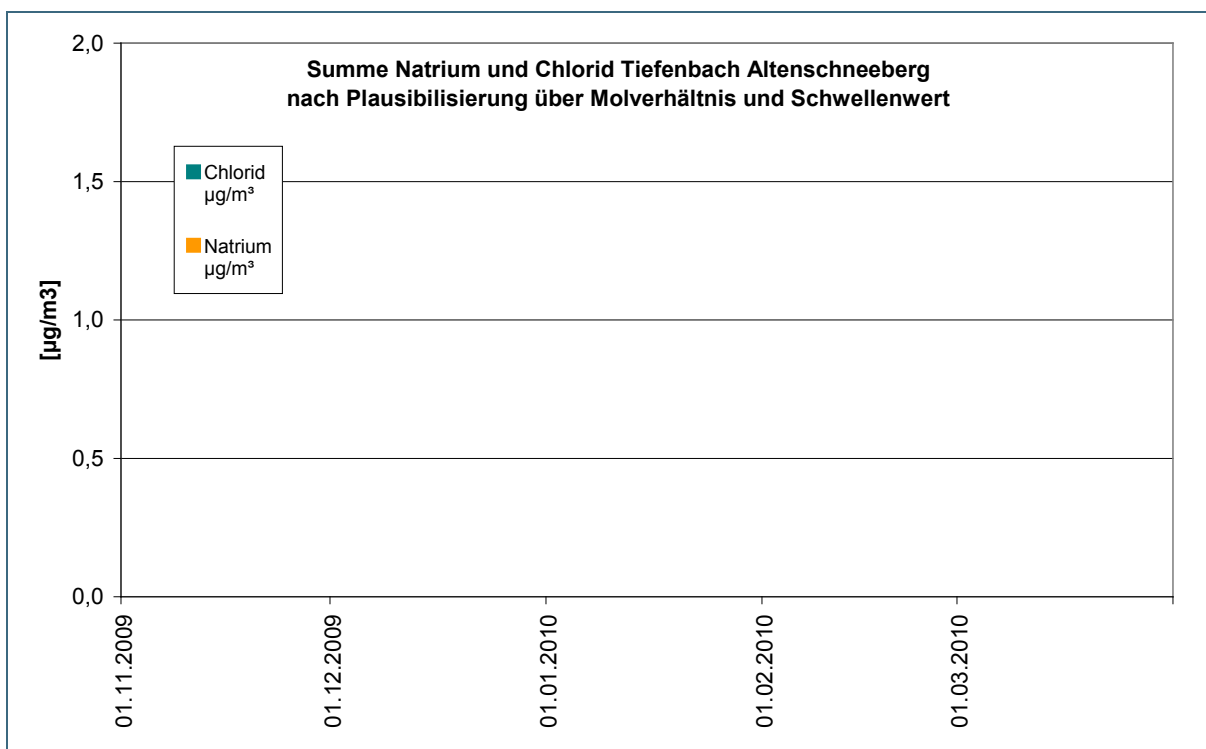


Abb. 35: Natrium und Chlorid im  $\text{PM}_{10}$  an der LÜB-Messtation Tiefenbach/Altenschneeberg (TBAL) im Winter 2009/2010 nach Plausibilisierung.

#### 4.1.6 Natrium- und Chloridgehalte im PM<sub>10</sub> im Winter 2009/2010

Zur Ermittlung der Abhängigkeit der Streusalzanteile von standortspezifischen Parametern wurden im Zeitraum vom 01.11.2009 bis 31.03.2010 (Winter 2009/2010) an verschiedenen LÜB-Messtationen Staubinhaltsstoffanalysen auf Natrium und Chlorid durchgeführt. Die Ergebnisse wurden wie in Kap. 3.3 beschrieben ausgewertet (Signifikanzschwelle 1 µg/m<sup>3</sup> für die Summe aus Natrium und Chlorid, molares Verhältnis von Natrium zu Chlorid 1:1 ± 50%) und sind in Abb. 36 (LÜB-Messtation Augsburg/ Karlstraße), Abb. 37 (LÜB-Messtation Würzburg/Stadtring Süd) und Abb. 38 (LÜB-Messtation Würzburg/Kardinal-Faulhaber-Platz) dargestellt. In Tab. 11 sind für alle im Winter 2009/2010 durchgeführten Feinstaubinhaltsstoffanalysen die maximalen Konzentrationen von Natrium und Chlorid im PM<sub>10</sub>, die jeweiligen Anteile am PM<sub>10</sub> und die Anzahl der Tage, an denen die PM<sub>10</sub>-Konzentrationen an den jeweils betrachteten Standorten durch die Aufwirbelung von Streusalz signifikant (mehr als 1 µg/m<sup>3</sup>) erhöht waren, aufgeführt. Aus den hier aufgeführten Daten geht deutlich der an verkehrsnahen LÜB-Messtationen bedeutende Einfluss der Aufwirbelung von Streusalz auf die PM<sub>10</sub>-Tagesmittelkonzentrationen hervor.

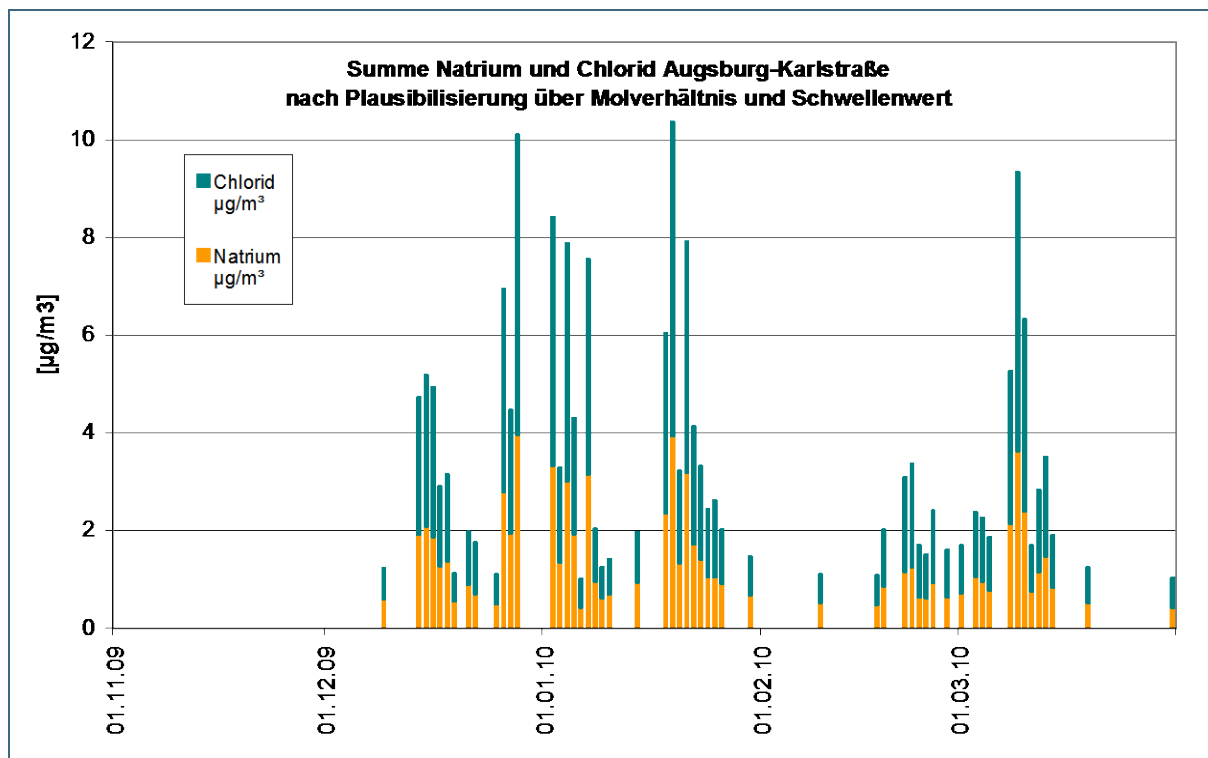


Abb. 36: Natrium und Chlorid im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messtation Augsburg/Karlstraße (AUKA) im Winter 2009/2010 nach Plausibilisierung.

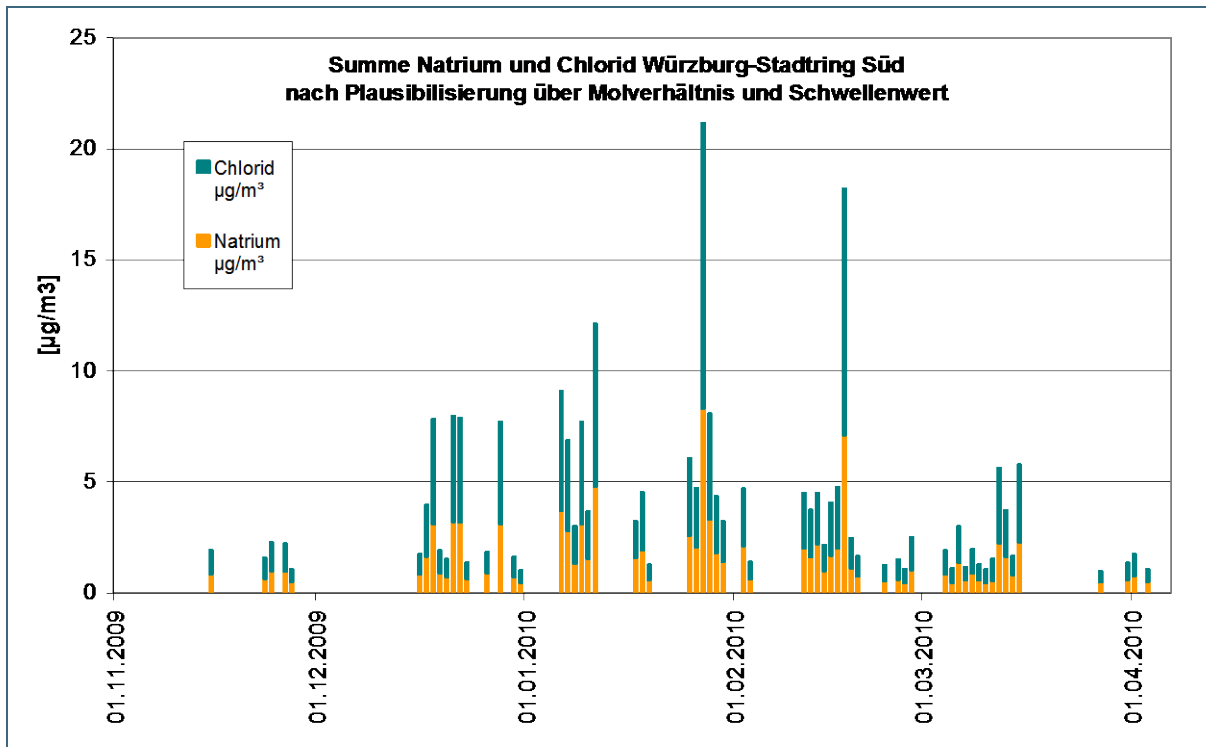


Abb. 37: Natrium und Chlorid im  $\text{PM}_{10}$  an der LÜB-Messtation Würzburg/Stadtring Süd (WBSS) im Winter 2009/2010 nach Plausibilisierung.

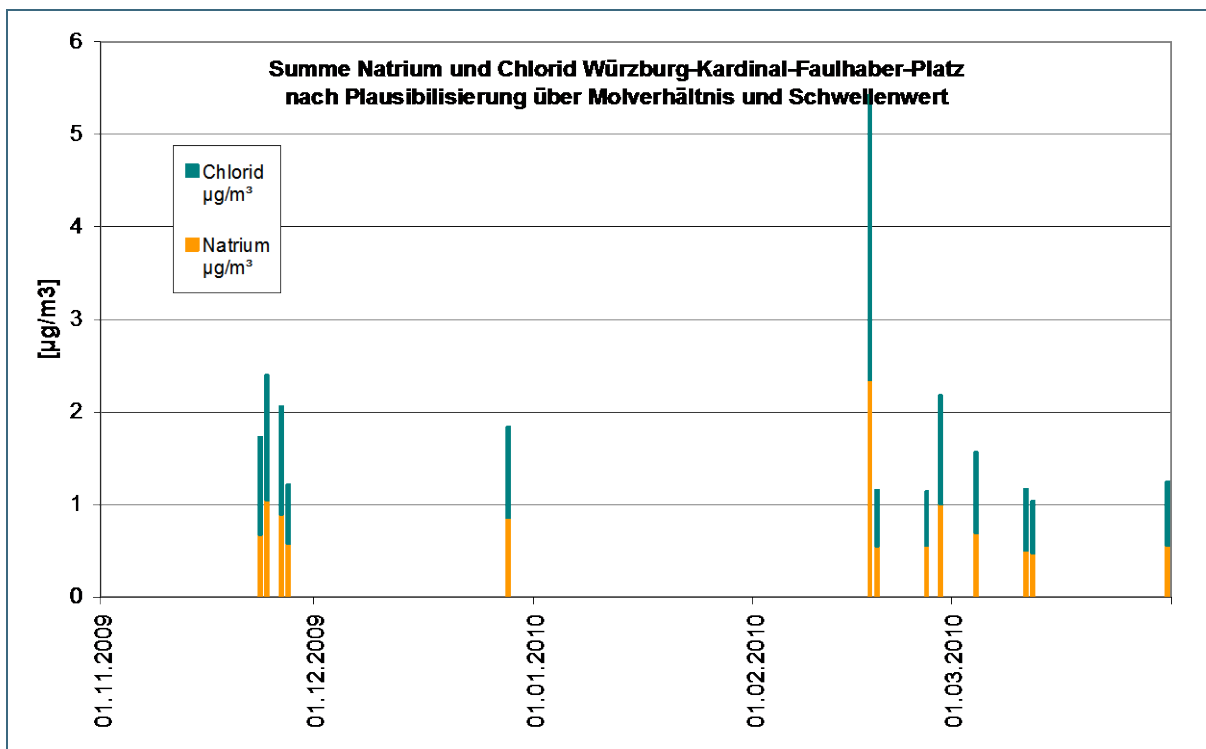


Abb. 38: Natrium und Chlorid im  $\text{PM}_{10}$  an der LÜB-Messtation Würzburg/Kardinal-Faulhaber-Platz (WBKA) im Winter 2009/2010 nach Plausibilisierung.

Tab. 11: Einfluss von Natriumchlorid auf die PM<sub>10</sub>-Feinstaubkonzentration an verschiedenen LÜB-Messstationen im Winter 2009/10.

LÜB-Messstation	höchster NaCl-Gehalt im PM <sub>10</sub>	Tage mit signifikantem Einfluss von NaCl auf PM <sub>10</sub>
Tiefenbach/Altenschneeberg	-	0
Augsburg/Karlstraße	10,4 µg/m <sup>3</sup>	55
Augsburg/Königsplatz	7,0 µg/m <sup>3</sup>	44
Würzburg/Stadtring Süd	21,2 µg/m <sup>3</sup>	63
Würzburg/Kardinal-Faulhaber-Straße	5,4 µg/m <sup>3</sup>	13
München/Landshuter Allee-PM <sub>10</sub>	48,0 µg/m <sup>3</sup>	97
Oberaudorf/Inntalautobahn-PM <sub>10</sub>	14,3 µg/m <sup>3</sup>	83

Im Winter 2009/10 wurde auch der Einfluss von Natriumchlorid auf die PM<sub>2,5</sub>-Konzentration exemplarisch an den LÜB-Standorten München/Landshuter Allee und Oberaudorf/Inntalautobahn untersucht. An der LÜB-Messstation Oberaudorf/Inntalautobahn konnte kein NaCl im PM<sub>2,5</sub> nachgewiesen werden. An der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee wurde an 24 Tagen ein signifikanter Einfluss von NaCl auf PM<sub>2,5</sub> beobachtet. Der höchste NaCl-Gehalt im PM<sub>2,5</sub> betrug 7,3 µg/m<sup>3</sup>.

#### 4.1.7 Natrium- und Chloridgehalte im PM<sub>10</sub> im Winter 2010/2011

In Tab. 12 sind für alle im Zeitraum vom 01.11.2010 bis 31.03.2011 (Winter 2010/2011) durchgeführten Feinstaubinhaltsstoffanalysen die maximalen Konzentrationen von Natriumchlorid im PM<sub>10</sub>, die jeweiligen Anteile am PM<sub>10</sub> und die Anzahl der Tage, an denen die PM<sub>10</sub>-Konzentrationen an den jeweils betrachteten Standorten durch die Aufwirbelung von Streusalz signifikant (mehr als 1 µg/m<sup>3</sup>) erhöht waren, aufgeführt. Dabei zeigt sich erneut, dass die verkehrsnahen LÜB-Messstation München/Landshuter Allee mit ihren sehr hohen Fahrzeugzahlen (DTV) von mehr als 130.000 Kfz pro Tag stark durch die Aufwirbelung von im Winterdienst ausgebrachtem Streusalz betroffen ist. An der Landshuter Allee sind im Bereich der LÜB-Messstation außerdem kaum Bebauungslücken vorhanden (Straßenschluchtcharakter), so dass am Messort ein eingeschränkter Luftaustausch besteht. Zudem werden relativ hohe Fahrgeschwindigkeiten erreicht, welche die Aufwirbelung begünstigen. Die Höchstkonzentration von Natriumchlorid im PM<sub>10</sub> wurde im Winter 2010/2011 mit 36,0 µg/m<sup>3</sup> wieder an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee gemessen; ein Einfluss von Streusalz auf die PM<sub>10</sub>-Konzentrationen (NaCl >1 µg/m<sup>3</sup>) wurde an 102 Tagen festgestellt.

Tab. 12: Einfluss von Natriumchlorid auf die PM<sub>10</sub>-Feinstaubkonzentration an verschiedenen LÜB-Messstationen im Winter 2010/11.

LÜB-Messstation	höchster NaCl-Gehalt im PM <sub>10</sub>	Tage mit signifikantem Einfluss von NaCl auf PM <sub>10</sub>
München/Landshuter Allee	36,0 µg/m <sup>3</sup>	102
Augsburg/Karlstraße	15,4 µg/m <sup>3</sup>	52
Augsburg/Königsplatz	11,8 µg/m <sup>3</sup>	35
Oberaudorf/Inntalautobahn	11,2 µg/m <sup>3</sup>	88
Würzburg/Stadtring Süd	8,5 µg/m <sup>3</sup>	56
Würzburg/Stadtring Süd -15 m	6,5 µg/m <sup>3</sup>	29
München/Stachus	12,6 µg/m <sup>3</sup>	47
Nürnberg/Von-der-Tann-Straße	20,3 µg/m <sup>3</sup>	40
Landshut/Podewilsstraße	4,0 µg/m <sup>3</sup>	14

#### 4.1.8 Natrium- und Chloridgehalte im PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> im Winter 2011/2012

In Tab. 13 sind für alle im Zeitraum vom 01.11.2011 bis 31.03.2012 (Winter 2011/2012) untersuchten LÜB-Messstationen die maximalen Konzentrationen von Natriumchlorid im PM<sub>10</sub> aufgeführt. Darüber hinaus ist die Anzahl der Tage, an denen die PM<sub>10</sub>-Konzentrationen an den jeweils betrachteten LÜB-Standorten signifikant durch die Aufwirbelung von Streusalz gemäß der in Kap. 3.3 beschriebenen Kriterien (Summe NaCl größer 1 µg/m<sup>3</sup>, molares Verhältnis Na/Cl zwischen 0,66 und 1,5) erhöht waren, angegeben. Diese Kenngrößen ermöglichen eine Einschätzung, ob am jeweils betrachteten Standort die PM<sub>10</sub>-Tagesmittelkonzentrationen deutlich durch die Aufwirbelung von Streusalz beeinflusst sind. Aus den Daten geht erneut der bedeutende Einfluss von besonders verkehrlich belasteten LÜB-Messstationen hervor. An der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee mit dem höchsten Verkehrsaufkommen sind die meisten Tage mit signifikantem Einfluss von NaCl auf die PM<sub>10</sub>-Konzentration zu beobachten. Die Anzahl der Tage mit signifikantem Einfluss der Aufwirbelung von Streusalz auf die PM<sub>10</sub>-Konzentrationen (größer 1 µg/m<sup>3</sup>) ist zwar im Winter 2011/2012 geringer als in den vorangegangenen beiden Jahren, allerdings treten im Winter 2011/2012 sehr hohe Maximalwerte des Streusalzgehaltes auf.

An der LÜB-Messstation Kelheim/Regensburger Straße (DTV 2010: ca. 13.000 KFZ/24 h) wird im Winter 2011/2012 mit 37 µg/m<sup>3</sup> eine Maximalkonzentration von Natriumchlorid im PM<sub>10</sub> aus Aufwirbelung von Streusalz erreicht, die die Maximalkonzentration an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (DTV 2010: mehr als 130.000 Kfz/24 h) im Winter 2011/2012 von 33 µg/m<sup>3</sup> sogar noch übertrifft. In Abb. 39 und Abb. 40 sind die Verläufe von Natriumchlorid im PM<sub>10</sub> im Winter 2011/2012 an den LÜB-Messstationen München/Landshuter Allee und Kelheim/Regensburger Straße verglichen. In Abb. 41 und Abb. 42 sind die LÜB-Messstation Kelheim/Regensburger Straße aus verschiedenen Blickrichtungen dargestellt. Sie befindet sich in einer langgezogenen Kurve direkt am nordwestlichen Fahrbahnrand einer nach Westen hin abfallenden Straße. Eine Ortseinsicht ergab, dass hier augenscheinlich höhere Fahrzeuggeschwindigkeiten möglich und üblich sind. Dies führt offensichtlich unter bestimmten Fahrbahnbedingungen zu einer starken Aufwirbelung von Streusalz. Dagegen sind an der LÜB-Messstation Kelheim/Regensburger Straße sowohl die mittleren NaCl-Konzentrationen im PM<sub>10</sub> als auch die Anzahl der Tage mit Einfluss der Aufwirbelung von Streusalz auf die PM<sub>10</sub>-Tagesmittelkonzentrationen erwartungsgemäß niedriger als an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee. Die höhere Verkehrsdichte führt an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee erwartungsgemäß zu höheren Mittelwerten für die Aufwirbelung von Streusalz.

Tab. 13: Einfluss von Natriumchlorid auf die PM<sub>10</sub>-Feinstaubkonzentration an verschiedenen LÜB-Messstationen im Winter 2011/12.

LÜB-Messstation	höchster NaCl-Gehalt im PM <sub>10</sub>	Tage mit signifikantem Einfluss von NaCl auf PM <sub>10</sub>
München/Landshuter Allee	33,2 µg/m <sup>3</sup>	72
Augsburg/Karlstraße	33,5 µg/m <sup>3</sup>	41
Augsburg/Königsplatz	27,6 µg/m <sup>3</sup>	22
Würzburg/Stadtring Süd	35,7 µg/m <sup>3</sup>	27
München/Stachus	9,7 µg/m <sup>3</sup>	27
Nürnberg/Von-der-Tann-Straße	11,2 µg/m <sup>3</sup>	27
Burghausen/Marktler Straße	4,2 µg/m <sup>3</sup>	8
Kelheim/Regensburger Straße	37,4 µg/m <sup>3</sup>	28
Kulmbach/Konrad-Adenauer-Straße	4,8 µg/m <sup>3</sup>	7
Lindau/Holdereggenstraße	27,2 µg/m <sup>3</sup>	25
Passau/Stelzhamerstraße	7,5 µg/m <sup>3</sup>	13
Regensburg/Rathaus	13,9 µg/m <sup>3</sup>	16

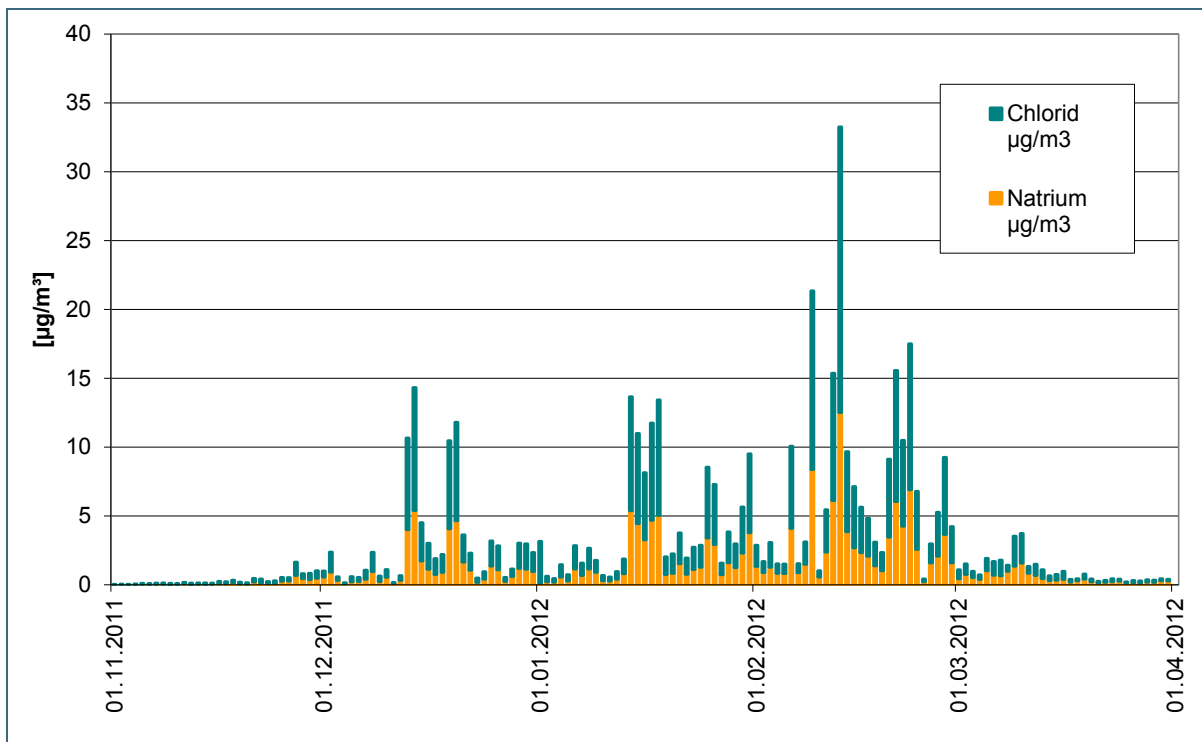


Abb. 39: Natrium und Chlorid im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messtation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2011/2012.

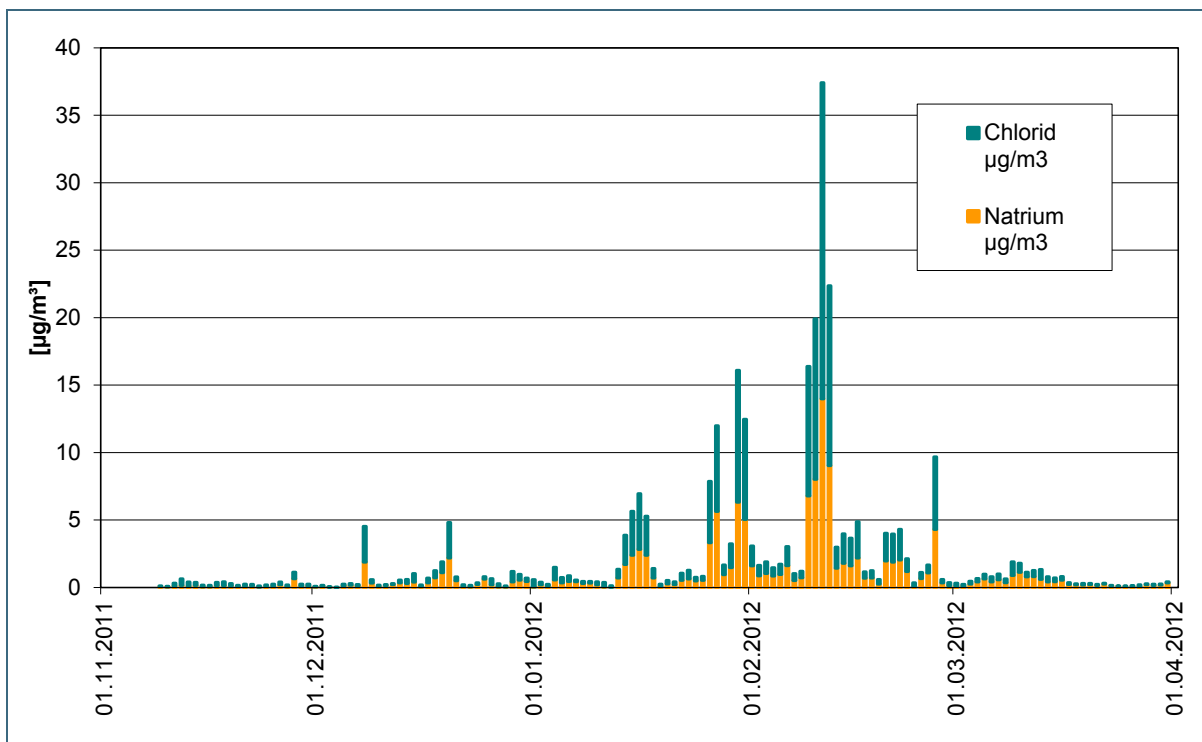


Abb. 40: Natrium und Chlorid im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messtation Kelheim/Regensburger Straße (KERE) im Winter 2011/2012.



Abb. 41: Lage der Messstation Kelheim/Regensburger Straße (KERE) – Blick nach Westen.



Abb. 42: Lage der Messstation Kelheim/Regensburger Straße (KERE) – Blick nach Osten.

Im Winter 2011/12 wurde erneut der Einfluss von Natriumchlorid auf die  $PM_{2,5}$ -Konzentration am LÜB-Standort München/Landshuter Allee untersucht. Dort wurde an drei Tagen ein signifikanter Einfluss von NaCl auf  $PM_{2,5}$  beobachtet. Der höchste NaCl-Gehalt im  $PM_{2,5}$  betrug  $4,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### 4.1.9 Natrium- und Chloridgehalte im $PM_{10}$ und $PM_{2,5}$ im Winter 2012/2013

In Tab. 14 sind für alle im Zeitraum vom 01.11.2012 bis 31.03.2013 (Winter 2012/2013) untersuchten LÜB-Messstationen die maximalen Konzentrationen von Natriumchlorid im  $PM_{10}$  aufgeführt. Darüber hinaus ist die Anzahl der Tage angegeben, an denen die  $PM_{10}$ -Konzentrationen am jeweils betrachteten LÜB-Standort signifikant durch die Aufwirbelung von Streusalz erhöht waren.

Tab. 14: Einfluss von Natriumchlorid auf die  $PM_{10}$ -Feinstaubkonzentration an verschiedenen LÜB-Messstationen im Winter 2012/13.

LÜB-Messstation	höchster NaCl-Gehalt im $PM_{10}$	Tage mit signifikantem Einfluss von NaCl auf $PM_{10}$
München/Landshuter Allee	$49,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$	88
München/Landshuter Allee-STV (22.10.12-14.01.13)	$35,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$	32
Augsburg/Karlstraße	$20,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$	33
Augsburg/Königsplatz	$4,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$	11
Würzburg/Stadtring Süd	$10,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	31
München/Stachus	$15,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$	39
Nürnberg/Von-der-Tann-Straße	$20,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$	45
Regensburg/Rathaus	$18,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$	21
Ansbach/Residenzstraße	$7,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$	16

Da die LÜB-Messstation München/Landshuter Allee durch einen vergrößerten Messcontainer ersetzt wurde, der aus Platzgründen um ca. 12 m in südlicher Richtung verlegt werden musste, ergab sich die Möglichkeit, am geplanten Standort zeitweise einen zusätzlichen Feinstaubsammler (Bezeichnung MÜLASTV) zu betreiben und die dabei gewonnenen Feinstaubproben auf winterdienstspezifische Komponenten zu untersuchen. Die an diesem Standort im Zeitraum vom 22.10.2012 bis 14.01.2013 erhaltenen Proben wurden analog zu den an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (Bezeichnung MÜLA) genommenen Proben analysiert und ermöglichen einen direkten Vergleich der beiden benachbarten Standorte. Aus Vergleichen von Staubinhaltsstoffanalysen von Proben von der LÜB-Messstation WBSS mit Proben des etwa 15 m weiter vom Fahrbahnrand entfernten Standorts WBSS-15 m im Rahmen dieses Projektes (siehe Kap. 4.1.4) ist bereits bekannt, dass bei steigender Entfernung vom Fahrbahnrand die Konzentrationen aufgewirbelter Komponenten deutlich zurückgehen. Die Standorte MÜLA und MÜLASTV liegen etwa gleich weit vom Fahrbahnrand entfernt. Allerdings ist die Ansaughöhe der Probenahme bei MÜLASTV etwas geringer als bei MÜLA.

In Abb. 43 und in Abb. 44 sind die Verläufe von Natrium und Chlorid im  $PM_{10}$  an der LÜB-Messstation MÜLA sowie am Standort MÜLASTV aufgetragen. Aus den dargestellten Daten geht hervor, dass die an beiden Standorten gemessenen Konzentrationen im Rahmen der Messgenauigkeit des verwendeten Analyseverfahrens identisch sind. Auffällig ist auch die deutlich erhöhte Chloridkonzentration am 01.01.2013, die an beiden Messorten gefunden wird und nicht mit einem Anstieg der Natriumkonzentrationen korreliert. Sie wird durch die Verwendung chloridhaltiger Verbindungen (z. B. von Alkali- und Erdalkalisalzen) beim Neujahrsfeuerwerk verursacht.



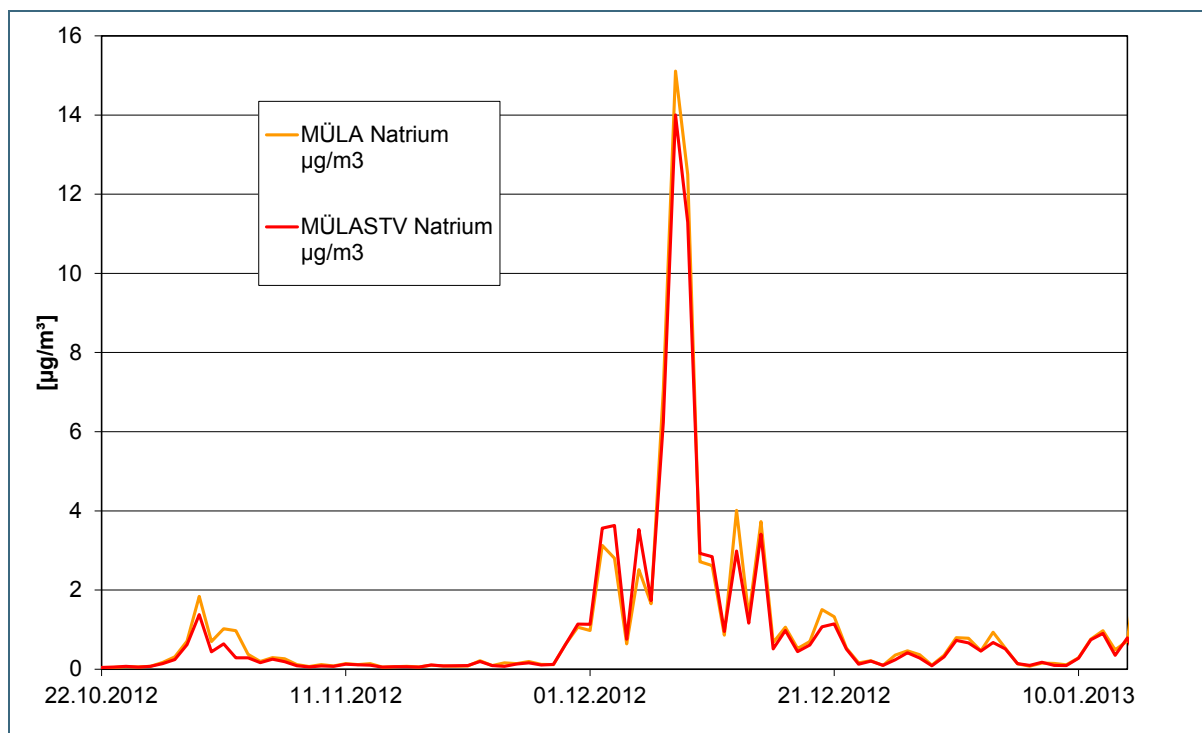


Abb. 43: Natrium im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messstation MÜLA und am Standort MÜLASTV vom 22.10.2012 bis 14.01.2013.

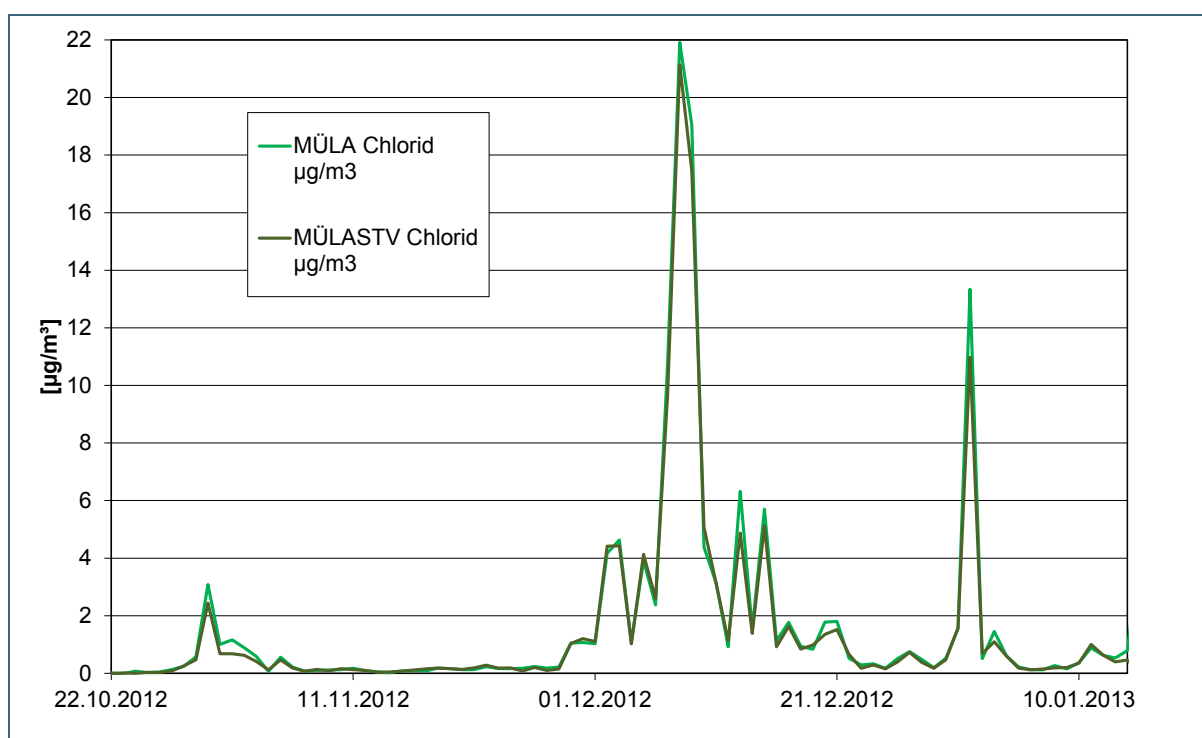


Abb. 44: Chlorid im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messstation MÜLA und am Standort MÜLASTV vom 22.10.2012 bis 14.01.2013.

Im Winter 2012/13 wurde erneut der Einfluss von Natriumchlorid auf die PM<sub>2,5</sub>-Konzentration am LÜB-Standort München/Landshuter Allee untersucht. Dort wurde an vier Tagen ein signifikanter Einfluss von NaCl auf PM<sub>2,5</sub> beobachtet. Der höchste NaCl-Gehalt im PM<sub>2,5</sub> betrug 2,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### 4.1.10 Natrium- und Chloridgehalte im PM<sub>10</sub> im Winter 2013/2014

In Tab. 15 sind alle im Zeitraum vom 01.11.2013 bis 31.03.2014 (Winter 2013/2014) untersuchten LÜB-Messstationen und in Tab. 16 für weitere Standorte die maximalen Konzentrationen von Natriumchlorid im PM<sub>10</sub> an der entsprechenden Station aufgeführt. Darüber hinaus ist die Anzahl der Tage angegeben, an denen die PM<sub>10</sub>-Konzentrationen am jeweils betrachteten Standort signifikant durch die Aufwirbelung von Streusalz erhöht waren. Diese Kenngrößen ermöglichen eine Einschätzung, an welchen Standorten die PM<sub>10</sub>-Tagesmittelkonzentrationen deutlich durch die Aufwirbelung von Streusalz beeinflusst werden.

Tab. 15: Einfluss von Natriumchlorid auf die PM<sub>10</sub>-Feinstaubkonzentration an verschiedenen LÜB-Messstationen im Winter 2013/14.

LÜB-Messstation	höchster NaCl-Gehalt im PM <sub>10</sub>	Tage mit signifikantem Einfluss von NaCl auf PM <sub>10</sub>
München/Landshuter Allee	39,5 µg/m <sup>3</sup>	79
Augsburg/Karlstraße	17,3 µg/m <sup>3</sup>	33
Augsburg/Königsplatz	5,6 µg/m <sup>3</sup>	22
Würzburg/Stadtring Süd	3,7 µg/m <sup>3</sup>	27
München/Stachus	10,8 µg/m <sup>3</sup>	51
Nürnberg/Von-der-Tann-Straße	16,1 µg/m <sup>3</sup>	36
Kelheim/Regensburger Straße	12,8 µg/m <sup>3</sup>	24
Regensburg/Rathaus	15,6 µg/m <sup>3</sup>	24

Tab. 16: Einfluss von Natriumchlorid auf die PM<sub>10</sub>-Feinstaubkonzentration an weiteren Standorten im Winter 2013/14.

Standort	höchster NaCl-Gehalt im PM <sub>10</sub>	Tage mit signifikantem Einfluss von NaCl auf PM <sub>10</sub>
Karlsfeld/Münchner Straße (01.11.13-18.03.14)	13,8 µg/m <sup>3</sup>	46
Trostberg/Am Vormarkt	34,0 µg/m <sup>3</sup>	71
München/Freimann Autobahn A9	17,2 µg/m <sup>3</sup>	51

In Abb. 45 und Abb. 46 sind zur Verdeutlichung der meteorologischen Unterschiede in den beiden Winterperioden die Verläufe von Natriumchlorid im PM<sub>10</sub> in den Winterperioden 2012/2013 und 2013/2014 an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee verglichen. Während der Winter 2012/13 relativ lang und kalt war, war der Winter 2013/14 relativ mild und ungewöhnlich kurz. Aufgrund der unterschiedlichen Meteorologie der beiden Winter unterscheiden sich auch die Messergebnisse für NaCl im PM<sub>10</sub> deutlich: Im Winter 2012/2013 wurde relativ gleichmäßig und fast bis Ende März immer wieder ein Einfluss von Streusalz auf PM<sub>10</sub> festgestellt. Im Winter 2013/2014 wurden zwar im Dezember fast an jedem Tag hohe Streusalzkonzentrationen im Feinstaub gefunden, ab Januar jedoch waren die Konzentrationen relativ niedrig und ab Anfang März wurden praktisch keine relevanten Streusalzkonzentrationen im PM<sub>10</sub> mehr detektiert. Trotz dieser Unterschiede wurde auch im relativ kurzen und milden Winter 2013/2014 an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee an 79 Tagen ein Einfluss von Streusalz auf die PM<sub>10</sub>-Konzentration (NaCl >1 µg/m<sup>3</sup>) festgestellt. Die höchste gemessene Konzentration von Natriumchlorid im PM<sub>10</sub> lag bei 39,5 µg/m<sup>3</sup> (siehe Tab. 15).

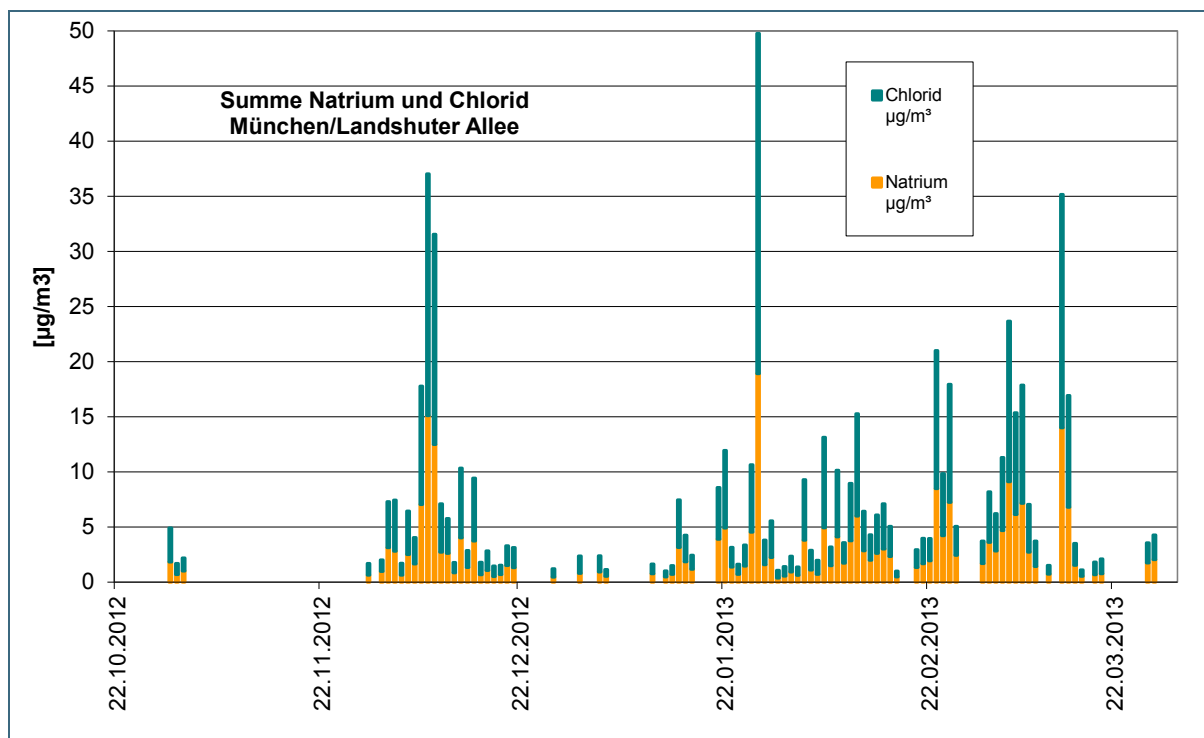


Abb. 45: Natrium und Chlorid im  $\text{PM}_{10}$  an der LÜB-Messtation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2012/2013.

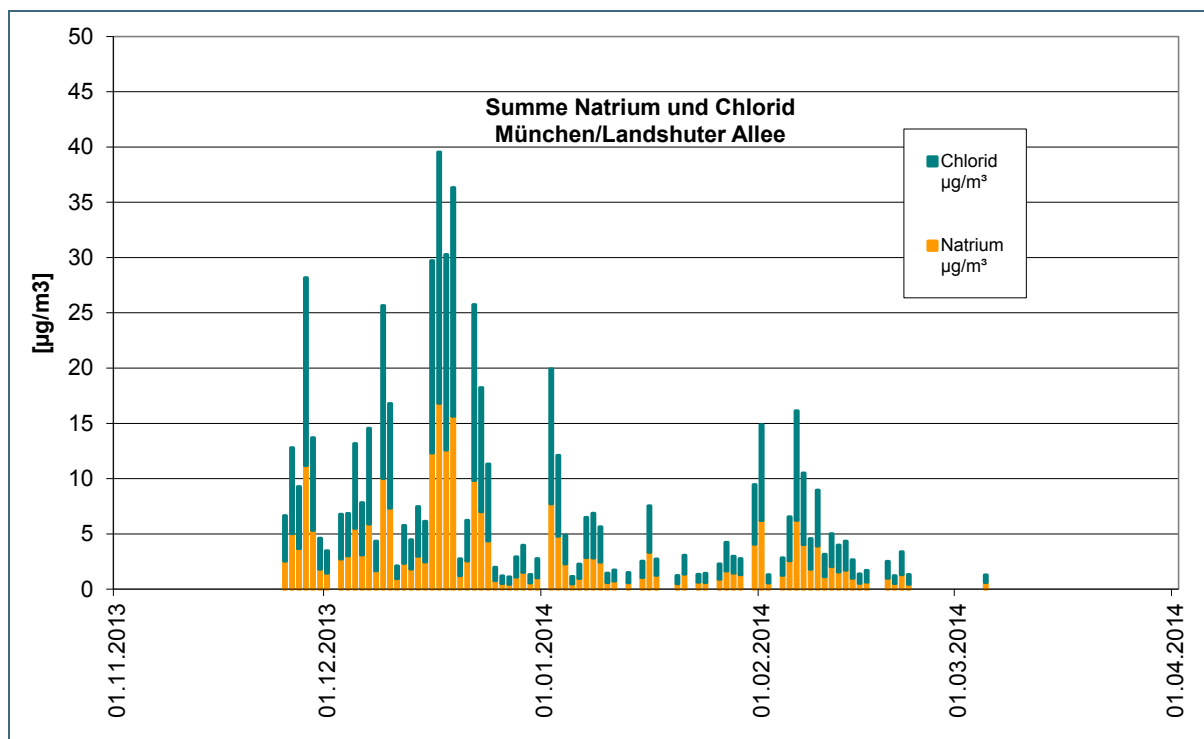


Abb. 46: Natrium und Chlorid im  $\text{PM}_{10}$  an der LÜB-Messtation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2013/2014.

In Abb. 47 und Abb. 48 sind zur Verdeutlichung der meteorologischen Unterschiede in den beiden Winterperioden die Verläufe von Natriumchlorid im  $PM_{10}$  in den Winterperioden 2012/2013 und 2013/2014 an der LÜB-Messstation Nürnberg/Von-der-Tann-Straße verglichen. Im Zeitraum Januar 2013 bis März 2013 wurden zum Teil hohe Streusalzkonzentrationen im Feinstaub gefunden, die für neun Überschreitungen des  $PM_{10}$ -Tagesgrenzwerts ursächlich waren. Bis zum 30.03.2013 wurden immer wieder relevante Gehalte an NaCl im Feinstaub nachgewiesen. Dagegen waren die Konzentrationen von Januar 2014 bis März 2014 relativ niedrig. Ab dem 15.02.2014 wurde kein Einfluss von Streusalz auf die  $PM_{10}$ -Konzentrationen ( $NaCl > 1 \mu g/m^3$ ) mehr festgestellt.

Im Winter 2013/2014 wurden speziell für dieses Projekt zusätzliche Messorte an der Münchner Straße in Karlsfeld, an der Autobahn A9 auf dem Gelände der Autobahndirektion Südbayern in München / Freimann sowie in Trostberg an der „Engstelle“ Am Vormarkt eingerichtet. In Abb. 49 und Abb. 50 sind die Verläufe von Natriumchlorid im  $PM_{10}$  an den Messorten München / Freimann Autobahndirektion sowie Trostberg / „Engstelle“ Am Vormarkt für den Winter 2013/2014 dargestellt.

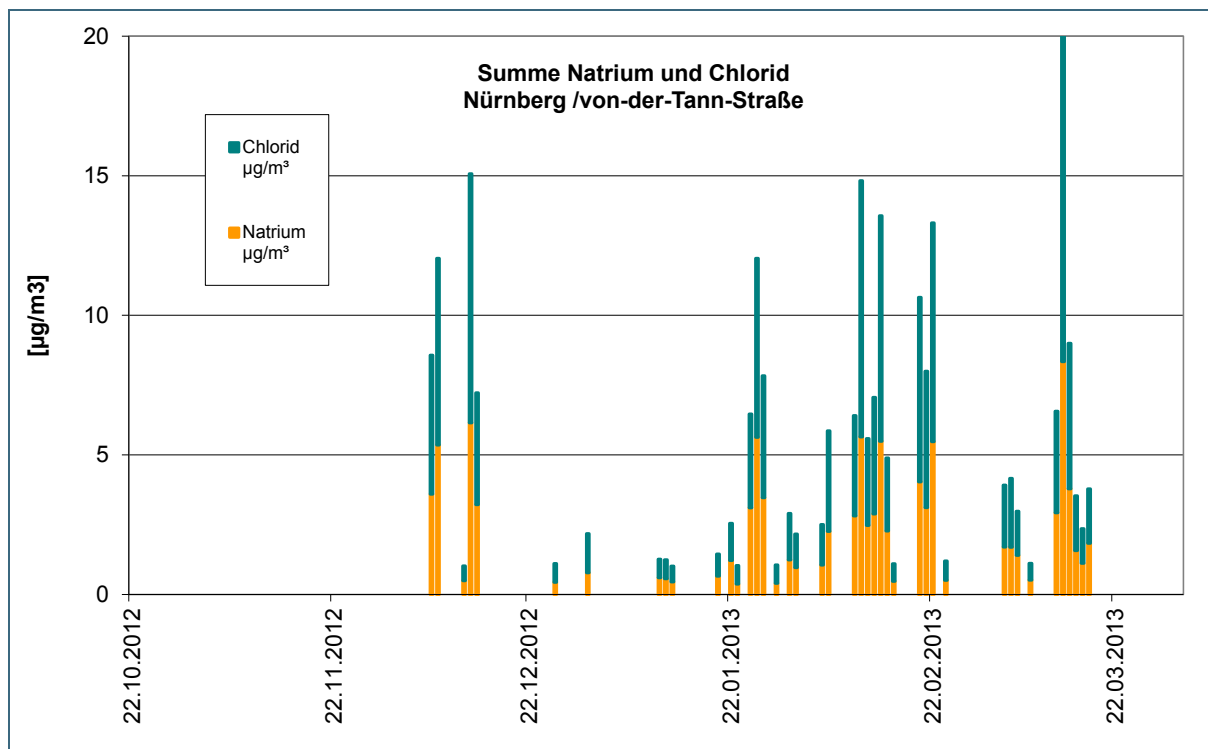


Abb. 47: Natrium und Chlorid im  $PM_{10}$  an der LÜB-Messstation Nürnberg/Von-der-Tann-Straße (NÜVDT) im Winter 2012/2013.

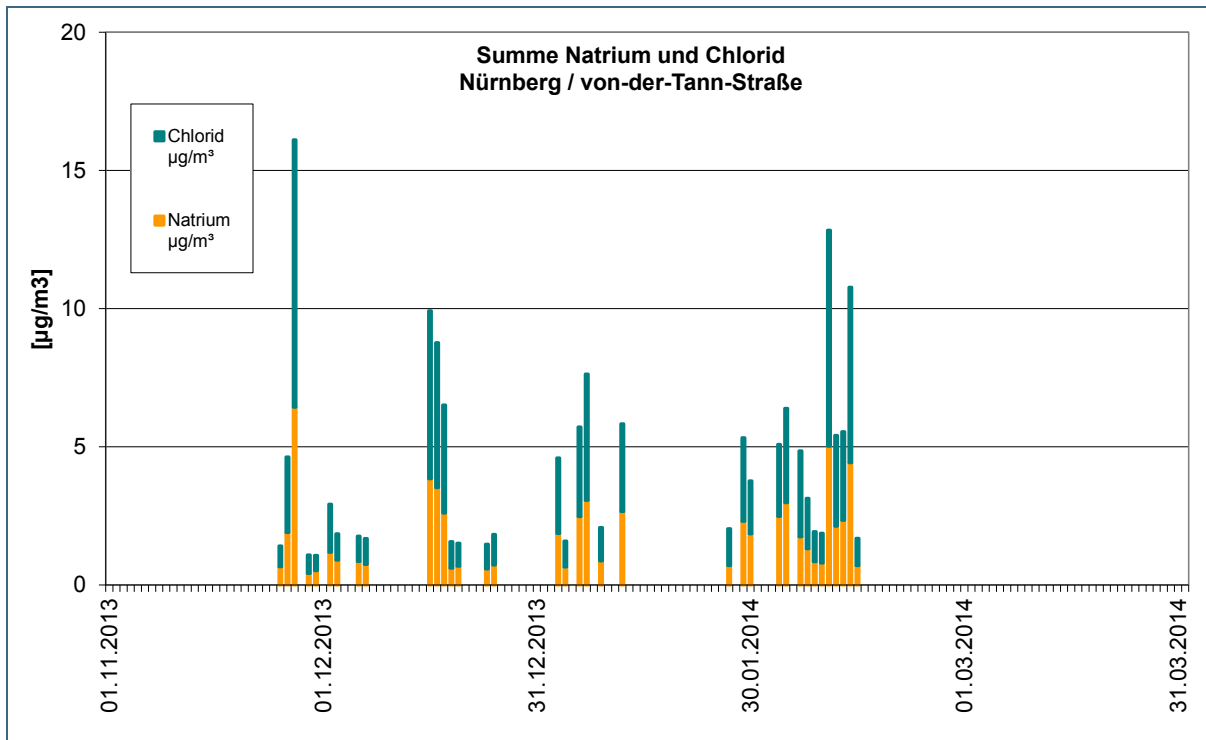


Abb. 48: Natrium und Chlorid im  $\text{PM}_{10}$  an der LÜB-Messtation Nürnberg/Von-der-Tann-Straße (NÜVDT) im Winter 2013/2014.

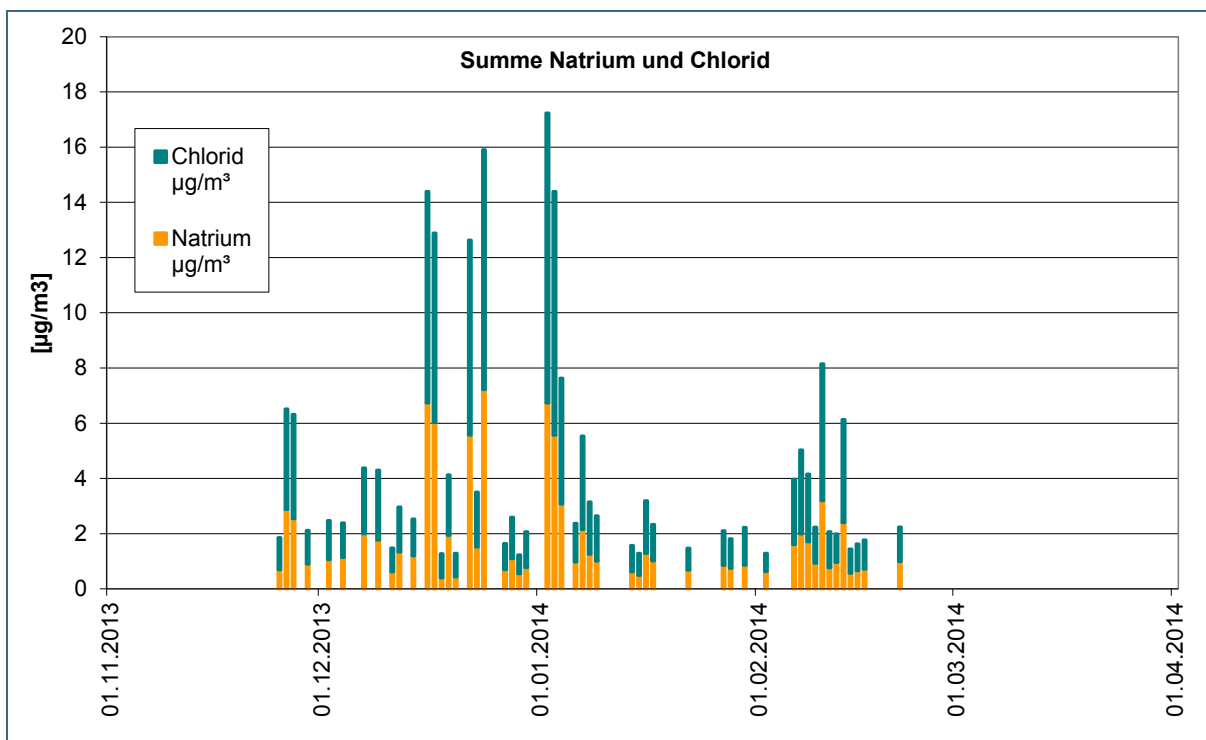


Abb. 49: Natrium und Chlorid im  $\text{PM}_{10}$  am Standort München/Freimann im Winter 2013/2014.

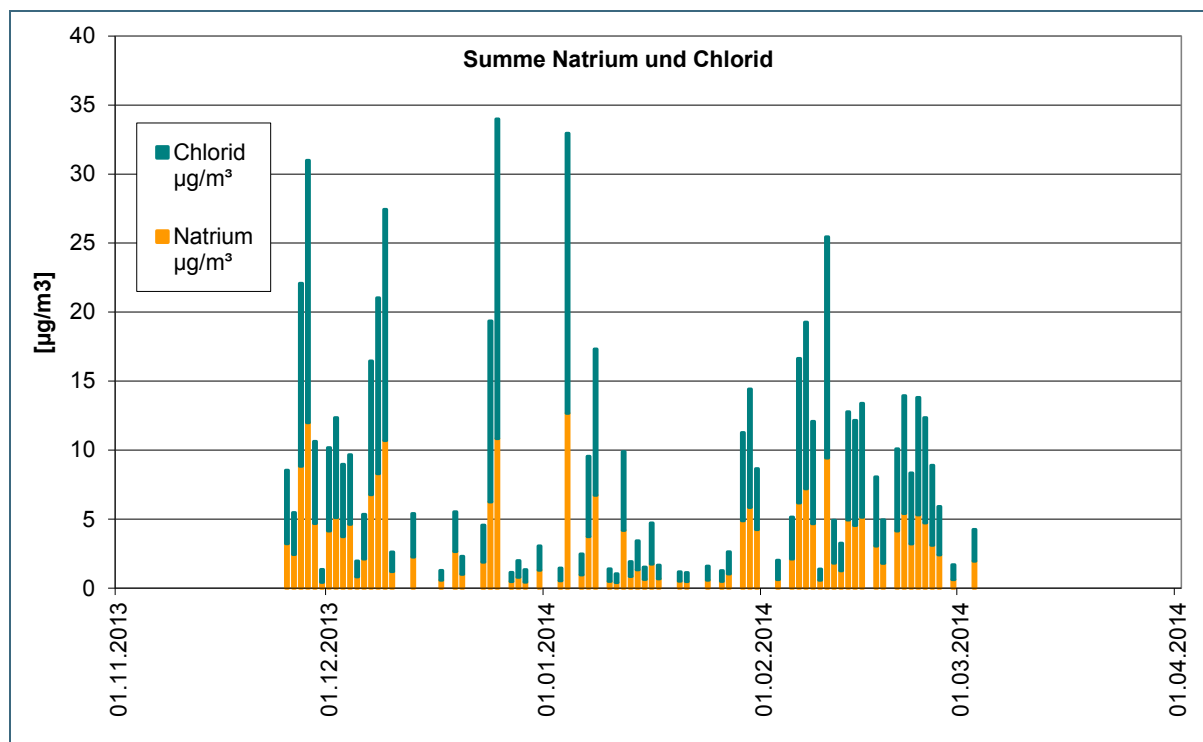


Abb. 50: Natrium und Chlorid im PM10 am Standort Trostberg/“Engstelle“ Am Vormarkt im Winter 2013/2014.

Wie aus diesen Abbildungen sowie aus Tab. 16 ersichtlich wird, kommt es an beiden Messorten trotz des relativ milden Winters an einzelnen Tagen zu erheblichen Konzentrationen an aufgewirbeltem Streusalz im Feinstaub  $\text{PM}_{10}$ . Am Standort Trostberg / Am Vormarkt wird, obwohl auch hier witterungsbedingt ab Anfang März kein Einfluss von Streusalz auf die  $\text{PM}_{10}$ -Konzentrationen ( $\text{NaCl} > 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) mehr festgestellt wurde, dabei nahezu das Konzentrationsniveau der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee erreicht. Die Lage der Messpunkte geht aus Abb. 51 und Abb. 52 hervor.



Abb. 51: Luftbild des Standortes Trostberg/Am Vormarkt mit markiertem Messpunkt und der Angabe zur Lage der Pfortnerampeln und Geschwindigkeitsbeschränkungen.



Abb. 52: Feinstaubsammler am Standort Trostberg/Am Vormarkt - Blick nach Westen.

Der Feinstaubsammler steht direkt am Fahrbahnrand der vielbefahrenen Bundesstraße B299 (DTV 2010: ca. 19.600 Kfz/24 h), die in diesem Bereich eine Engstelle mit dichter Randbebauung aufweist. Obwohl in diesem Abschnitt eine Geschwindigkeitsbeschränkung von 30 km/h gilt, kommt es durch den geringen Abstand des Feinstaubsammlers vom Fahrbahnrand, die relativ niedrige Ansaughöhe und die dichte Randbebauung zu hohen Konzentrationen von aufgewirbeltem Streusalz im PM<sub>10</sub>.

#### 4.1.11 Natrium- und Chloridgehalte im PM<sub>10</sub> im Winter 2014/2015

In Tab. 17 sind für alle im Zeitraum vom 01.11.2014 bis 31.03.2015 (Winter 2014/2015) untersuchten LÜB-Messstationen die maximalen Konzentrationen von Natriumchlorid im PM<sub>10</sub> aufgeführt. Darüber hinaus ist die Anzahl der Tage angegeben, an denen die PM<sub>10</sub>-Konzentrationen am jeweils betrachteten LÜB-Standort signifikant durch die Aufwirbelung von Streusalz erhöht waren. Diese Kenngrößen ermöglichen eine Einschätzung, an welchen LÜB-Messstationen die PM<sub>10</sub>-Tagesmittelkonzentration deutlich durch die Aufwirbelung von Streusalz beeinflusst ist.

Tab. 17: Einfluss von Natriumchlorid auf die PM<sub>10</sub>-Feinstaubkonzentration an verschiedenen LÜB-Messstationen im Winter 2014/15.

LÜB-Messstation	höchster NaCl-Gehalt im PM <sub>10</sub>	Tage mit signifikantem Einfluss von NaCl auf PM <sub>10</sub>
München/Landshuter Allee	35,7 µg/m <sup>3</sup>	57
Augsburg/Karlstraße	16,2 µg/m <sup>3</sup>	29
Augsburg/Königsplatz	12,5 µg/m <sup>3</sup>	22
Würzburg/Stadtring Süd	6,8 µg/m <sup>3</sup>	36
München/Stachus	15,2 µg/m <sup>3</sup>	37
Nürnberg/Von-der-Tann-Straße	11,3 µg/m <sup>3</sup>	36
Regensburg/Rathaus	9,4 µg/m <sup>3</sup>	24

#### 4.1.12 Natrium- und Chloridgehalte im PM<sub>10</sub> im Winter 2015/2016

In Tab. 18 sind für alle im Winter 2015/2016 untersuchten LÜB-Messstationen die maximalen Konzentrationen von Natriumchlorid im PM<sub>10</sub> aufgeführt. Darüber hinaus ist die Anzahl der Tage angegeben, an denen die PM<sub>10</sub>-Konzentrationen am jeweils betrachteten LÜB-Standort signifikant durch die Aufwirbelung von Streusalz erhöht waren. Diese Kenngrößen ermöglichen eine Einschätzung, an welchen LÜB-Messstationen die PM<sub>10</sub>-Tagesmittelkonzentration deutlich durch die Aufwirbelung von Streusalz beeinflusst ist.

Tab. 18: Einfluss von Natriumchlorid auf die PM<sub>10</sub>-Feinstaubkonzentration an verschiedenen LÜB-Messstationen im Winter 2015/16.

LÜB-Messstation	höchster NaCl-Gehalt im PM <sub>10</sub>	Tage mit signifikantem Einfluss von NaCl auf PM <sub>10</sub>
München/Landshuter Allee	28,0 µg/m <sup>3</sup>	72
Augsburg/Karlstraße	6,8 µg/m <sup>3</sup>	29
Augsburg/Königsplatz	5,0 µg/m <sup>3</sup>	10
Würzburg/Stadtring Süd	17,3 µg/m <sup>3</sup>	16
München/Stachus	15,1 µg/m <sup>3</sup>	28
Nürnberg/Von-der-Tann-Straße	22,5 µg/m <sup>3</sup>	27
Regensburg/Rathaus	3,0 µg/m <sup>3</sup>	3



Auch im Winter 2015/2016 ist wieder an der Messstation München/Landshuter Allee die höchste Anzahl von Tagen mit signifikantem Einfluss von Streusalz auf die PM<sub>10</sub>-Konzentration festzustellen. Der höchste Einzelwert wurde mit 28,0 µg/m<sup>3</sup> ebenfalls an der Messstation München/Landshuter Allee erreicht.

## 4.2 Einfluss von Splitt aus dem Winterdienst auf PM<sub>10</sub>

### 4.2.1 Zusammensetzung der Streumittel

Wie bereits in Kap. 3.1 aufgeführt, werden im Bereich der untersuchten LÜB-Messstationen auf den Fahrbahnen keine abstumpfenden Streumittel, wie z. B. Splitt oder Sand, verwendet. Abstumpfende Streumittel werden lediglich auf Rad- und Fußwegen eingesetzt. Es ist allerdings anzunehmen, dass ein gewisser Teil des verwendeten Splitts durch mechanische Verfrachtung dennoch auf die Fahrbahnen gelangt und dort nach Vermahlen aufgewirbelt wird. Der von den Straßenmeistereien verwendete Splitt stammt meist aus regionalen Bezugsquellen und kann in seiner Zusammensetzung daher variieren. Allerdings ist davon auszugehen, dass die Hauptbestandteile der in Bayern eingesetzten Splitte aus Calcium- und Magnesiumcarbonat bestehen. Die Analyse eines in Augsburg verwendeten Streusplitts ergab als Hauptbestandteile Calciumcarbonat und Magnesiumcarbonat (65 % bzw. 22 %) sowie einen Silikatanteil von 7 % (als Siliciumdioxid (SiO<sub>2</sub>)).

### 4.2.2 Jahrgänge der Komponenten Calcium und Magnesium

An den drei LÜB-Messstationen München/Landshuter Allee, Augsburg/Karlstraße und Augsburg/Königsplatz, an denen zur Ermittlung der Jahrgänge von Natrium und Chlorid Staubinhaltsstoffanalysen über ein gesamtes Kalenderjahr durchgeführt wurden (siehe Tab. 7), wurden neben Natrium und Chlorid auch die Parameter Calcium und Magnesium analysiert. Die hierfür verwendete Analysenmethode gemäß CEN/TR 16269 (wässrige Elution der Feinstaubproben durch Schütteln und im Ultraschallbad, siehe [9]) führt jedoch nicht zu quantitativer Wiederfindung der untersuchten Calcium- und Magnesiumverbindungen. In Voruntersuchungen (vgl. Kap. 2.2.2) wurde festgestellt, dass der überwiegende Anteil der Ca- und Mg-Verbindungen löslich ist und das Verhalten der beiden Elemente anhand der Analytik gemäß CEN/TR 16269 beurteilt werden kann. Auf weitere Gesamtgehaltsuntersuchungen in den Feinstaubproben wurde im Laufe des Projekts deshalb auch aus Kapazitätsgründen verzichtet.

Die Ergebnisse der Staubinhaltsstoffanalysen für den Parameter Calcium im Kalenderjahr 2009 sind für die LÜB-Messstation Augsburg/Königsplatz in Abb. 53 und für die LÜB-Messstation München/Landshuter Allee in Abb. 54 dargestellt. Wie aus den Abbildungen hervorgeht, ist Calcium ganzjährig als Bestandteil des Feinstaubes nachweisbar. Während an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee die Ergebnisse die Interpretation eines schwachen Jahrgangs der Calciumkonzentration mit etwas niedrigeren Werten im Sommer erlauben, ist an der LÜB-Messstation Augsburg/Königsplatz kein durch Winterdienst verursachter Jahrgang erkennbar. Im Gegenteil werden die niedrigsten Calciumgehalte im Januar und Februar 2009 gemessen. Der Jahrgang der Calciumkonzentration unterscheidet sich an beiden LÜB-Messstationen deutlich von den in Abb. 3 und Abb. 4 dargestellten Jahrgängen von Natrium und Chlorid. Während die höchsten Konzentrationen an Streusalz ab dem 01.01.2009 bis etwa Ende Februar auftraten, wurden beim Parameter Calcium die höchsten Konzentrationen während der Monate März und April gemessen.

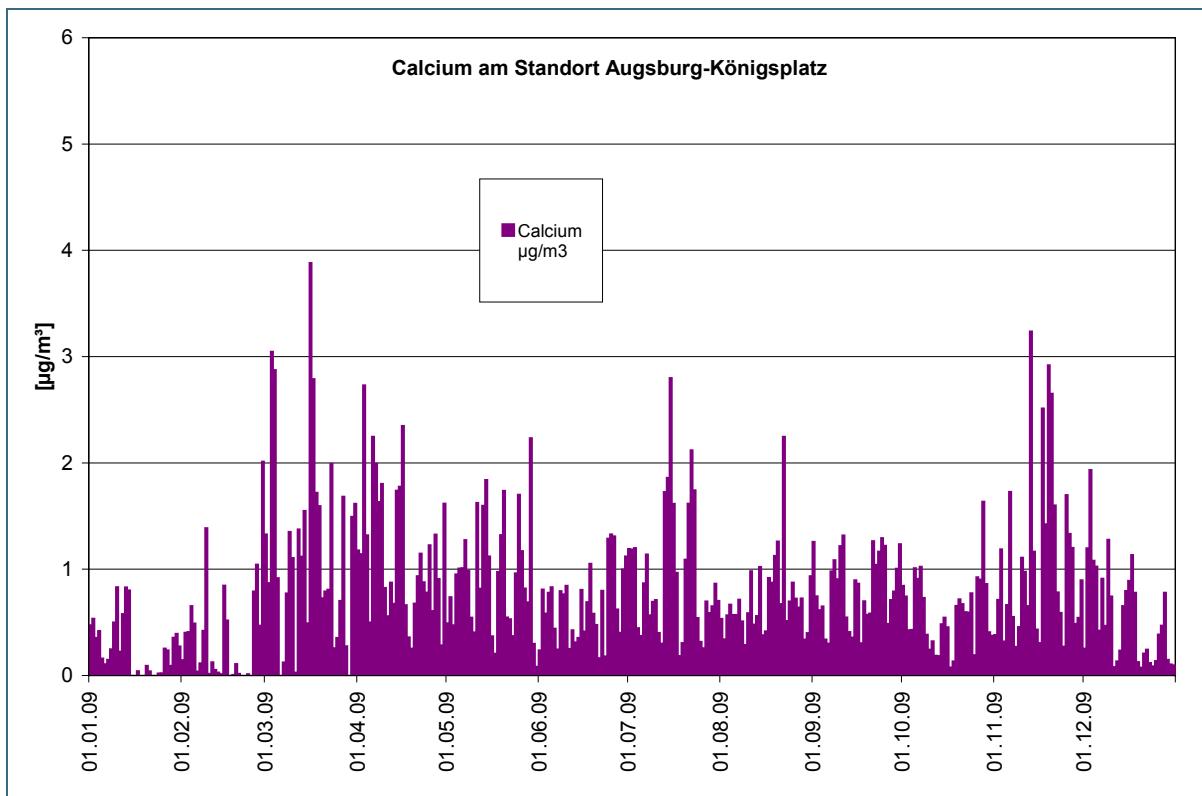


Abb. 53: Jahrgang von Calcium im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messtation Augsburg/Königsplatz (AUKÖ) im Jahr 2009.

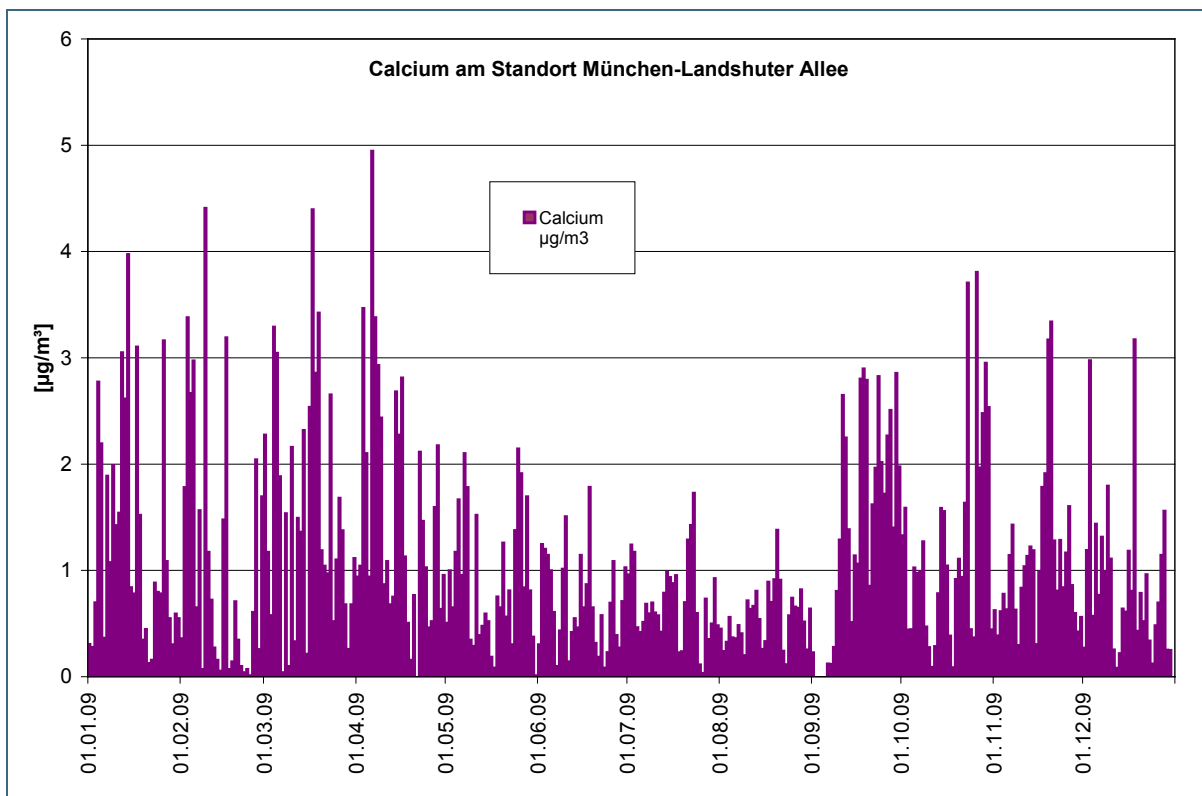


Abb. 54: Jahrgang von Calcium im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messtation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Jahr 2009.

Auch im Kalenderjahr 2010 wurden die Ergebnisse der Staubinhaltsstoffanalysen für den Parameter Calcium auf ihren Jahresgang ausgewertet, um Informationen über die Herkunft dieser Feinstaubkomponente zu erhalten. Diese Jahresgänge sind für die LÜB-Messstation München/Landshuter Allee in Abb. 55 und für die LÜB-Messstation Augsburg/Königsplatz in Abb. 56 dargestellt. Ein Vergleich der Jahresgänge der Komponenten Natrium und Chlorid einerseits (und Abb. 11 und Abb. 12) sowie Calcium andererseits (Abb. 55 und Abb. 56) zeigt die deutlich unterschiedlichen zeitlichen Verläufe auf. Erhöhte Konzentrationen an Streusalz treten ab dem 01.01.2010 bis etwa 15.03.2010 und dann wieder ab etwa dem 25.11.2010 im  $PM_{10}$  auf. Dagegen werden an beiden LÜB-Standorten über das ganze Jahr ähnliche Calciumkonzentrationen gefunden, mit den höchsten Werten um den 01.03.2010 und etwa um den 20.03.2010, und mit niedrigen Werten im Winter, etwa um den 01.02.2010, wo zugleich zumindest am LÜB-Standort MÜLA hohe Streusalzgehalte im  $PM_{10}$  gefunden wurden.

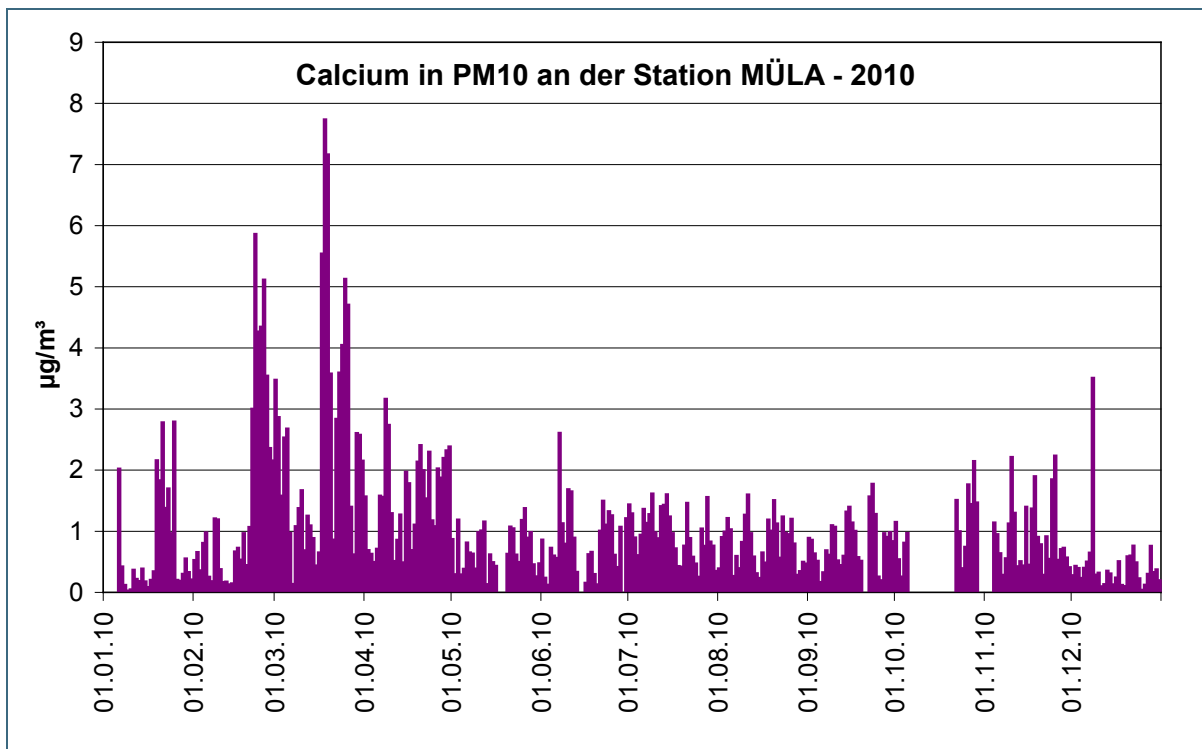


Abb. 55: Jahrgang von Calcium im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Jahr 2010.

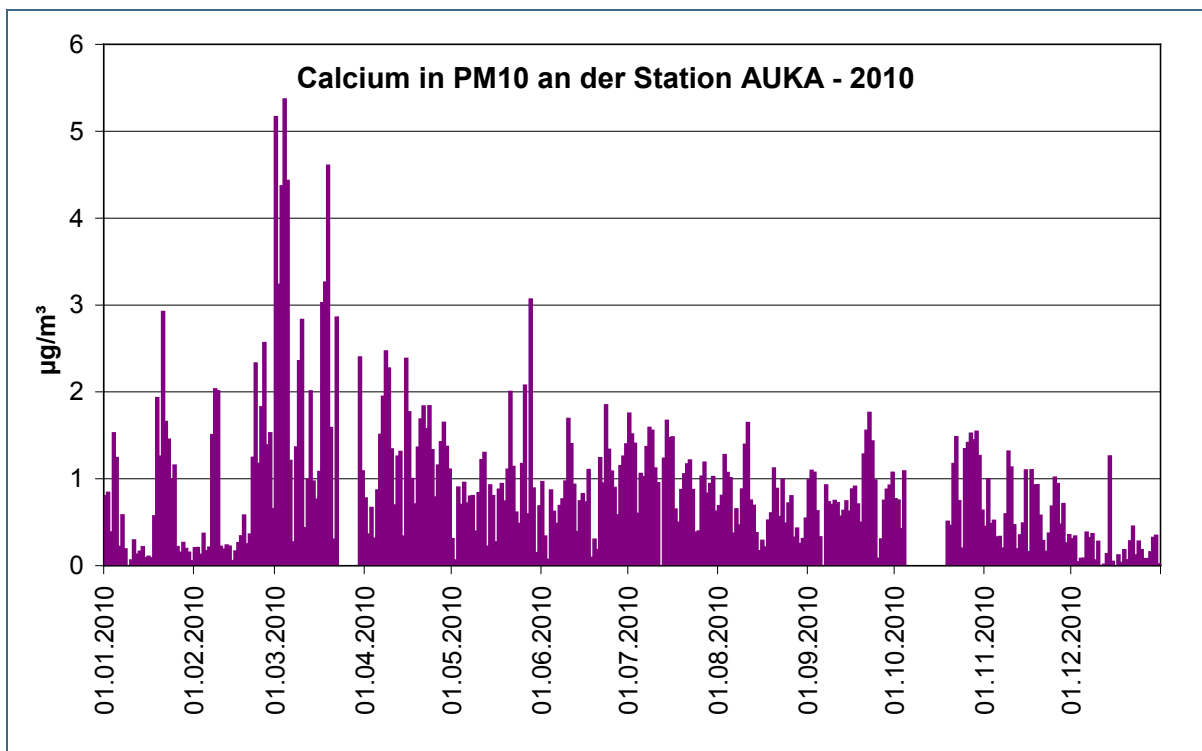


Abb. 56: Jahrgang von Calcium im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Augsburg/Karlstraße (AUKA) im Jahr 2010.

In Abb. 57 bis Abb. 60 sind die Jahrgänge für den Parameter Magnesium dargestellt. Die Konzentrationen von Magnesium lagen meist deutlich unter  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und weisen ähnliche Verläufe wie die von Calcium, allerdings auf niedrigerem Niveau, auf.

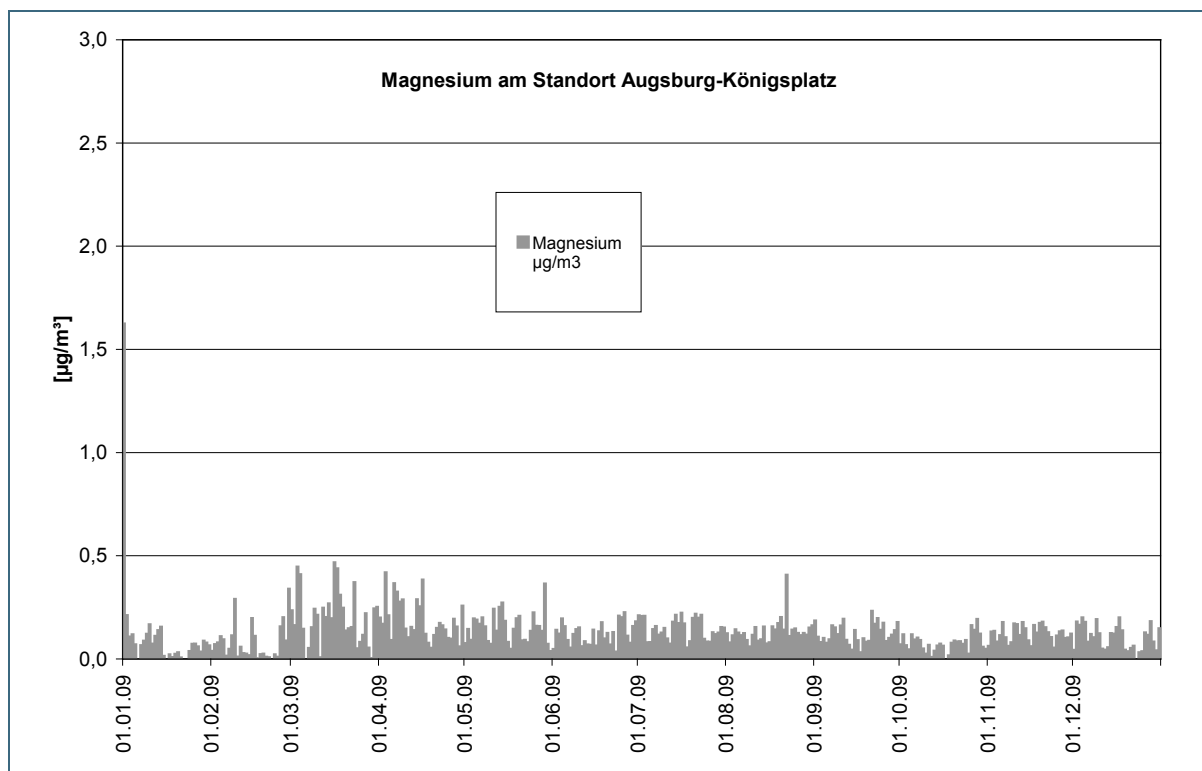


Abb. 57: Jahrgang von Magnesium im  $\text{PM}_{10}$  an der LÜB-Messstation Augsburg/Königsplatz (AUKÖ) im Jahr 2009.

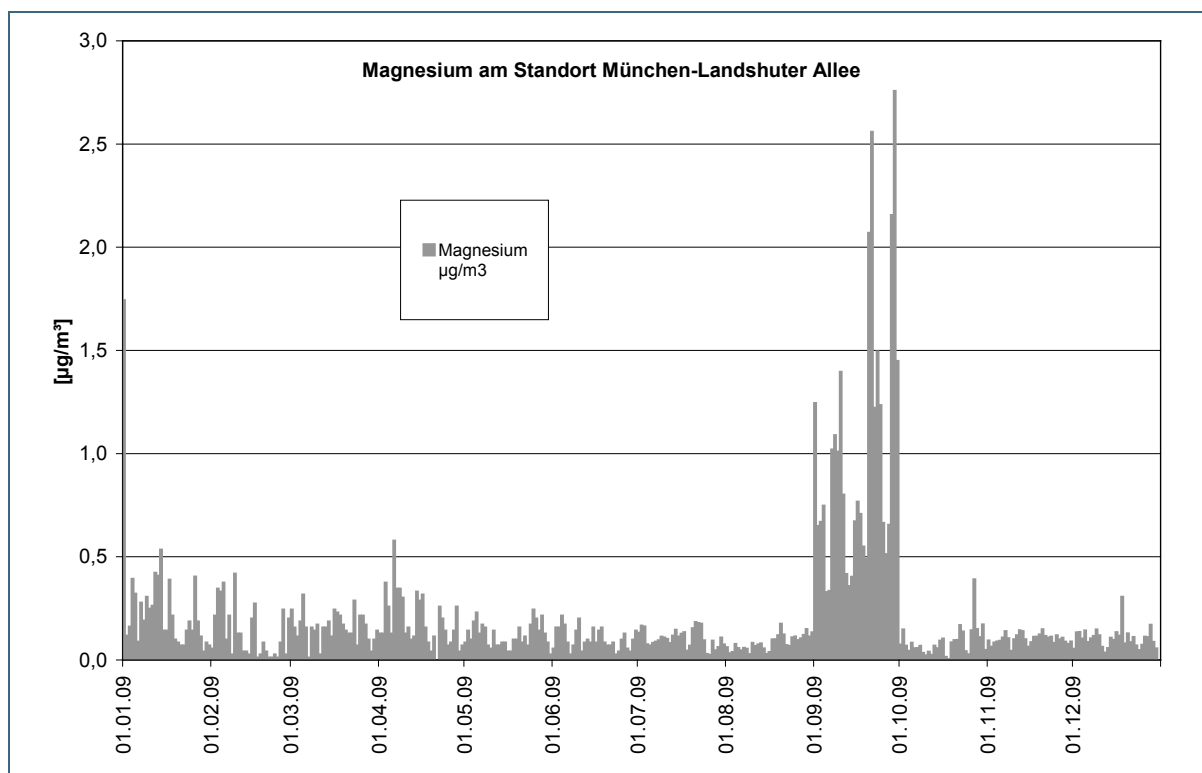


Abb. 58: Jahrgang von Magnesium im  $\text{PM}_{10}$  an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Jahr 2009.

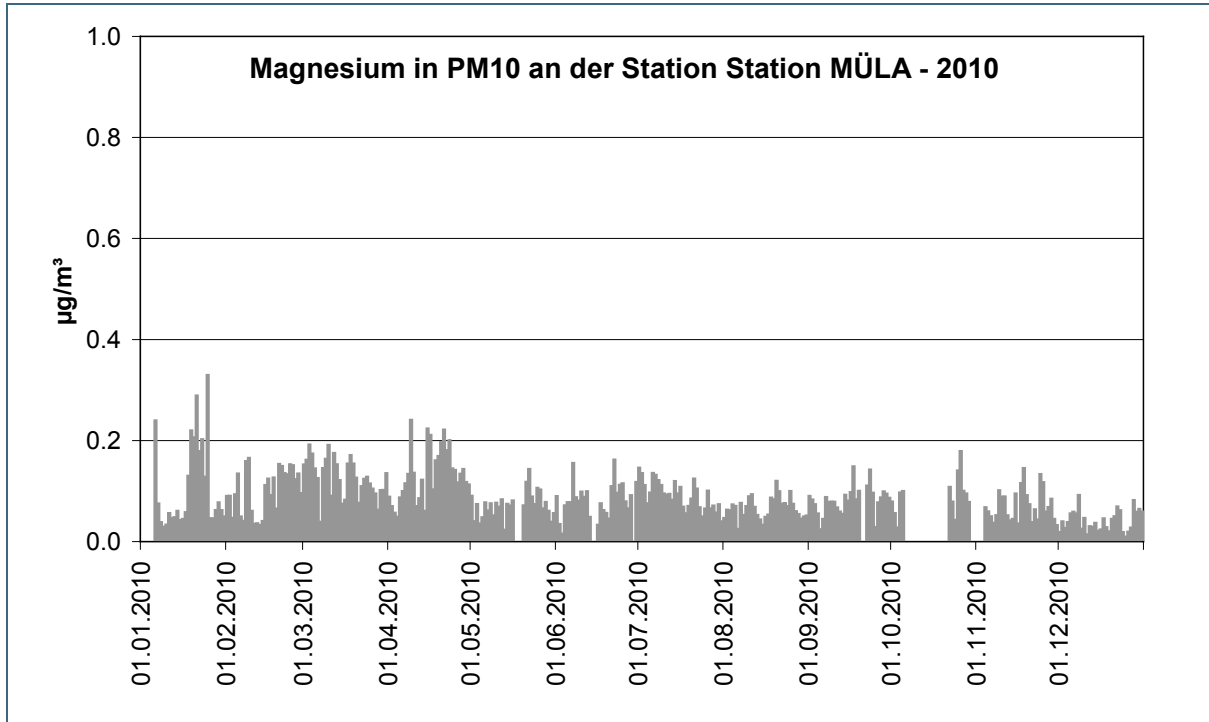


Abb. 59: Jahresgang von Magnesium im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (MÜLA) im Jahr 2010.

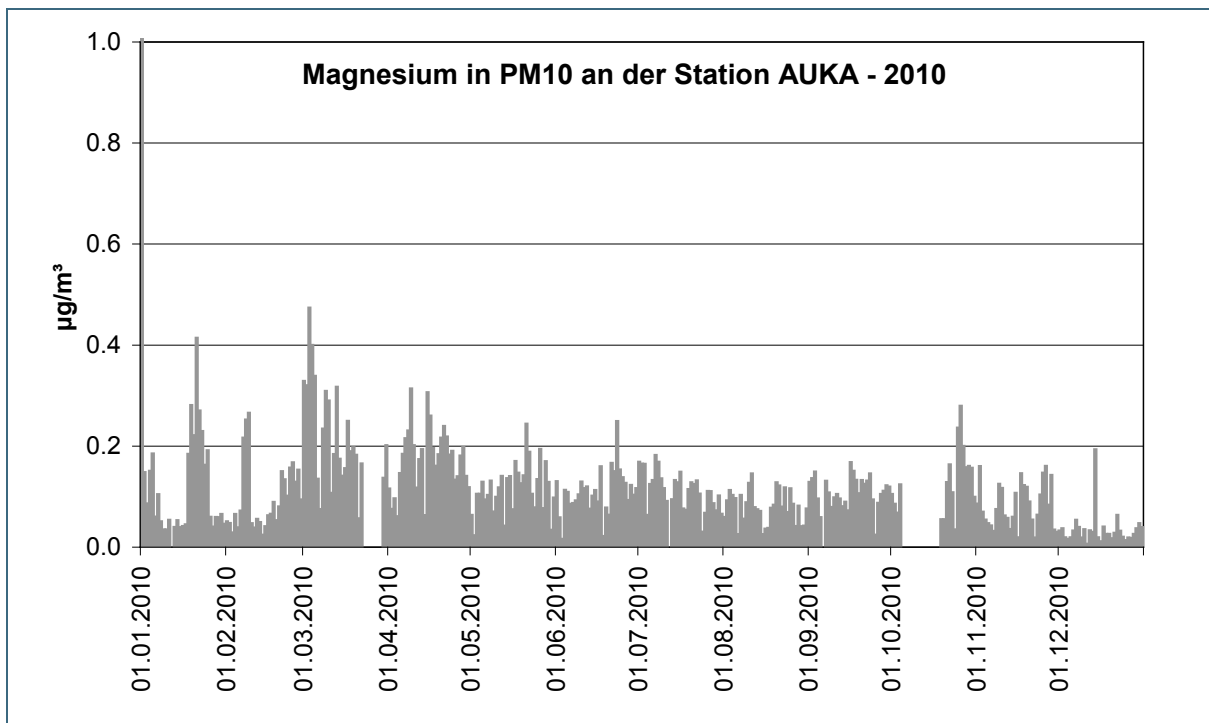


Abb. 60: Jahresgang von Magnesium im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messstation Augsburg/Karlstraße (AUKA) im Jahr 2010.

Am 01.01.2009 wurden erhöhte Magnesiumkonzentrationen im PM<sub>10</sub> nachgewiesen (München/Landshuter Allee: 1,7 µg/m<sup>3</sup>, Augsburg/Königsplatz: 1,6 µg/m<sup>3</sup>), die aus der Verwendung pyrotechnischer Produkte stammen (Neujahrsfeuerwerk). Im September 2009 wurden am LÜB-Standort München/Landshuter Allee ungewöhnlich hohe Magnesiumgehalte im Feinstaub von bis zu 2,8 µg/m<sup>3</sup> gemessen. Die Quelle dieser erhöhten Werte ist unbekannt.

### 4.2.3 Vergleich der Gehalte von Calcium und Magnesium in PM<sub>10</sub> und in PM<sub>2,5</sub>

An den beiden LÜB-Messstationen Oberaudorf/Inntalautobahn und München/Landshuter Allee wurden die parallel zur Feinstaubfraktion PM<sub>10</sub> gewonnenen Feinstaubproben der Fraktion PM<sub>2,5</sub> auch auf die Komponenten Calcium und Magnesium untersucht. Damit soll die Verteilung winterdienstspezifischer Feinstaubinhaltsstoffe auf unterschiedliche Partikelgrößenfraktionen ermittelt werden.

Die Ergebnisse für Calcium an der LÜB-Station Oberaudorf/Inntalautobahn sind in Abb. 61 (PM<sub>10</sub>) und Abb. 62 (PM<sub>2,5</sub>) dargestellt. An der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee wurde der Vergleich zwischen PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> im Winter 2009/2010 (siehe Abb. 63 und Abb. 64) und im Winter 2012/2013 (siehe Abb. 65 und Abb. 66) vorgenommen.

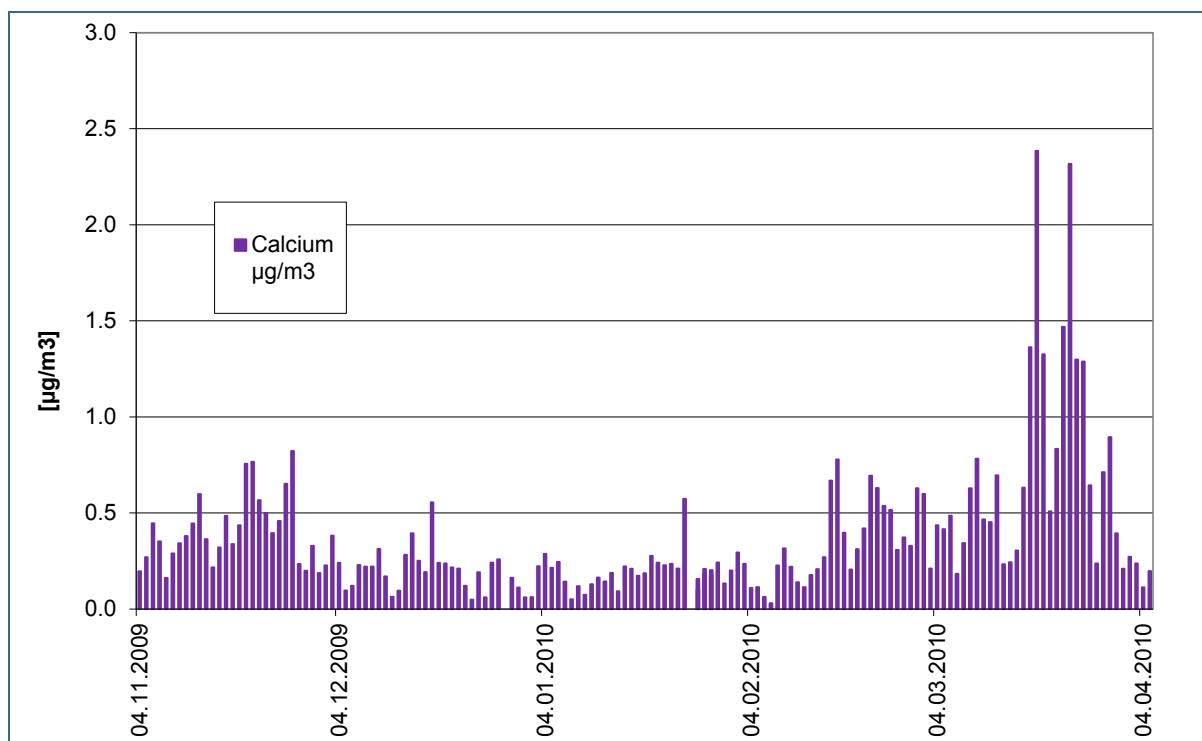


Abb. 61: Calcium im PM10 an der LÜB-Station Oberaudorf/Inntalautobahn (OBIA) im Winter 2009/2010.

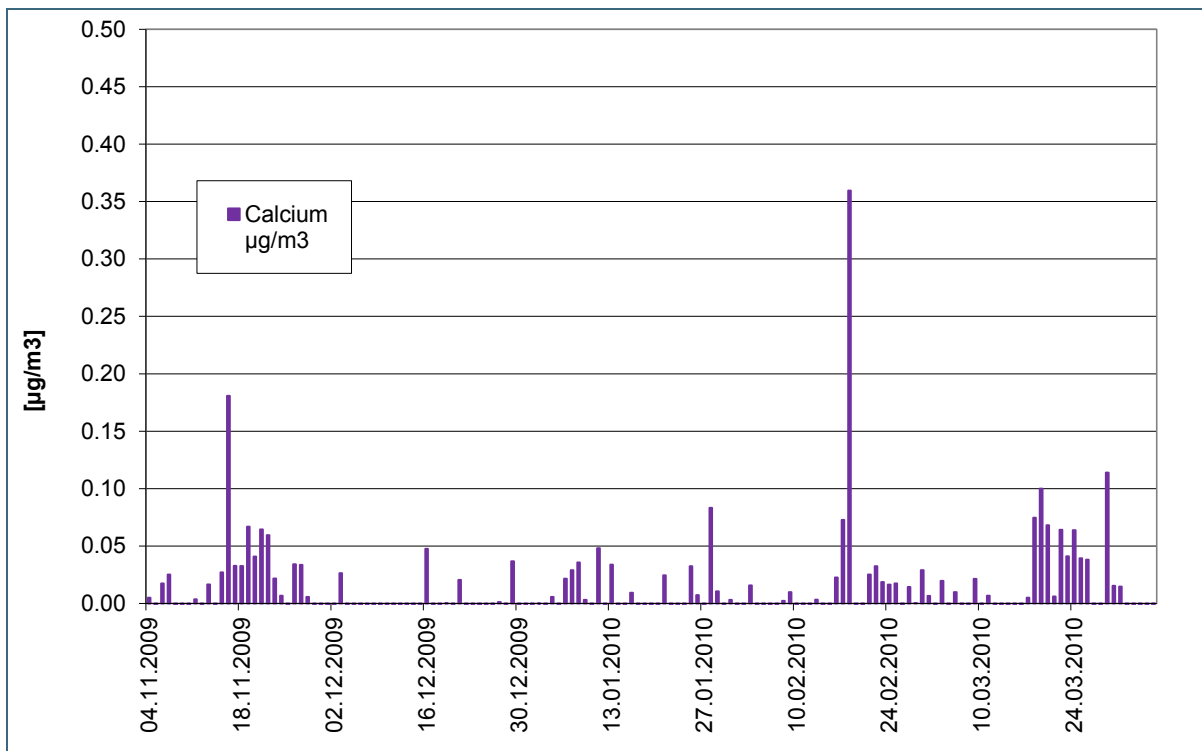


Abb. 62: Calcium im PM<sub>2,5</sub> an der LÜB-Station Oberaudorf/Inntalautobahn (OBIA) im Winter 2009/2010.

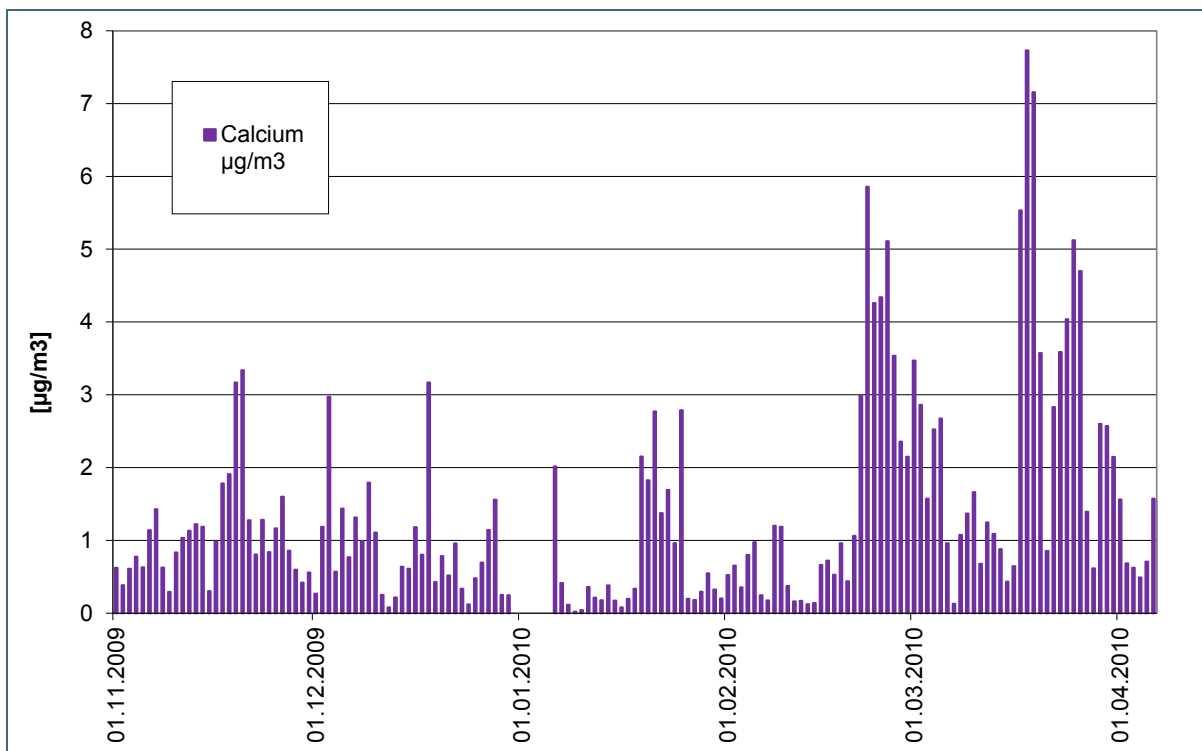
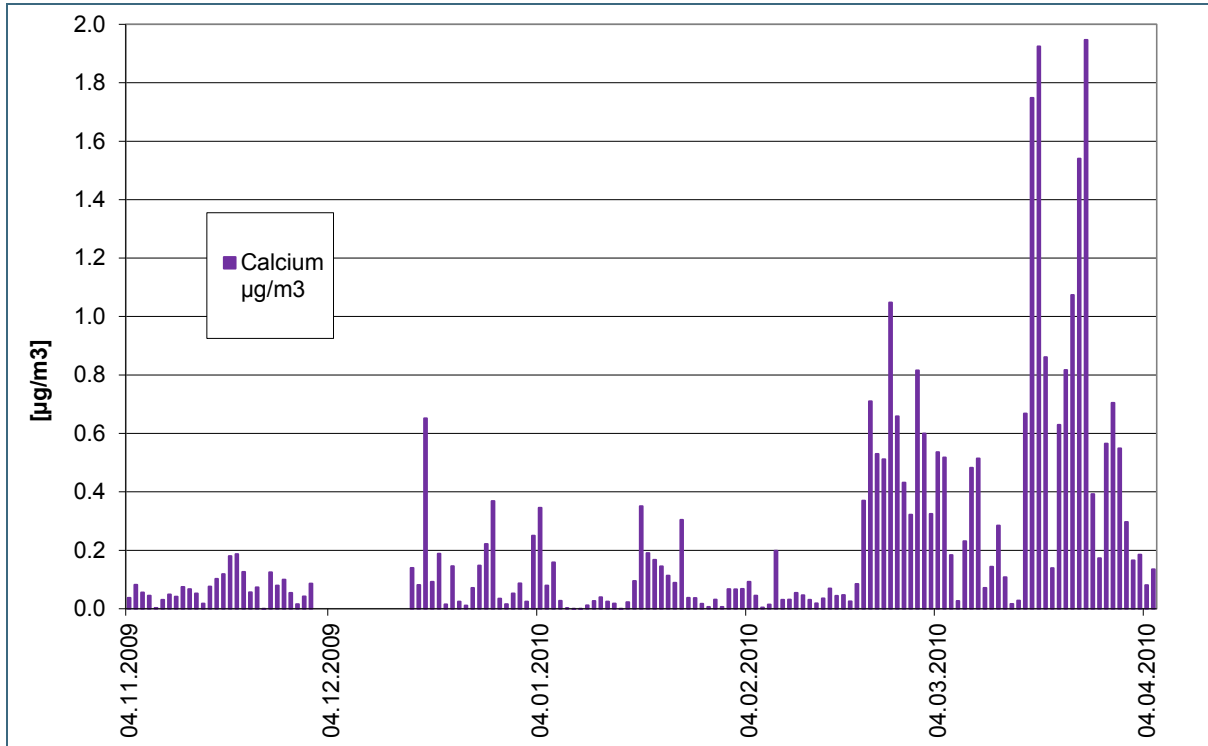
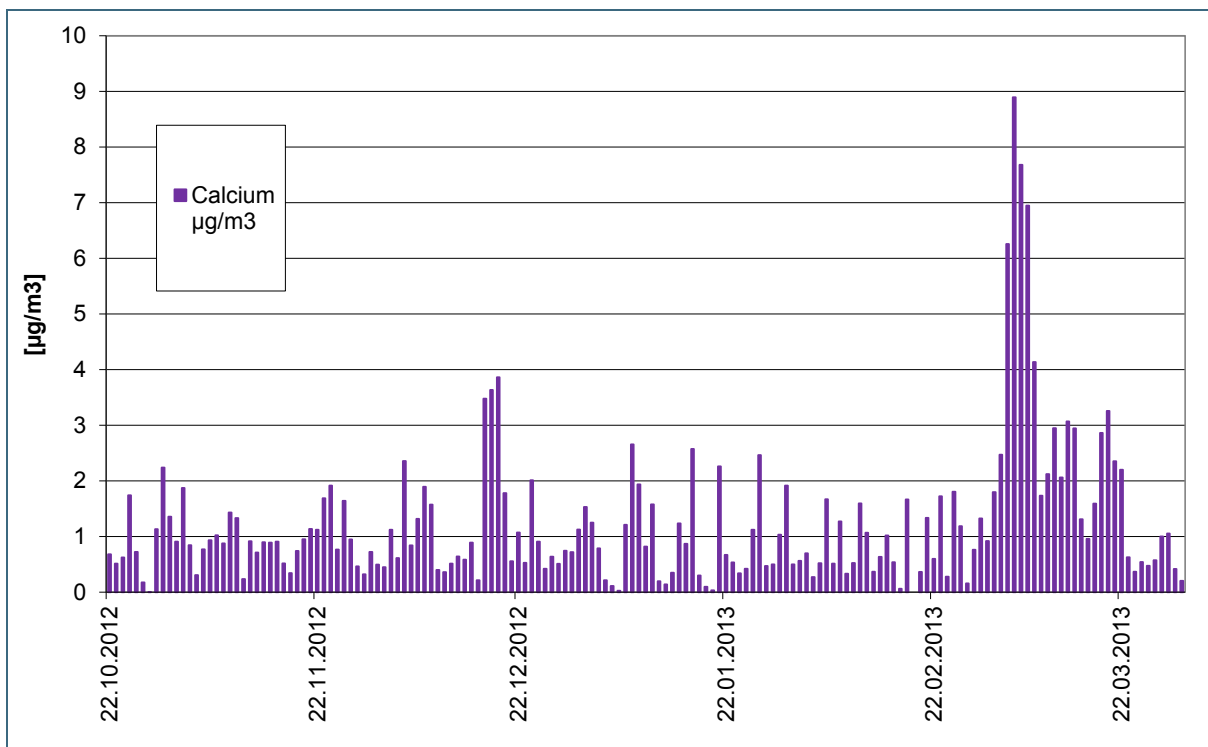


Abb. 63: Calcium im PM<sub>10</sub> an der LÜB-Station München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2009/2010.



Abb. 64: Calcium im  $\text{PM}_{2.5}$  an der LÜB-Station München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2009/2010.Abb. 65: Calcium im  $\text{PM}_{10}$  an der LÜB-Station München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2012/2013.

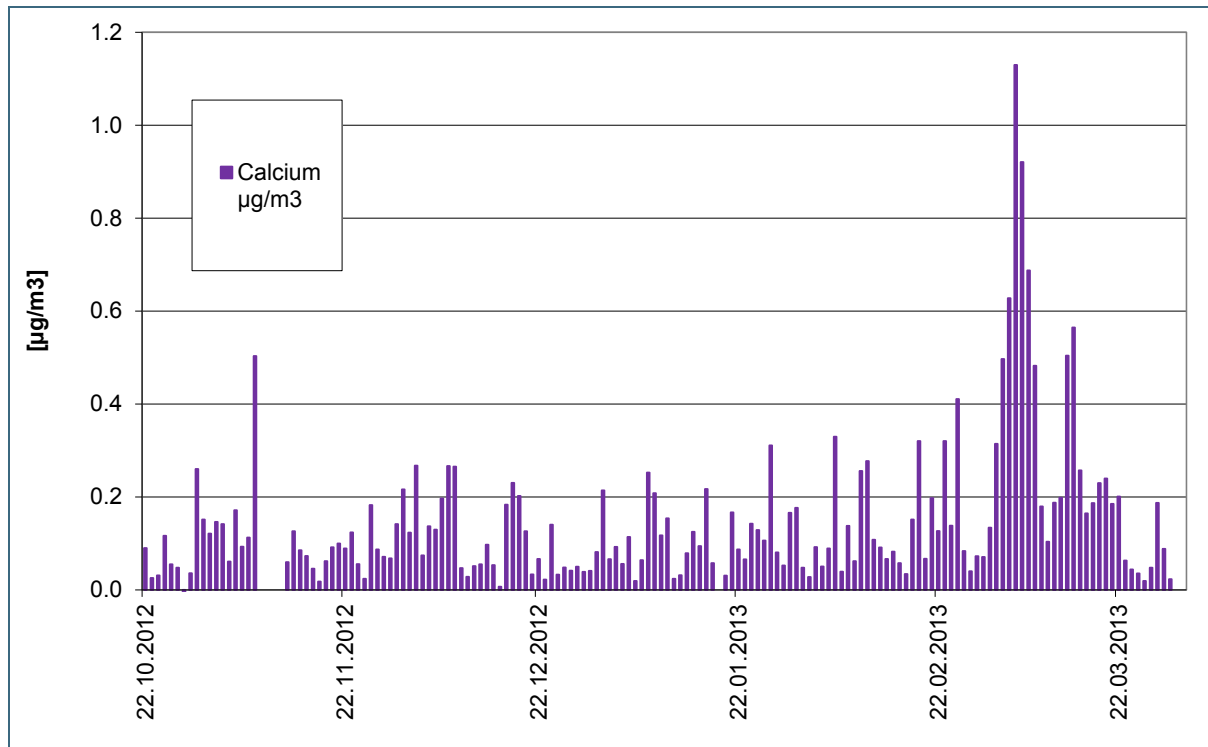


Abb. 66: Calcium im  $PM_{2.5}$  an der LÜB-Station München/Landshuter Allee (MÜLA) im Winter 2012/2013.

Aus den Abbildungen wird ersichtlich, dass an beiden LÜB-Standorten die Massenkonzentration von Calcium im  $PM_{10}$  um ein Mehrfaches höher als im  $PM_{2.5}$  ist. Das Verhältnis von Calcium im  $PM_{10}$  zu Calcium im  $PM_{2.5}$  beträgt an der LÜB-Station München/Landshuter Allee etwa 10:1. Dieser hohe Anteil in den größeren Partikeln deutet darauf hin, dass es sich beim calciumreichen Anteil des Feinstaubes um lokal entstandene Partikel handelt, die z. B. aus Aufwirbelung stammen.

Interessant für die weitere Bewertung ist auch der aus den Abbildungen ersichtliche Verlauf von Calcium im PM. Während bei den Staubinhaltsstoffen Natrium und Chlorid die höchsten Konzentrationen von Januar bis Mitte März auftreten, treten die höchsten Konzentrationen von Calcium im Monat März, also gegen Ende des Winters bei bereits nachlassenden Winterdienstaktivitäten auf.

Die Ergebnisse der Staubinhaltsstoffanalytik auf den Parameter Magnesium und eine entsprechende Auswertung führen zu ähnlichen Aussagen wie bei Calcium, allerdings wegen der deutlich niedrigeren Gehalte mit einer erhöhten Unsicherheit. Auf eine Darstellung wird daher verzichtet.

#### 4.2.4 Calcium und Magnesium in $PM_{10}$ an verschiedenen Standorten

Bereits aus den vorangegangenen Kapiteln geht hervor, dass der zeitliche Verlauf der Konzentrationen von Calcium und Magnesium im Feinstaub  $PM_{10}$  vom zeitlichen Verlauf der Komponenten Natrium und Chlorid abweicht. Um dies näher zu untersuchen, wurden Konzentrationsverläufe von Calcium und Magnesium im Zeitraum Winter 2013/2014 an einigen LÜB-Messstationen näher betrachtet.

In Abb. 67 und Abb. 68 sind die Verläufe der Konzentrationen von Calcium und Magnesium in  $PM_{10}$  an einem weiteren Standort München/Freimann dargestellt. Zunächst fällt auf, dass hier relativ hohe und über den dargestellten Zeitraum relativ gleichmäßige Konzentrationen von Calcium gemessen werden. Der Verlauf von Magnesium ist demjenigen von Calcium sehr ähnlich, allerdings auf deutlich niedrigerem Konzentrationsniveau. Der in Abb. 49 dargestellte Verlauf der Konzentrationen von Natrium und Chlorid unterscheidet sich davon jedoch deutlich.

In Abb. 69 ist der Verlauf der Konzentrationen von Calcium in  $PM_{10}$  am Standort Trostberg/Am Vormarkt dargestellt. Hier liegt das Konzentrationsniveau von Calcium im  $PM_{10}$  sogar noch etwas höher als am Standort München/Freimann, ist über den dargestellten Zeitraum ebenfalls relativ gleichmäßig und ähnelt wiederum dem in Abb. 70 dargestellten Verlauf der Konzentrationen von Magnesium in  $PM_{10}$ . Nicht ganz auszuschließen ist hier ein gewisser Einfluss des knapp 1 km südlich vom Messstandort gelegenen Industriegebiets, in dem Kalkstickstoff hergestellt wird (calciumhaltig). Ein Vergleich mit den in Abb. 50 dargestellten Konzentrationen von Natrium und Chlorid zeigt wiederum deutliche Unterschiede auf.

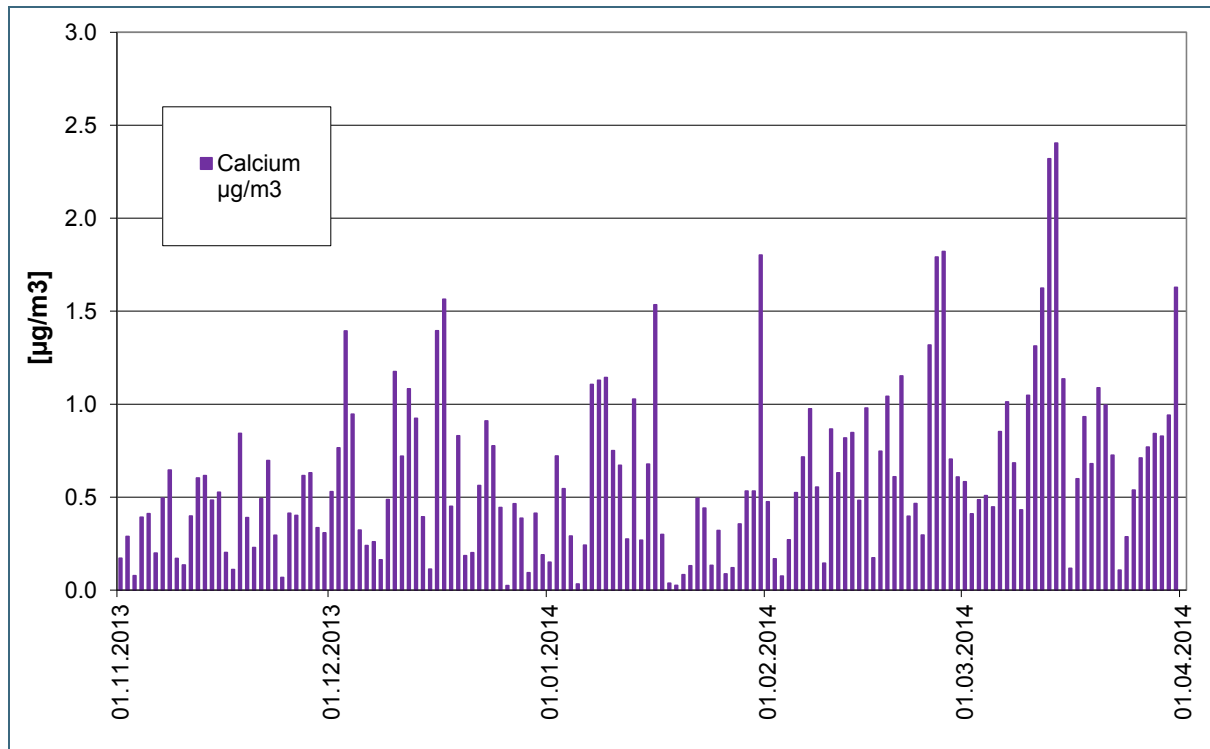


Abb. 67: Calcium im PM<sub>10</sub> am Standort München/Freimann im Winter 2013/2014.

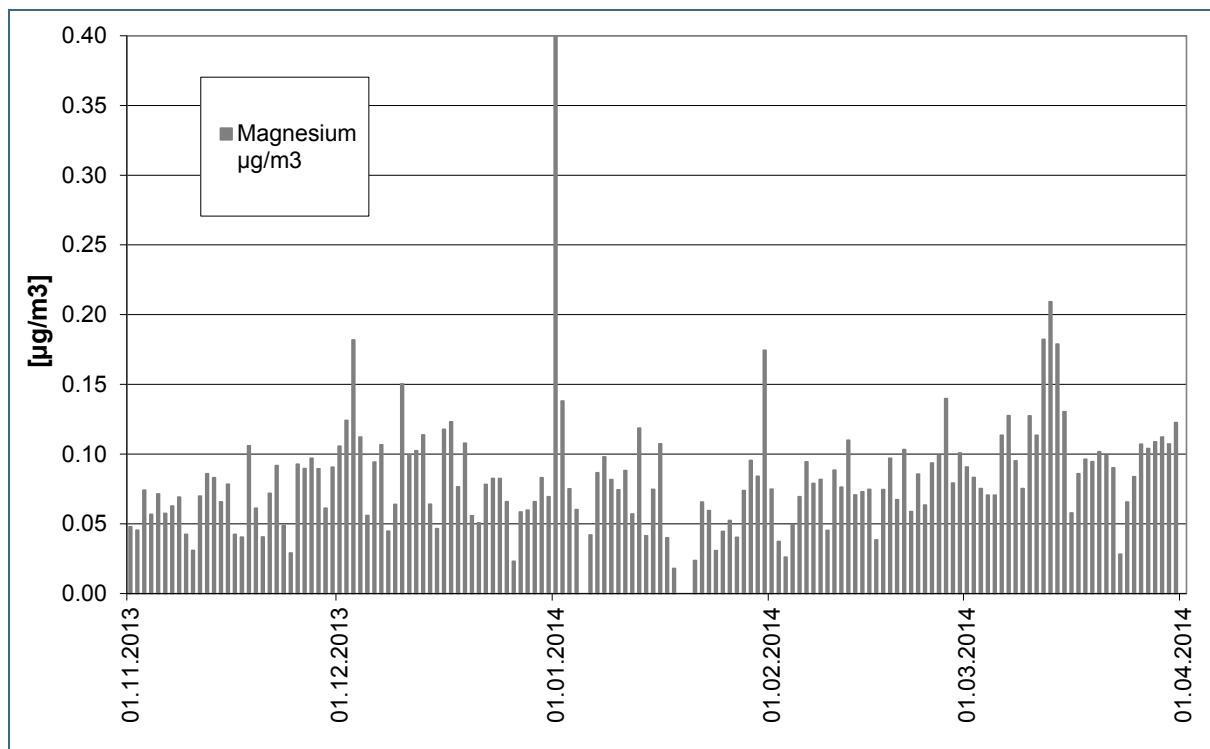


Abb. 68: Magnesium im PM<sub>10</sub> am Standort München/Freimann im Winter 2013/2014.

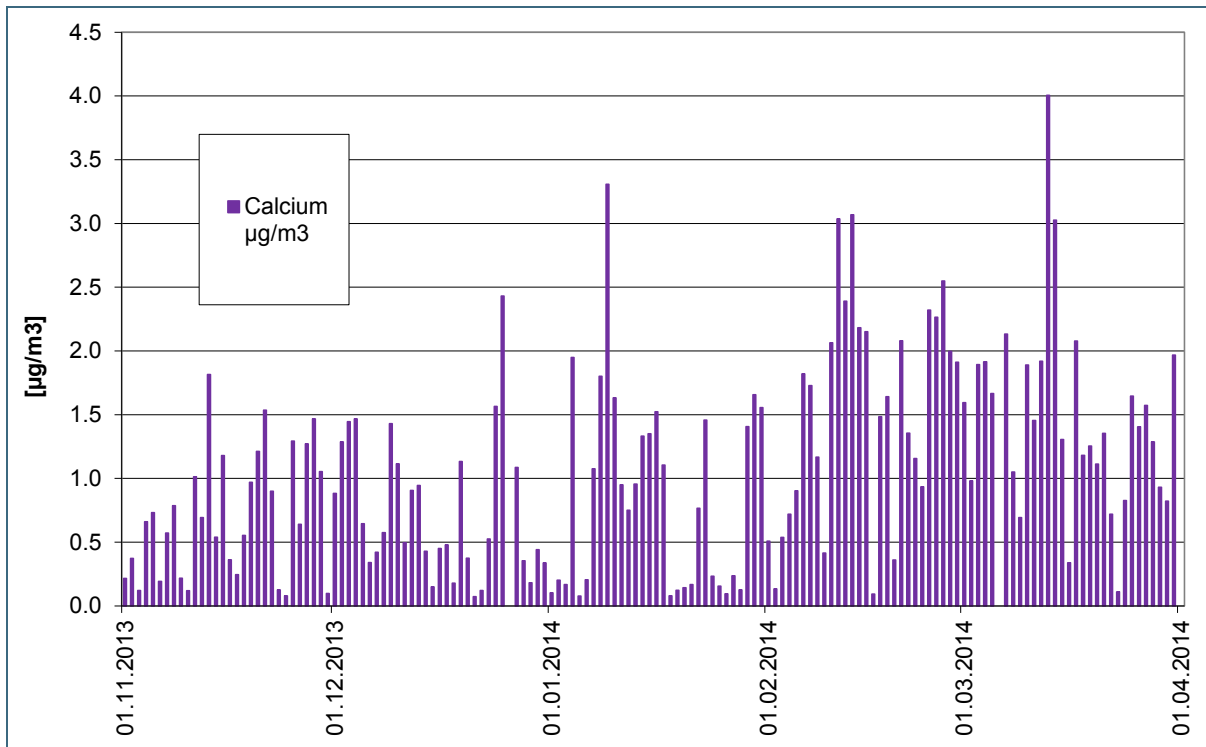


Abb. 69: Calcium im PM<sub>10</sub> am Standort Trostberg/Am Vormarkt im Winter 2013/2014.

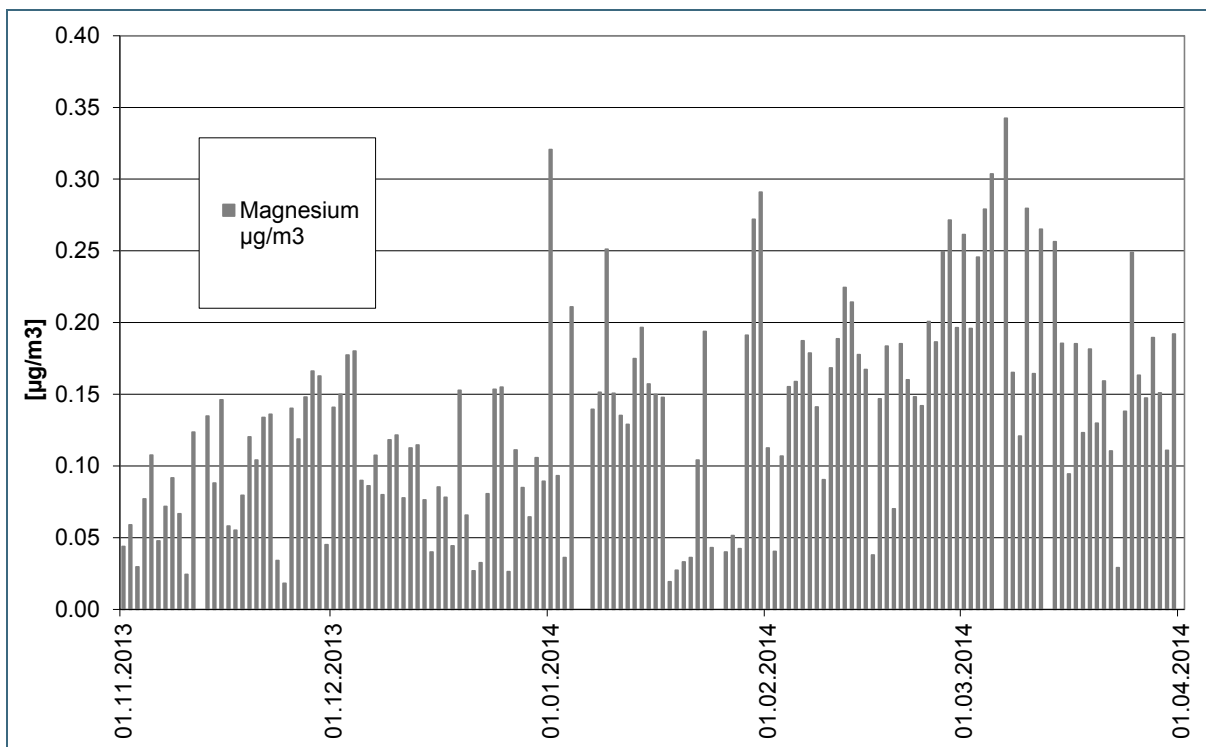


Abb. 70: Magnesium im PM<sub>10</sub> am Standort Trostberg/Am Vormarkt im Winter 2013/2014.

#### 4.2.5 Zusammenfassung und Bewertung der Staubinhaltsstoffanalysen von Calcium und Magnesium

Die Ergebnisse der Staubinhaltsstoffanalytik auf die Parameter Calcium und Magnesium erlauben folgende Aussagen:

- Die Konzentrationsverläufe von Calcium und Magnesium als Bestandteil des Feinstaubes ähneln sich, was auf eine gemeinsame Quelle hindeutet.
- Die Konzentrationen von Calcium und Magnesium zeigen keinen deutlichen Jahresgang auf. Sowohl Calcium als auch Magnesium sind ganzjährig auf relativ gleichmäßigem Konzentrationsniveau nachweisbar.
- Die Konzentrationsverläufe von Calcium und Magnesium unterscheiden sich auch im Winter deutlich vom Konzentrationsverlauf von aufgewirbeltem Streusalz.
- Am besonders stark verkehrsbelasteten LÜB-Standort München/Landshuter Allee werden gegenüber weniger verkehrsbelasteten Standorten deutlich erhöhte Konzentrationen von Calcium und Magnesium im  $PM_{10}$  gemessen. Im Gegensatz dazu sind die Konzentrationen an wenig verkehrsbeeinflussten Standorten, zum Beispiel am LÜB-Standort Würzburg/Kardinal-Faulhaber-Platz, insbesondere aber am LÜB-Standort Tiefenbach/Altenschneeberg (ländlicher Hintergrund) deutlich niedriger. Dies spricht für eine lokale, mit dem Straßenverkehr zusammenhängende Quelle, z. B. Aufwirbelung calcium- und magnesiumhaltiger Partikel durch Kraftfahrzeuge.
- Die deutlichen Unterschiede der Gehalte von Calcium und Magnesium im  $PM_{10}$  und im  $PM_{2,5}$  sprechen ebenfalls für Aufwirbelung vergleichsweise großer calcium- und magnesiumhaltiger Partikel.
- Durch die ausschließliche Feuchtsalzstreuung gelangen nur geringste Mengen von Splitt auf die Fahrbahnen.

Der zeitliche Verlauf der Konzentrationen von Calcium und Magnesium im  $PM_{10}$  macht es unwahrscheinlich, dass der überwiegende Anteil durch Aufwirbelung von im Winterdienst aufgebrauchten Splitt stammt, zumal nach Aussage der Straßenmeistereien Splitt im Winterdienst nur auf Rad- und Fußwegen aufgebracht wird. Wahrscheinlich handelt es sich, zumindest bei einem Teil der calciumhaltigen Partikel, um aufgewirbelten Feinstaub, der nicht aus Winterdienst, sondern aus Fahrbahnabrieb etc. stammt. Die Asphaltdeckschicht von Fahrbahnen besteht zum überwiegenden Teil aus Gesteinssplitten. Zudem werden zur Erhöhung der Griffigkeit neue Fahrbahnoberflächen durch „Absplitten“ abgestumpft, was durch Einwalzen von Splitt in die frisch asphaltierten Asphaltdeckschichten erfolgt [18], [19]. Da es sich hierbei um dasselbe Material handeln kann, das im Winterdienst für den Einsatz als Streusplitt verwendet wird, ist eine Differenzierung zwischen Splitt aus dem Winterdienst einerseits oder Fahrbahnabrieb andererseits als Quelle für Calcium im Feinstaub nicht möglich. Eine weitere Quelle von Calcium im  $PM_{10}$  könnte Abrieb von Bremsbelägen sein, wo Calcium z. T. als Füllstoff eingesetzt wird.

Eine Quantifizierung der aus Aufwirbelung von Splitt aus dem Winterdienst stammenden Feinstaubanteile ist wegen der fehlenden Differenzierungsmöglichkeit von anderen Quellen (z. B. Fahrbahnabrieb) im Rahmen dieses Projekts nicht möglich. Daher wird der **Ca- und Mg-Gehalt** im Feinstaub **nicht** als Nachweis dafür verwendet, einen Einfluss des Winterdienstes auf die Feinstaubkonzentration zu belegen.

### 4.3 Einfluss natürlicher Quellen auf PM<sub>10</sub>

Neben der Quellenzuordnung und Quantifizierung von durch Winterdienst verursachten Feinstaubanteilen ist die Unterscheidung von Feinstaubpartikeln aus natürlichen Quellen und Feinstaubpartikeln anthropogenen Ursprungs ebenfalls Gegenstand dieses Projekts. Falls während der Projektlaufzeit natürliche Ereignisse (z. B. Saharastaubevents, Vulkanascheeintrag) auftreten, die erhebliche Auswirkungen auf die Feinstaubkonzentrationen an bayerischen Messstationen haben, sollen chemische Analysen von Feinstaubproben durchgeführt werden, um z. B. über die Elementzusammensetzung Informationen zur Charakterisierung zu erhalten. Diese Informationen sollen mit meteorologischen Daten (z. B. Satellitenbilder, Trajektorien) zusammengeführt werden, um eine Quellenzuordnung und ggf. die Quantifizierung entsprechender Anteile zu erlauben.

Während der Messdauer des Projektes ließen die meteorologischen Informationen sowie die an der Global Atmosphere Watch – Station Hohenpeißenberg erhobenen Daten keine ausgeprägte Verfrachtung von Saharastaub erkennen, die an bayerischen Messstationen zu Überschreitungen des PM<sub>10</sub>-Tagesgrenzwertes geführt hätten. Dagegen war im April 2010 nach dem Ausbruch des isländischen Vulkans Eyjafjallajökull ein Ferntransport von Asche in Atmosphärenschichten zwischen 4 km und 8 km Höhe zu beobachten, der Partikel bis nach Bayern führte. Am 19.04. und 20.04.2010 kam es nach vertikaler Durchmischung zu erhöhten bodennahen Feinstaubkonzentrationen in Baden-Württemberg und Teilen Bayerns, die zum Teil auf Vulkanaschepartikel zurückgeführt wurden [20], [21]. In den vom Umweltbundesamt aus Informationen der Ländermessnetze generierten „Feinstaub-Deutschlandkarten“ ist die räumliche Verteilung der erhöhten PM<sub>10</sub>-Konzentrationen gut ersichtlich (Abb. 71 und Abb. 72). Eine Erhöhung trat demnach am 18.04.2010 zunächst im Südschwarzwald auf, am 19.04.2010 war bereits der gesamte südwestliche Teil Deutschlands betroffen. Am 20.04.2010 verlagerte sich der Bereich mit erhöhten PM<sub>10</sub>-Konzentrationen weiter Richtung Osten, bevor sich am 21.04.10 die Situation normalisierte.

Um zu klären, ob ein Eintrag von Vulkanasche in bodennahe Luftschichten in Bayern für die beschriebene Konzentrationszunahme verantwortlich ist, und um den entsprechenden Vulkanascheanteil (falls möglich) zu quantifizieren, wurden Feinstaubproben verschiedener LÜB-Messstationen (siehe Tab. 2) auf ihre Elementzusammensetzung untersucht. Dazu wurde ein Aliquot der Proben einem Mikrowellendruckaufschluss nach DIN EN 14902 unterzogen und die Aufschlusslösung mittels ICP-MS analysiert. In Abb. 73 und Abb. 74 sind die Gehalte der Elemente Titan und Zirconium im PM<sub>10</sub> im Zeitraum vom 14.04.2010 bis 23.04.2010 exemplarisch dargestellt.

Zur Auswertung wurden die Elementgehalte vor (14.04. bis 16.04.2010) und nach (22.04. und 23.04.2010) dem mutmaßlichen Vulkanascheeintrag als „Hintergrundgehalte“ am jeweiligen LÜB-Standort mit den Elementgehalten am 19.04. und 20.04.2010 verglichen. Dabei ergibt sich insbesondere bei den Elementen Titan, Zirconium, Yttrium, Cer, Lanthan und in geringerem Umfang auch bei Eisen, Mangan, Aluminium und Cobalt eine signifikante Erhöhung der Gehalte.

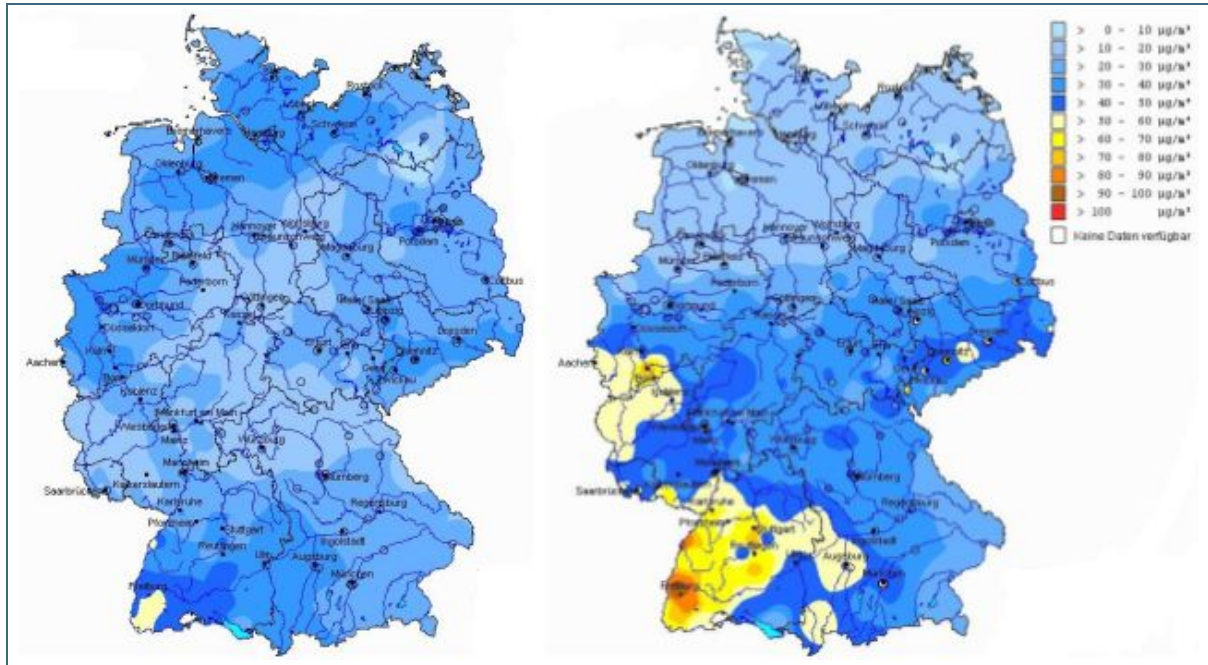


Abb. 71: Feinstaub (PM<sub>10</sub>) an deutschen Messstationen am 18.04.2010 (linke Grafik) und am 19.04.2010 (rechte Grafik). Quelle: Umweltbundesamt

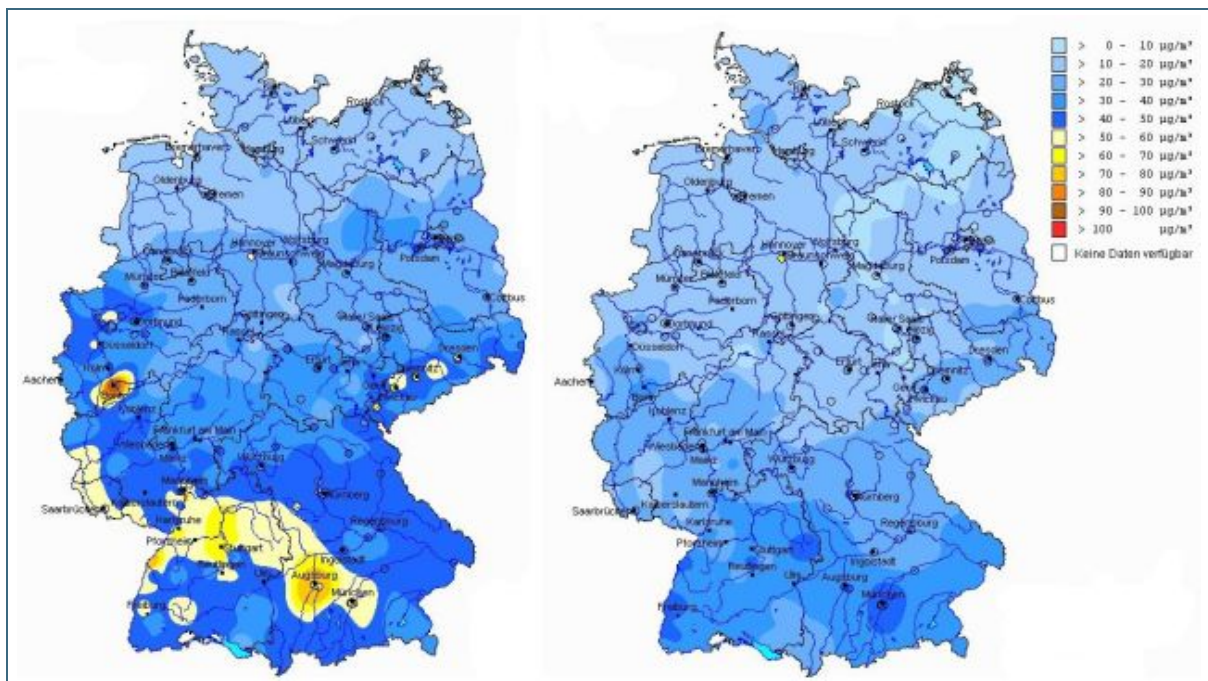


Abb. 72: Feinstaub (PM<sub>10</sub>) an deutschen Messstationen am 20.04.2010 (linke Grafik) und am 21.04.2010 (rechte Grafik). Quelle: Umweltbundesamt



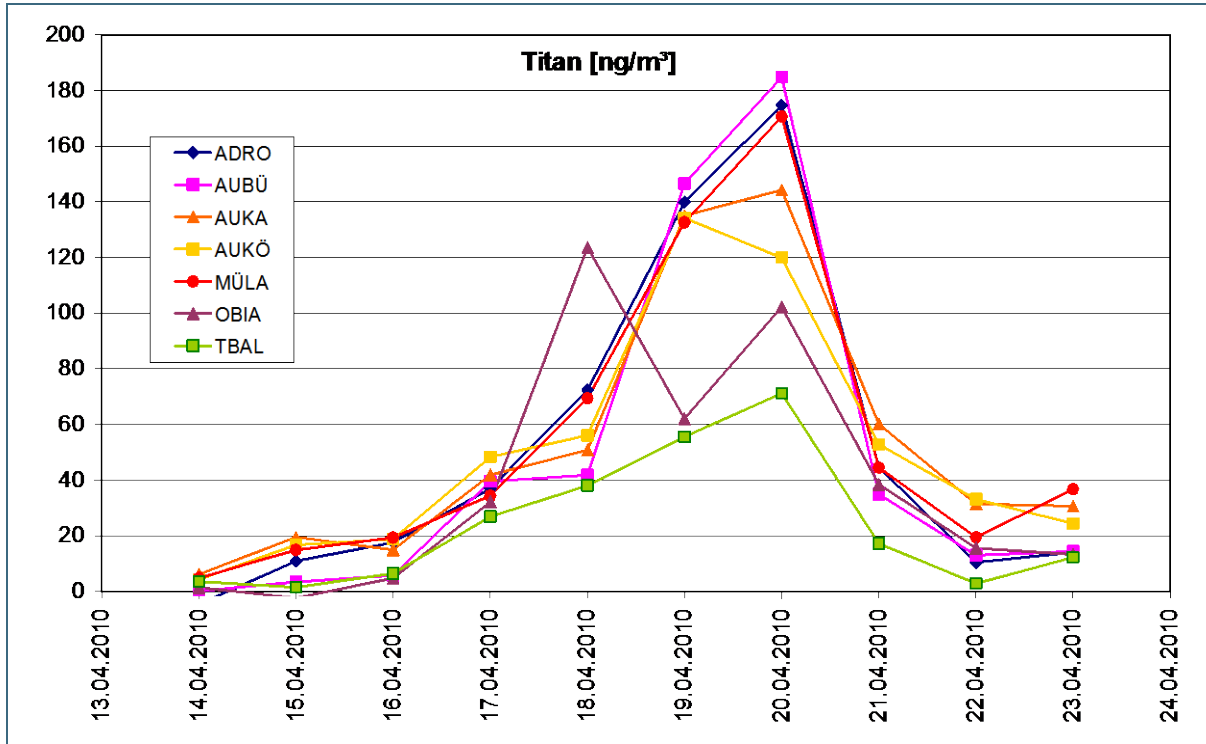


Abb. 73: Titan als Bestandteil des Feinstaubs PM<sub>10</sub> an verschiedenen LÜB-Stationen (14.04.-23.04.2010).

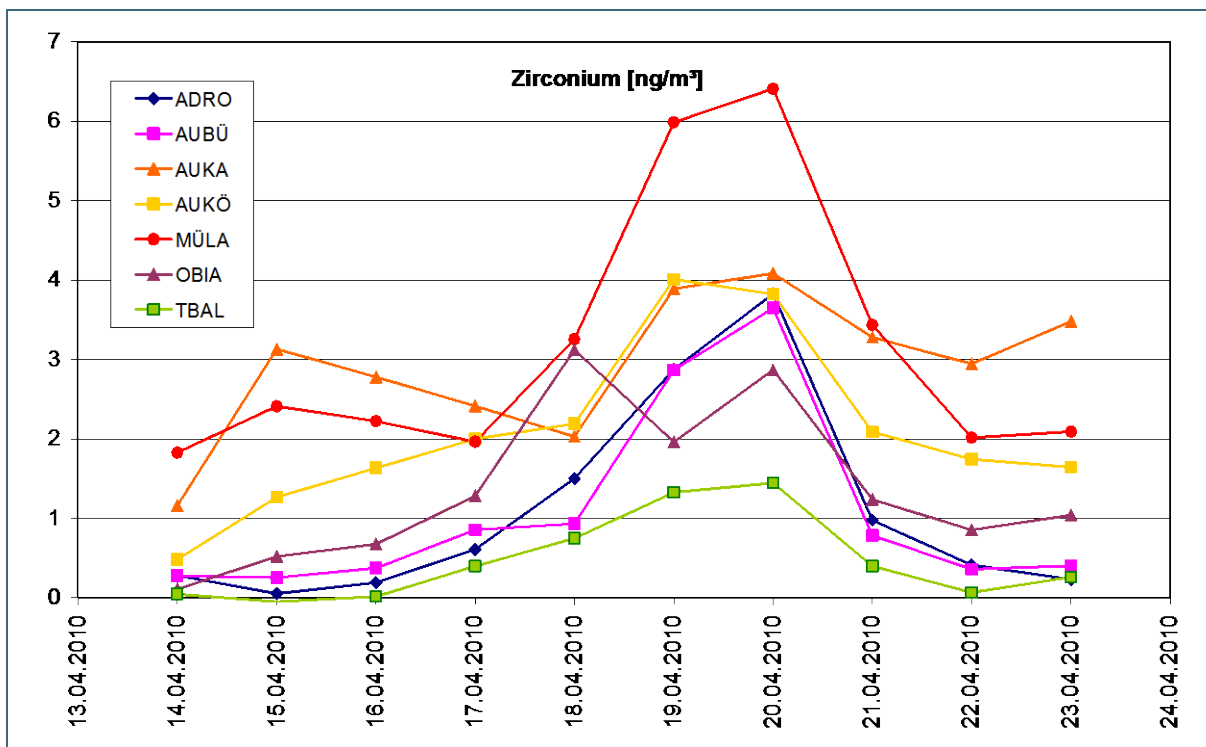


Abb. 74: Zirconium als Bestandteil des Feinstaubs PM<sub>10</sub> an verschiedenen LÜB-Stationen (14.04.-23.04.2010).

Ein Vergleich der im  $PM_{10}$  gemessenen Elementgehalte mit von der Universität Islands publizierten Analysenergebnissen von Vulkanascheproben des Eyjafjallajökull ([22], siehe Abb. 75) macht plausibel, dass die Erhöhung der Elementkonzentrationen aus Vulkanascheeintrag stammt. Die Asche des Eyjafjallajökull enthält relativ hohe Konzentrationen an Titan, Yttrium und Zirkonium. Für die Elemente Cer und Lanthan liegen entsprechende Analysenergebnisse der Asche leider nicht vor. Die Einträge anderer Elemente (z. B. Eisen, Aluminium, Kalium, Calcium) durch Vulkanasche führen zu einer weniger deutlichen Erhöhung der entsprechenden Elementkonzentrationen im Feinstaub, da hier der anthropogene Anteil deutlich höher ist und die Schwankung dieses Anteils die durch Ascheeintrag bedingte Erhöhung zum Teil oder ganz überdeckt. Insgesamt lässt sich festhalten, dass am 19.04.2010 und 20.04.2010 durch Vergleich der Elementgehalte im  $PM_{10}$  mit der Zusammensetzung der Vulkanasche ein Beitrag von Vulkanasche zum  $PM_{10}$  nachgewiesen werden kann. Dieser Befund stimmt mit Ergebnissen überein, die vom LUBW zum Vulkanascheeintrag publiziert wurden [20].

<b>Eyjafjallajökull - Öskusýni 15. April 2010 - Efnagreiningar</b>					
Niels Óskarsson					
Major elements Wt%					
Sample	EYFJ0	EYFJ1	EYFJ2	EYFJ3	EYFJ4
SiO <sub>2</sub>	57,88	58,21	57,22	57,69	57,44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,59	15,55	15,84	15,52	14,92
FeO	9,60	9,50	9,55	9,59	9,79
MnO	0,27	0,27	0,27	0,27	0,25
MgO	2,04	2,12	2,05	2,11	2,45
CaO	5,02	5,05	4,97	5,00	5,72
Na <sub>2</sub> O	5,25	5,05	5,50	5,50	4,96
K <sub>2</sub> O	1,71	1,71	1,74	1,71	1,71
TiO <sub>2</sub>	1,58	1,55	1,54	1,57	1,73
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,77	0,77	0,75	0,72	0,71
<b>Trace elements mg/kg (ppm)</b>					
Ba	420	415	429	425	404
Co	29	27	26	26	31
Cr	45	35	19	47	24
Cu	22	24	23	26	31
Ni	17	23	15	18	17
Sc	16	16	16	16	18
Sr	361	363	359	363	336
V	53	49	47	52	95
Y	83	82	83	82	83
Zn	125	127	124	132	124
Zr	472	464	462	458	463

Abb. 75:  
Zusammensetzung der  
Vulkanasche des Eyjaf-  
jallajökull.

Über die Elementgehalte der Feinstaubproben kann auch eine Quantifizierung des durch Vulkanasche verursachten  $PM_{10}$ -Beitrags erfolgen. Diese erfolgt unter der Annahme, dass sich die Zusammensetzung der Vulkanasche beim Transport durch die Atmosphäre nicht verändert, also z. B. keine Anlagerung von Sekundärpartikeln erfolgt. Unter dieser Prämisse kann der Anteil der Vulkanasche im  $PM_{10}$  wie folgt errechnet werden:

$$PM_{10}(Vulkan) = (c(PM_{10}) - c_0(PM_{10})) \cdot \frac{1}{\beta(Asche)} \cdot \frac{1}{1000} \frac{\mu g}{ng}$$

mit:

$PM_{10}(Vulkan)$ [ $\mu g/m^3$ ]	Beitrag der Vulkanasche zur lokal gemessenen $PM_{10}$ -Konzentration
$c(PM_{10})$ [ $ng/m^3$ ]	Konzentration eines Elements während des durch Vulkanasche beeinflussten Zeitraums
$c_0(PM_{10})$ [ $ng/m^3$ ]	Konzentration eines Elements vor bzw. nach des durch Vulkanasche beeinflussten Zeitraums
$\beta(Asche)$	Massenanteil des betreffenden Elements in der Vulkanasche
1/1000 $\mu g/ng$	Umrechnung von ng auf $\mu g$

Abb. 76: Ermittlung des Beitrags der Vulkanasche zur lokalen  $PM_{10}$ -Konzentration.

Das zur Quantifizierung herangezogene Element sollte eine möglichst hohe Konzentrationserhöhung im Feinstaub an den durch Vulkanasche beeinflussten Tagen erfahren. Aus diesem Grund wurde das Element Titan gewählt. Beispielhaft wird die Berechnung für die LÜB-Messstation Andechs/Rothenfeld am 19.04.2010 aufgezeigt:

$$PM_{10}(Vulkan) = \left( 140 \frac{ng}{m^3} - 9,7 \frac{ng}{m^3} \right) \cdot \frac{1000000 \frac{mg}{kg}}{9300 \frac{mg}{kg}} \cdot \frac{1}{1000} \frac{\mu g}{ng} = 14 \frac{\mu g}{m^3}$$

mit:

$c(PM_{10})$	140 $ng/m^3$	Titankonzentration in $PM_{10}$ am 19.04.2010
$c_0(PM_{10})$	9,7 $ng/m^3$	Mittelwert der Titankonzentrationen in $PM_{10}$ vom 14.04. bis 16.04. und 22.04. bis 23.04.2010
$\beta(Asche)$	9300 $mg/kg$	Massenanteil des betreffenden Elements in der Vulkanasche (1,6% $TiO_2$ )

Abb. 77: Ermittlung des Beitrags der Vulkanasche in Andechs/Rothenfeld.

Wie in Tab. 19 dargestellt, ergeben sich für die untersuchten LÜB-Stationen nach dieser Abschätzung durch Vulkanasche verursachte  $PM_{10}$ -Anteile zwischen 5  $\mu g/m^3$  und 19  $\mu g/m^3$ . Vulkanaschebeiträge in dieser Größenordnung erscheinen für die jeweiligen Messstationen plausibel. Nach demselben Muster wurden am Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz in Nordrhein-Westfalen [23] Abschätzungen der Vulkanascheanteile in  $PM_{10}$  vorgenommen.

Tab. 19: Abschätzung der durch Vulkanasche verursachten PM<sub>10</sub>-Beiträge an verschiedenen LÜB-Stationen; Quantifizierung über das Element Titan.

LÜB-Messstation	Stationskürzel	Vulkanaschebeitrag zum PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ] am	
		19.04.2010	20.04.2010
Andechs/Rothenfeld	ADRO	14	18
Augsburg/LfU	AUBÜ	15	19
Augsburg/Königsplatz	AUKÖ	12	11
Augsburg/Karlstraße	AUKA	12	13
München/Landshuter Allee	MÜLA	12	16
Oberaudorf/Inntalautobahn	OBIA	6	10
Tiefenbach/Altenschneeberg	TBAL	5	7

Damit ergeben sich an diesen beiden Tagen erhebliche PM<sub>10</sub>-Zusatzbeiträge durch den Vulkanascheintrag in bodennahe Luftschichten. Die Elementanalytik belegt (qualitativ), dass Vulkanasche zu einer Erhöhung der an LÜB-Messstationen erfassten Feinstaubkonzentrationen beitrug und erlaubt (unter gewissen Annahmen) eine Abschätzung des durch den Ferntransport von Vulkanasche hervorgerufenen Anteils zum gemessenen PM<sub>10</sub>. Die im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Elementanalysen sowie die daraus abgeleiteten Erkenntnisse wurden als Teil einer Publikation zu den Auswirkungen des Eyjafjallajökull-Ausbruchs auf die Luftqualität veröffentlicht [24]. Die aufgrund des Einflusses von Vulkanasche erhöhten PM<sub>10</sub>-Gehalte wurden zudem in einem Kurzbeitrag im LfU-Jahresbericht [25] thematisiert.

## 5 Ermittlung der durch die Aufwirbelung von Streusalz verursachten PM<sub>10</sub>-Tagesgrenzwertüberschreitungen

Für die weitere Bewertung ist es entscheidend, ob es sich bei der Quelle der z. T. sehr hohen Gehalte von Natrium und Chlorid im PM<sub>10</sub> zweifelsfrei um Aufwirbelung von Streusalz aus dem Winterdienst handelt. Die in Kap. 4.1 dargestellten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Konzentrationen von Natrium und Chlorid im Feinstaub weisen einen ausgeprägten Jahresgang auf. Bleiben alle Tage, an denen die Summe aus Natrium und Chlorid weniger als 1 µg/m<sup>3</sup> beträgt und/oder an denen das molare Verhältnis deutlich von 1 abweicht, unberücksichtigt, so werden relevante Konzentrationen von Natriumchlorid nur in der kalten Jahreszeit gemessen.
- An verkehrsreichen Straßen mit hohen Fahrgeschwindigkeiten (wie z. B. LÜB-Standorte München/Landshuter Allee, Würzburg/Stadtring Süd, Oberaudorf/Inntalautobahn) werden gegenüber weniger verkehrsreichen Standorten bzw. Standorten mit niedrigeren Fahrgeschwindigkeiten (wie z. B. LÜB-Standorte Augsburg/Königsplatz, Würzburg/Kardinal Faulhaber-Platz) höhere Konzentrationen von Natrium und Chlorid im PM<sub>10</sub> gemessen.
- Am LÜB-Hintergrundstandort Tiefenbach/Altenschneeberg wurden im Winter 2009/2010 an keinem einzigen Tag nennenswerte Konzentrationen von Natrium und Chlorid im Feinstaub festgestellt. Dies spricht gegen einen (im Vergleich zu den aus der Aufwirbelung von Streusalz stammenden Konzentrationen) mengenmäßig relevanten überregionalen Eintrag natrium- und chloridhaltiger Partikel an LÜB-Messstationen, die z. B. aus Seesalz stammen könnten.

- Die deutlichen Unterschiede der Konzentrationen von Natrium und Chlorid im PM<sub>10</sub> und im PM<sub>2,5</sub> sprechen für eine lokale Quelle, die überwiegend größere Partikel generiert, wie z. B. Aufwirbelung.
- Nach Prüfung von Informationen über den Streumittleinsatz sind die Konzentrationen von Natrium und Chlorid im Feinstaub plausibel als Aufwirbelung von auf die Fahrbahn ausgebrachtem Streusalz erklärbar.
- An einer Reihe von im Projekt untersuchten Standorten erfolgten Ortseinsichten, die ebenfalls der Abschätzung dienten, inwiefern eine Aufwirbelung von Streusalz plausibel ist. An allen Standorten wurden die jeweils im Feinstaub gemessenen Konzentrationen von Natrium und Chlorid als durch Aufwirbelung von Streusalz erklärbar erachtet.

Somit sind alle für die Parameter Natrium und Chlorid erhobenen Daten im Einklang mit der Aussage, dass es sich bei der Quelle der an einzelnen Tagen sehr hohen Gehalte von Natrium und Chlorid im PM<sub>10</sub> um Aufwirbelung von Streusalz aus dem Winterdienst handelt.

§ 25 der 39. BImSchV [8] sieht vor, Überschreitungen des Tagesmittelwerts für PM<sub>10</sub>, die auf die Ausbringung von Streusand (Splitt) und -salz auf Straßen im Winterdienst zurückzuführen sind, für die Luftreinhalteplanung nicht als Tagesgrenzwertüberschreitung zu werten. Nachdem dargelegt wurde, dass die an Verkehrsmessstationen im Winter im PM<sub>10</sub> gefundenen Staubinhaltsstoffe Natrium und Chlorid überwiegend aus Aufwirbelung von Streusalz stammen, kommt für Überschreitungen des PM<sub>10</sub>-Tagesgrenzwertes aufgrund signifikanter Gehalte dieser Komponenten im PM<sub>10</sub> § 25 der 39. BImSchV zum Tragen. Bei den Staubinhaltsstoffen Calcium und Magnesium ist nach bisherigem Kenntnisstand (siehe Kap. 4.2) wahrscheinlich, dass ein erheblicher Anteil nicht aus der Ausbringung von Splitt im Winterdienst (§ 25 anwendbar), sondern durch Aufwirbelung aus anderen Quellen, z. B. Fahrbahnabrieb (§ 25 nicht anwendbar), herrührt. Daher wird im Folgenden bei der Ermittlung der Anzahl von Überschreitungen des PM<sub>10</sub>-Tagesgrenzwertes, die auf Winterdienst zurückzuführen sind, lediglich die Aufwirbelung von Streusalz, die mit den im Projekt gewonnenen Erkenntnissen sicher auf Winterdienst zurückzuführen ist, betrachtet.

Dabei wurden beide in Kapitel 3.3 beschriebenen Rechenansätze, also einerseits die Bestimmung der Konzentration an Streusalz über die plausibilisierte Summe von Na und Cl; andererseits nach dem von der Europäischen Kommission publizierten Leitfaden [12] die Hochrechnung von Cl auf NaCl über die molaren Massen, verglichen. Bei der Berechnung nach [12] ist allerdings darauf zu achten, dass am 01.01. jeden Jahres durch das Abbrennen pyrotechnischer Artikel ungewöhnlich hohe Konzentrationen an Chlorid im PM<sub>10</sub> auftreten, die nicht aus der Aufwirbelung von Streusalz stammen. Da die entsprechenden Überschreitungstage nicht als maßgeblich durch Aufwirbelung von Streusalz verursacht bewertet werden, ist § 25 der 39. BImSchV nicht anwendbar.

Werden diese Rechenansätze an allen im Rahmen des Projektes untersuchten LÜB-Messstationen durchgeführt, so erhält man die in Tab. 20 aufgeführten und nach Kalenderjahr gegliederten Ergebnisse. Diese Darstellung erlaubt einen direkten Vergleich der beiden Berechnungsmethoden und zeigt, dass beide zu sehr ähnlichen Resultaten bezüglich der Anzahl verbleibender Überschreitungen führen.

Es ist offensichtlich, dass die Korrektur bezüglich des Streusalzanteils an einzelnen LÜB-Messstationen die Anzahl der PM<sub>10</sub>-Tagesgrenzwertüberschreitungen ganz erheblich verringert. Hervorzuheben ist hier die LÜB-Messstation München/Landshuter Allee. Hier wurden im Jahr 2013 insgesamt 39 Überschreitungen des PM<sub>10</sub>-Tagesgrenzwertes festgestellt. Die im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Staubinhaltsstoffanalysen zeigen, dass neun dieser 39 Überschreitungen auf die Aufwirbe-

lung von Streusalz zurückzuführen waren. Bleibt der auf Aufwirbelung von Streusalz zurückzuführende Anteil des Feinstaubes (PM<sub>10</sub>) nach § 25 der 39. BImSchV außer Ansatz, so kann der Tagesgrenzwert für PM<sub>10</sub> an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee in 2013 eingehalten werden [26].

Einen ähnlich hohen Einfluss hatte die Aufwirbelung von im Winterdienst ausgebrachtem Streusalz an dieser LÜB-Messstation auch in den Jahren 2009 – 2012, in denen in jedem Kalenderjahr zwischen fünf und elf Überschreitungen des PM<sub>10</sub>-Tagesgrenzwertes durch Aufwirbelung von Streusalz verursacht waren. Eine ähnlich hohe Anzahl an durch Aufwirbelung von Streusalz verursachten Überschreitungen wurde im Jahr 2013 an der LÜB-Messstation Nürnberg/Von-der-Tann-Straße festgestellt. Hier waren zehn der 31 Überschreitungen auf die Aufwirbelung von Streusalz zurückzuführen.

Aus Tab. 20 geht auch hervor, dass beide Rechenansätze (einerseits die Bestimmung des Absolutgehalts an Streusalz über die plausibilisierte Summe von Natrium und Chlorid; andererseits nach dem EU-Leitfaden [12] die Hochrechnung von Cl auf NaCl über die Molmasse) zu sehr ähnlichen Ergebnissen kommen. So weichen die Ergebnisse an allen im Rahmen des Projekts durchgeführten Messstationen um maximal zwei Überschreitungstage voneinander ab.

Tab. 20: Überschreitungshäufigkeiten des PM<sub>10</sub>-Tagesgrenzwertes vor und nach Korrektur bezüglich des Anteils an aufgewirbeltem Streusalz nach unterschiedlichen Berechnungsmethoden.

LÜB-Messstation <sup>1)</sup> Nur 01.01. – 31.03.	Jahr	PM <sub>10</sub> - ÜS Tagesgrenzwert unkorrigiert	PM <sub>10</sub> - ÜS korrigiert mit Streusalz aus Summe Natrium + Chlorid	PM <sub>10</sub> - ÜS korrigiert mit Streusalz hochgerechnet aus Chlorid
MÜLA	2009	52	42	41
AUKÖ	2009	33	32	33
MÜLA	2010	65	56	55
AUKÖ	2010	44	43	43
AUKA	2010	34	30	30
WBSS	2010	17	15	15
OBIA	2010	24	24	24
MÜLA	2011	48	43	43
AUKÖ	2011	38	38	38
AUKA	2011	35	33	33
WBSS	2011	36	36	36
MÜST	2011	35	32	32
NÜVDT	2011	32	31	31
LAPO	2011	23	23	23
OBIA <sup>1)</sup>	2011	6	4	5
MÜLA	2012	27	17	17
MÜST	2012	14	12	11
AUKÖ	2012	22	20	21
AUKA	2012	21	18	18
WBSS	2012	19	17	17
NÜVDT	2012	17	15	15
RERA	2012	18	16	15
PAST	2012	12	11	11
KERE	2012	11	8	8
MÜLA	2013	39	29	30
MÜST	2013	19	17	17
AUKÖ	2013	26	25	25
AUKA	2013	30	28	27
WBSS	2013	19	19	17
NÜVDT	2013	31	21	21
RERA	2013	28	24	23
KERE	2013	8	7	6
ANRE	2013	16	13	11
MÜLA	2014	17	16	16
MÜST	2014	14	13	13
AUKÖ	2014	15	15	15
AUKA	2014	18	18	18
WBSS	2014	18	18	18
NÜVDT	2014	24	23	23
RERA	2014	30	30	30
KERE <sup>1)</sup>	2014	5	5	5
MÜLA	2015	13	8	9
MÜST	2015	7	6	6
AUKÖ	2015	7	7	7
AUKA	2015	11	11	10
WBSS	2015	17	17	17
NÜVDT	2015	21	15	14
RERA	2015	11	11	11

Tab. 21 gibt nochmals einen Überblick der untersuchten LÜB-Messstationen mit der Anzahl der Überschreitungen des PM<sub>10</sub>-Tagesgrenzwertes. Die Berechnung der durch Aufwirbelung von Streusalz verursachten Überschreitungstage erfolgte hierbei nach der im EU-Leitfaden [12] empfohlenen Methode.

Tab. 21: Anzahl der durch aufgewirbeltes Streusalz verursachten Überschreitungen des PM<sub>10</sub>-Tagesgrenzwertes an den untersuchten LÜB-Messstationen; Ermittlung nach der im EU-Leitfaden empfohlenen Methode.

Messstation	2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015	
	PM10 OS	durch Streusalz verursacht	PM10 OS	durch Streusalz verursacht	PM10 OS	durch Streusalz verursacht	PM10 OS	durch Streusalz verursacht	PM10 OS	durch Streusalz verursacht	PM10 OS	durch Streusalz verursacht	PM10 OS	durch Streusalz verursacht
München Landshuter Allee	52	11	65	10	48	5	27	10	39	9	17	1	13	4
Augsburg Königsplatz	33	0	44	1	38	0	22	1	26	1	15	0	7	0
Augsburg Karlstraße			34	4	35	2	21	3	30	3	18	0	11	1
Würzburg Stadtring Süd			17	2	36	0	19	2	19	2	18	0	17	0
Oberaudorf Inntalautobahn			24	0	6	1 (Q1)								
München Stachus					35	3	14	3	19	2	14	1	7	1
Nürnberg von-der-Tann-Straße					32	1	17	2	31	10	24	1	21	7
Landshut Podewilsstraße					23	0								
Burghausen Marktler Straße			36	1	27	0	12	0 (Q1)						
Kelheim Regensburger Straße							11	3	8	2	5	0 (Q1)		
Kulmbach Konrad Adenauer Straße							7	0 (Q1)						
Lindau Holdereggenstraße							14	2 (Q1)						
Passau Stelzhamerstraße							12	1						
Regensburg Rathausplatz							18	3	28	5	30	0	11	0
Ansbach Residenzstraße									16	5				
grün hinterlegt: Abzug des Streusalzanteils führt zur Einhaltung des PM10-Tagesgrenzwertes														
orange hinterlegt: Analytik auf NaCl erfolgte nur im ersten Quartal des entsprechenden Jahres														

Die Berichte zur Quantifizierung des Beitrags von Streusalz zur Feinstaubbelastung (PM<sub>10</sub>) in Bayern für die entsprechenden Kalenderjahre, welche auch der Europäischen Kommission übermittelt werden, sind in Anlage 3 zu finden und werden auf den Internetseiten des LfU veröffentlicht:

[http://www.lfu.bayern.de/luft/luftreinhalteplanung\\_verkehr/streusalzberichte/index.htm](http://www.lfu.bayern.de/luft/luftreinhalteplanung_verkehr/streusalzberichte/index.htm)

Nach § 25 der 39. BImSchV können auch für die Überwachung des Jahresmittelwertes für PM<sub>10</sub> bezüglich der Aufwirbelung von im Winterdienst ausgebrachtem Streusalz korrigierte PM<sub>10</sub>-Werte herangezogen werden. Dies kann von Bedeutung sein, wenn an einer Messstation der Grenzwert der 39. BImSchV von 40 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel PM<sub>10</sub>- überschritten wird. Werden die analytisch ermittelten signifikanten (NaCl größer 1 µg/m<sup>3</sup>) Streusalzanteile im PM<sub>10</sub> aus den jeweiligen Tagesmittelwerten herausgerechnet, so reduziert sich auch der daraus berechnete Jahresmittelwert für PM<sub>10</sub> an den betrachteten LÜB-Messstationen mehr oder weniger deutlich.

In Tab. 22 sind die Jahresmittelwerte für PM<sub>10</sub> an den untersuchten LÜB-Messstationen exemplarisch für die Jahre 2009 bis 2011 vor und nach Korrektur bezüglich des Beitrags der Aufwirbelung von Streusalz zum PM<sub>10</sub> zusammengestellt. An diesen Daten ist erkennbar, dass an einzelnen Stationen auch der PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwert deutlich reduziert wird. Besonders auffällig ist wiederum die LÜB-Messstation München/Landshuter Allee. Hier reduziert eine Korrektur bezüglich der Anteile an aufgewirbeltem Streusalz die PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwerte in 2009 und 2010 um jeweils ca. 7%.



Tab. 22: Jahresmittelwerte für PM<sub>10</sub> an verschiedenen LÜB-Messstationen vor und nach Korrektur bezüglich der Streusalzgehalte.

LÜB-Messstation	Jahr	PM <sub>10</sub> - Jahresmittelwert unkorrigiert	PM <sub>10</sub> - Jahresmittelwert korrigiert mit Streusalz hochgerechnet aus Chlorid
MÜLA	2009	37,2 µg/m <sup>3</sup>	34,5 µg/m <sup>3</sup>
AUKÖ	2009	30,9 µg/m <sup>3</sup>	30,5 µg/m <sup>3</sup>
MÜLA	2010	38,1 µg/m <sup>3</sup>	35,6 µg/m <sup>3</sup>
AUKÖ	2010	31,0 µg/m <sup>3</sup>	29,7 µg/m <sup>3</sup>
AUKA	2010	29,9 µg/m <sup>3</sup>	29,4 µg/m <sup>3</sup>
WBSS	2010	27,0 µg/m <sup>3</sup>	26,5 µg/m <sup>3</sup>
OBIA	2010	24,2 µg/m <sup>3</sup>	23,6 µg/m <sup>3</sup>
MÜLA	2011	36,4 µg/m <sup>3</sup>	35,1 µg/m <sup>3</sup>
AUKÖ	2011	30,3 µg/m <sup>3</sup>	30,0 µg/m <sup>3</sup>
AUKA	2011	29,0 µg/m <sup>3</sup>	28,5 µg/m <sup>3</sup>
WBSS	2011	28,6 µg/m <sup>3</sup>	28,4 µg/m <sup>3</sup>
MÜST	2011	30,9 µg/m <sup>3</sup>	30,4 µg/m <sup>3</sup>
NÜVDT	2011	28,0 µg/m <sup>3</sup>	27,7 µg/m <sup>3</sup>
LAPO	2011	24,9 µg/m <sup>3</sup>	24,9 µg/m <sup>3</sup>

Die im Rahmen dieses Projekts erhaltenen Erkenntnisse bezüglich der Aufwirbelung von Streusalz an verkehrsnahen LÜB-Messstationen sowie deren Konsequenzen für die Luftreinhalteplanung wurden als Fachvortrag auf dem Messtechnischen Kolloquium [27] präsentiert sowie in einer Fachzeitschrift publiziert [28]. Mittlerweile erfolgen auch in anderen Bundesländern gezielt Staubinhaltsstoffanalysen, um den auf Aufwirbelung von Streusalz zurückzuführenden Anteil des Feinstaubes (PM<sub>10</sub>) zu quantifizieren (siehe z. B. [29]).

## 6 Einfluss des Wetters auf die PM<sub>10</sub>-Konzentration und das Ausmaß der Aufwirbelung von Streusalz

Aus Tab. 20 ist ersichtlich, dass während der Wintermonate der Kalenderjahre 2010 bis 2015 an den LÜB-Messstationen München/Landshuter Allee, Augsburg/Karlstraße, Augsburg/Königsplatz und Würzburg/Stadtring Süd durchgehend Analytik auf winterdienstspezifische Komponenten durchgeführt wurde. An den LÜB-Messstationen München/Stachus und Nürnberg/Von-der-Tann-Straße liegen diese Daten für die Kalenderjahre 2011 bis 2015 vor. Dieser umfangreiche Datensatz eignet sich, um grundsätzliche Betrachtungen zur Korrelation von Wetterdaten und PM<sub>10</sub>-Konzentrationen bzw. von Wetterdaten und dem Ausmaß der Aufwirbelung von Streusalz vorzunehmen oder zu verifizieren. Als Datenbasis für die Wetterdaten wurde die frei verfügbare Datenbank „WESTE\_XL“ [30] des Deutschen Wetterdienstes (DWD) herangezogen, aus der Messwerte für Lufttemperatur Tagesminimum, Lufttemperatur Tagesmittel, Lufttemperatur Tagesmaximum und Niederschlagshöhe an der der jeweils untersuchten LÜB-Messstation nächstgelegenen meteorologischen Station abgerufen und zu Monatsmittelwerten aggregiert wurden. Die Wetterdaten des jeweils betrachteten Kalenderjahres wurden aus den Monatsmittelwerten der Monate Januar bis März sowie November und Dezember erhalten. In Tab. 23 sind diese Wetterdaten für München dargestellt. Da an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee in der Regel der stärkste Einfluss der Aufwirbelung von Streusalz auf die Feinstaubkonzentration (siehe Tab. 11 bis Tab. 18) zu beobachten war, werden die Daten dieser Messstation (siehe Tab. 24) exemplarisch ausgewertet.

Tab. 23: Aggregierte Wetterdaten für München aus der Datenbank „WESTE\_XL“, jeweils Mittelwert über den Zeitraum Januar bis März und November / Dezember.

Jahr	Mittlere Lufttemperatur Tagesminimum [°C]	Anzahl Tage mit Lufttemperatur Tagesminimum unter 0 °C (Frosttage)	Mittlere Lufttemperatur Tagesmittel [°C]	Anzahl Tage mit Lufttemperatur Tagesmittel unter 0 °C	Mittlere Lufttemperatur Tagesmaximum [°C]	Anzahl Tage mit Lufttemperatur Tagesmaximum unter 0 °C (Eistage)
2010	-1,25	93	1,51	74	4,55	49
2011	0,27	69	3,52	28	7,33	17
2012	-0,29	59	2,91	37	6,38	23
2013	-0,80	81	1,91	50	4,94	29
2014	1,81	31	5,24	10	9,00	3
2015	0,83	70	4,50	20	8,55	5

Quelle: Deutscher Wetterdienst

Tab. 24: Datensatz zu PM<sub>10</sub> und der Aufwirbelung von Streusalz an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee

Jahr	Maximalwert NaCl im PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Anzahl Tage mit Einfluss von Streusalz auf PM <sub>10</sub> (NaCl > 1 µg/m <sup>3</sup> )	Anzahl PM <sub>10</sub> -ÜS	Anzahl streusalzbedingter PM <sub>10</sub> -ÜS	Anzahl PM <sub>10</sub> -ÜS nach Korrektur bzgl. Streusalz
2010	22	113	65	10	55
2011	36	84	48	5	43
2012	37	77	27	10	17
2013	50	97	39	9	30
2014	20	49	17	1	16
2015	36	68	13	4	9

Quelle: Deutscher Wetterdienst

In Abb. 78 ist die Anzahl der PM<sub>10</sub>-Überschreitungstage an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee gegen die mittlere Lufttemperatur im Tagesminimum aufgetragen. Abb. 79 zeigt die Anzahl der PM<sub>10</sub>-Überschreitungstage an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee in Abhängigkeit der Anzahl von Tagen mit einer Lufttemperatur im Tagesmittel unter 0°C in München (Jan. - März und Nov. - Dez.) für das jeweilige Kalenderjahr. Offensichtlich werden in Kalenderjahren mit niedrigen Durchschnittstemperaturen während der Wintermonate signifikant mehr Überschreitungen des PM<sub>10</sub>-Grenzwertes beobachtet. Dies ist zum einen auf die bei kalter Witterung verstärkt auftretenden Inversionswetterlagen zurückzuführen, zum anderen erfolgt bei niedrigen Temperaturen entsprechend häufiger eine Ausbringung von Streusalz im Winterdienst, was zu erhöhten Beiträgen der Aufwirbelung und damit höherer Wahrscheinlichkeit für Überschreitungen des PM<sub>10</sub>-Grenzwertes führt.

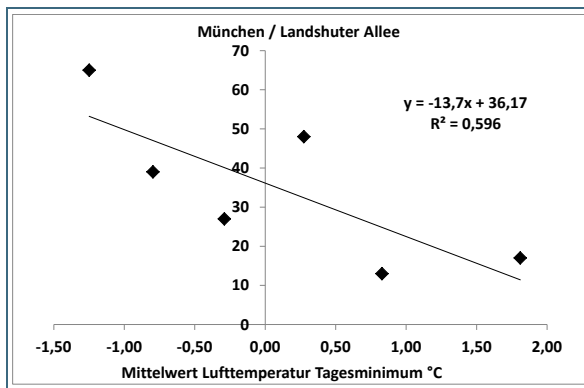


Abb. 78: Mittlere Lufttemperatur Tagesminimum in München und Anzahl der PM<sub>10</sub>-Überschreitungstage im jeweiligen Kalenderjahr an der LÜB-Messstation München / Landshuter Allee.

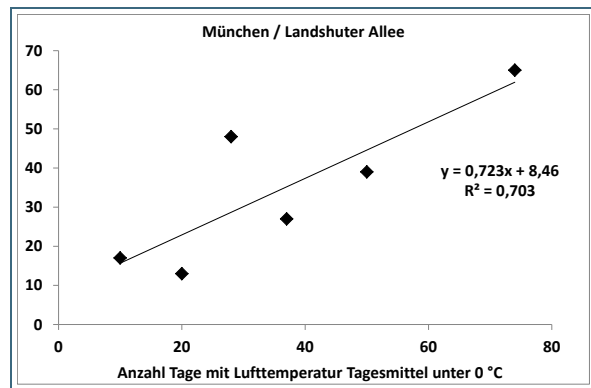


Abb. 79: Anzahl der Tage mit dem Mittelwert der Lufttemperatur in München unter 0° und Anzahl der PM<sub>10</sub>-Überschreitungstage im jeweiligen Kalenderjahr an der LÜB-Messstation München / Landshuter Allee.

In Abb. 80 ist die Anzahl der Tage, an denen die PM<sub>10</sub>-Konzentration an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee durch die Aufwirbelung von Streusalz signifikant (mehr als 1 µg/m<sup>3</sup>) erhöht war, gegen die mittlere Lufttemperatur im Tagesminimum in München (Jan.-März und Nov-Dez) für das jeweilige Kalenderjahr aufgetragen. Die Grafik lässt an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee einen eindeutigen Zusammenhang dieser beiden Größen erkennen. Ähnlich gut ist in Abb. 81 die Korrelation der Anzahl der Tagen, an denen die PM<sub>10</sub>-Konzentration an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee durch die Aufwirbelung von Streusalz signifikant (mehr als 1 µg/m<sup>3</sup>) erhöht war, gegen die Anzahl der Tage mit einer mittleren Lufttemperatur unter 0°C in München (Jan.-März und Nov-Dez) für das jeweilige Kalenderjahr. Diese Befunde sind plausibel, zumal bei niedrigen Temperaturen entsprechend häufiger gestreut wird und damit häufiger signifikante Anteile von Natrium und Chlorid im PM<sub>10</sub> gemessen werden.

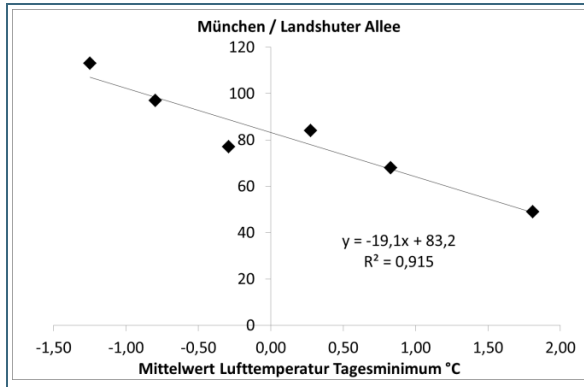


Abb. 80: Lufttemperatur Tagesminimum in München im jeweiligen Kalenderjahr und Anzahl der Tage mit signifikanten Mengen NaCl im PM<sub>10</sub>.

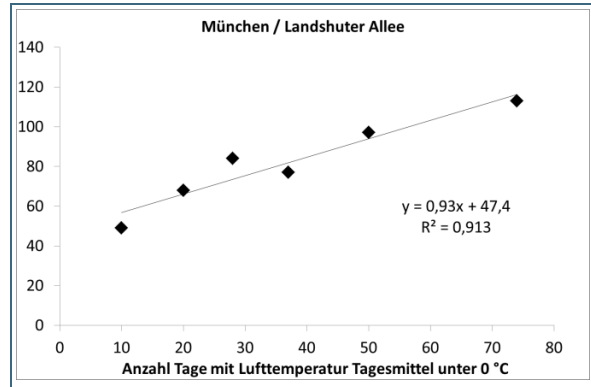


Abb. 81: Anzahl der Tage mit dem Mittelwert der Lufttemperatur in München unter 0°C im jeweiligen Kalenderjahr und Anzahl der Tage mit signifikanten Mengen NaCl im PM<sub>10</sub>.

In Abb. 82 und Abb. 83 wird derselbe Sachverhalt für die LÜB-Messtation Augsburg/Karlstraße dargestellt. Hier zeigt sich ebenfalls noch eine deutliche Korrelation zwischen der Anzahl der Tagen, an denen die PM<sub>10</sub>-Konzentration an dieser Messtation durch die Aufwirbelung von Streusalz signifikant (mehr als 1 µg/m<sup>3</sup>) erhöht war, gegen die mittlere Lufttemperatur im Tagesminimum bzw. Anzahl der Tage mit einer mittleren Lufttemperatur unter 0°C in Augsburg (Jan.-März und Nov-Dez) für das jeweilige Kalenderjahr.

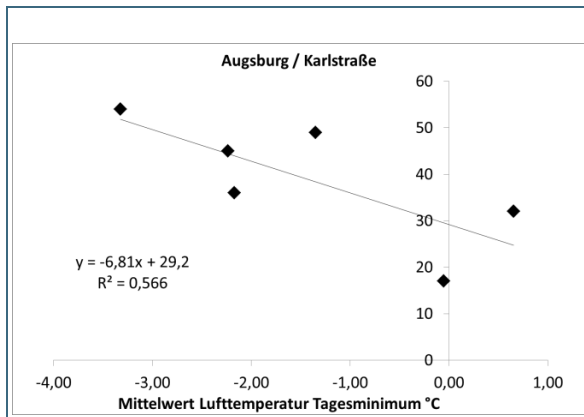


Abb. 82: Lufttemperatur Tagesminimum in Augsburg im jeweiligen Kalenderjahr und Anzahl der Tage mit signifikanten Mengen NaCl im PM<sub>10</sub>.

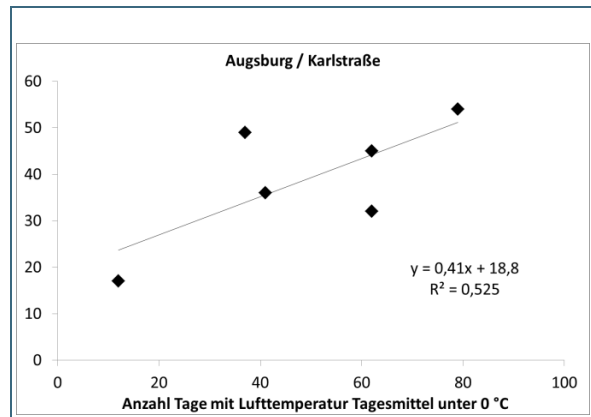


Abb. 83: Anzahl der Tage mit dem Mittelwert der Lufttemperatur in Augsburg unter 0°C im jeweiligen Kalenderjahr und Anzahl der Tage mit signifikanten Mengen NaCl im PM<sub>10</sub>.

In Abb. 84 ist für die LÜB-Messtation München/Landshuter Allee die Anzahl der durch Streusalz verursachten PM<sub>10</sub>-Überschreitungstage gegen die mittlere Lufttemperatur im Tagesminimum in München im jeweiligen Kalenderjahr aufgetragen. Abb. 85 zeigt die Anzahl der durch Streusalz verursachten PM<sub>10</sub>-Überschreitungstage an der Messtation München/Landshuter Allee in Abhängigkeit der Anzahl von Tagen mit einer Lufttemperatur im Tagesmittel unter 0°C in München (Jan.-März und Nov-Dez) für das jeweilige Kalenderjahr.

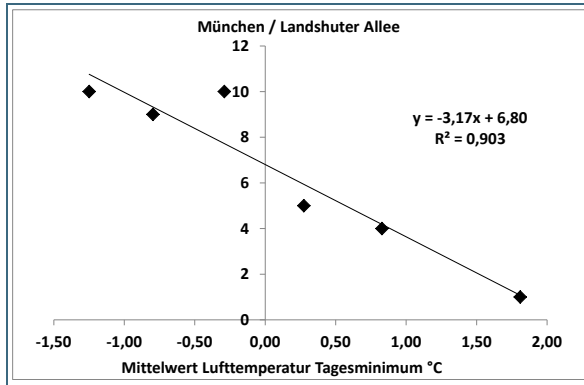


Abb. 84: Mittlere Lufttemperatur Tagesminimum in München und Anzahl der durch Streusalz verursachten PM<sub>10</sub>-Überschreitungstage im jeweiligen Kalenderjahr an der LÜB-Messstation München / Landshuter Allee.

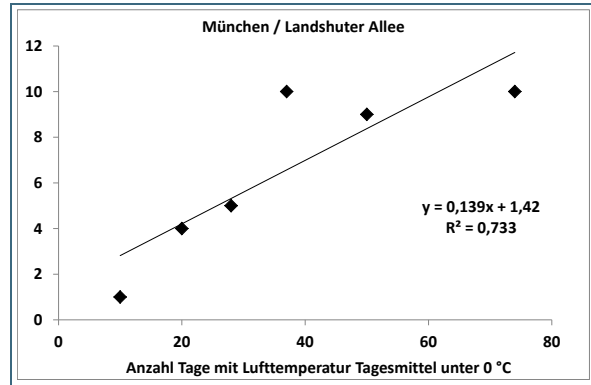


Abb. 85: Anzahl der Tage mit dem Mittelwert der Lufttemperatur in München unter 0° und Anzahl der durch Streusalz verursachten PM<sub>10</sub>-Überschreitungstage im jeweiligen Kalenderjahr an der LÜB-Messstation München / Landshuter Allee.

In Abb. 86 ist für die LÜB-Messstation Augsburg/Karlstraße die Anzahl der durch Streusalz verursachten PM<sub>10</sub>-Überschreitungstage gegen die mittlere Lufttemperatur im Tagesminimum in Augsburg im jeweiligen Kalenderjahr aufgetragen. Abb. 87 zeigt die Anzahl der durch Streusalz verursachten PM<sub>10</sub>-Überschreitungstage an der Messstation Augsburg/Karlstraße in Abhängigkeit der Anzahl von Tagen mit einer Lufttemperatur im Tagesmittel unter 0°C in Augsburg (Jan.-März und Nov.-Dez) für das jeweilige Kalenderjahr.

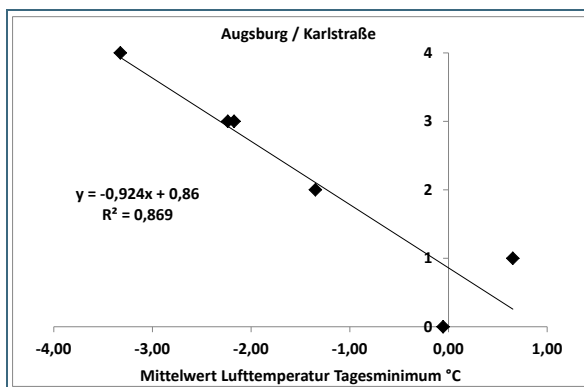


Abb. 86: Mittlere Lufttemperatur Tagesminimum in Augsburg und Anzahl der durch Streusalz verursachten PM<sub>10</sub>-Überschreitungstage im jeweiligen Kalenderjahr an der LÜB-Messstation Augsburg / Karlstraße.

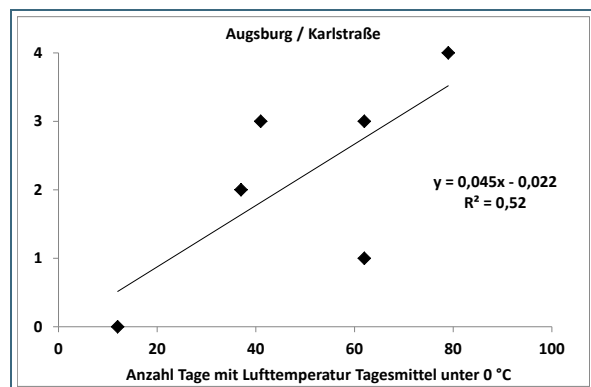


Abb. 87: Anzahl der Tage mit dem Mittelwert der Lufttemperatur in Augsburg unter 0° und Anzahl der durch Streusalz verursachten PM<sub>10</sub>-Überschreitungstage im jeweiligen Kalenderjahr an der LÜB-Messstation Augsburg / Karlstraße.

An den LÜB-Messstationen München/Landshuter Allee und Augsburg/Karlstraße gibt es einen deutlichen Zusammenhang zwischen niedrigen Durchschnittstemperaturen während der Wintermonate und dem Auftreten von durch Streusalz verursachten Überschreitungen des PM<sub>10</sub>-Grenzwertes. Auch dies ist wegen der in kalten Jahren häufigeren Ausbringung von Streusalz im Winterdienst plausibel. Exemplarisch sind in Tab. 25 die Streueinsätze des Winterdienstes am Abschnitt der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee für das 1. Quartal (Januar-März) der letzten drei Jahre (2013-2015) zusammengefasst. Zusätzlich sind Informationen zum Einfluss von Streusalz auf PM<sub>10</sub> und zur Lufttemperatur in Tab. 25 dargestellt.

Tab. 25: Streueinsätze am Abschnitt der LÜB- Messstation München/Landshuter Allee für das 1. Quartal (Januar-März) der Jahre 2013-2015.

	2013	2014	2015
Anzahl Streueinsätze Frühschicht (4-12 Uhr)	65	26	50
Anzahl Streueinsätze Spätschicht (12-22 Uhr)	58	17	35
Prozentualer Anteil der Tage mit Streueinsatz von Januar bis März	79 %	34 %	58 %
Anzahl Tage mit Einfluss von Streusalz auf PM <sub>10</sub> (NaCl > 1 µg/m <sup>3</sup> )	97	49	68
Anzahl Tage mit Tagesmittel-Lufttemperatur unter 0 °C	50	10	20

Zwischen der Anzahl von Streueinsätzen des Winterdienstes im 1. Quartal des jeweiligen Kalenderjahres und der Anzahl von Tagen mit Einfluss auf die PM<sub>10</sub>-Konzentration (NaCl > 1 µg/m<sup>3</sup>) sowie zur Umgebungstemperatur besteht ebenfalls ein signifikanter Zusammenhang. Je häufiger der Winterdienst Streueinsätze bei geringen Lufttemperaturen durchgeführt hat, desto mehr Tage mit einem NaCl-Einfluss auf die PM<sub>10</sub>-Konzentration sind zu beobachten.

Allein auf Basis der Streueinsätze ist jedoch kein quantitativer Rückschluss auf den NaCl-Gehalt im Feinstaub möglich, da die NaCl-Konzentration im Feinstaub eine große Bandbreite zeigt. Beispielsweise wurden Tage beobachtet, an denen jeweils zweimal täglich der Winterdienst im Einsatz war, die NaCl-Konzentrationen im PM<sub>10</sub> aber derartig unterschiedlich waren, dass kein kausaler Zusammenhang herstellbar war. Der Anteil des ausgebrachten Streusalzes im Feinstaub ist stark von den lokalen meteorologischen Bedingungen abhängig. Die Aufwirbelung von Partikeln auf einer feuchten Fahrbahnoberfläche ist stark verringert. Da das ausgebrachte Streusalz mit Sole vermischt wird und damit feucht auf die Fahrbahn aufgebracht wird, muss für eine Staubeentwicklung erst eine Trocknung eintreten. Nach Abtrocknung der Fahrbahn können die Partikel durch Aufwirbelung der vorbeifahrenden Fahrzeuge oder durch Windeinfluss in die Umgebungsluft eingebracht und durch den Staubsammler erfasst werden. Bei nassen oder feuchten Bedingungen ist somit auch bei Streueinsätzen des Winterdienstes nicht sofort mit einem Anstieg der NaCl-Konzentration zu rechnen. Qualitative Beobachtungen an der Landshuter Allee (Nord-Süd-Ausrichtung) haben gezeigt, dass an sonnigen Wintertagen die Fahrbahnoberfläche häufig in den späten Vormittagsstunden abtrocknet, sobald die tiefer stehende Sonne die nord-süd-verlaufende Fahrbahnoberfläche erreicht. Mit zunehmender Abtrocknung wird die Aufwirbelung von Staub und Streusalz ermöglicht. Dabei wurden teils extreme Anstiege der Feinstaubbelastung beobachtet. In Abb. 88 ist der Verlauf der PM<sub>10</sub>-Belastung an vier Münchner LÜB-Messstationen für mehrere Tage im Januar 2008 auf Halbstundenmittelwertbasis dargestellt. Die PM<sub>10</sub>-Konzentration nimmt nicht parallel zur Verkehrsbelastung zu (üblicherweise starker Anstieg ab ca. 6:00 Uhr im Berufsverkehr), sondern erst in den späteren Vormittagsstunden und erreicht um die Mittagszeit z. T. extrem hohe Werte über 300 µg/m<sup>3</sup>. Es herrschte kalte, aber sonnige Witterung, so dass die Fahrbahn im Lauf des Vormittags abtrocknen konnte.

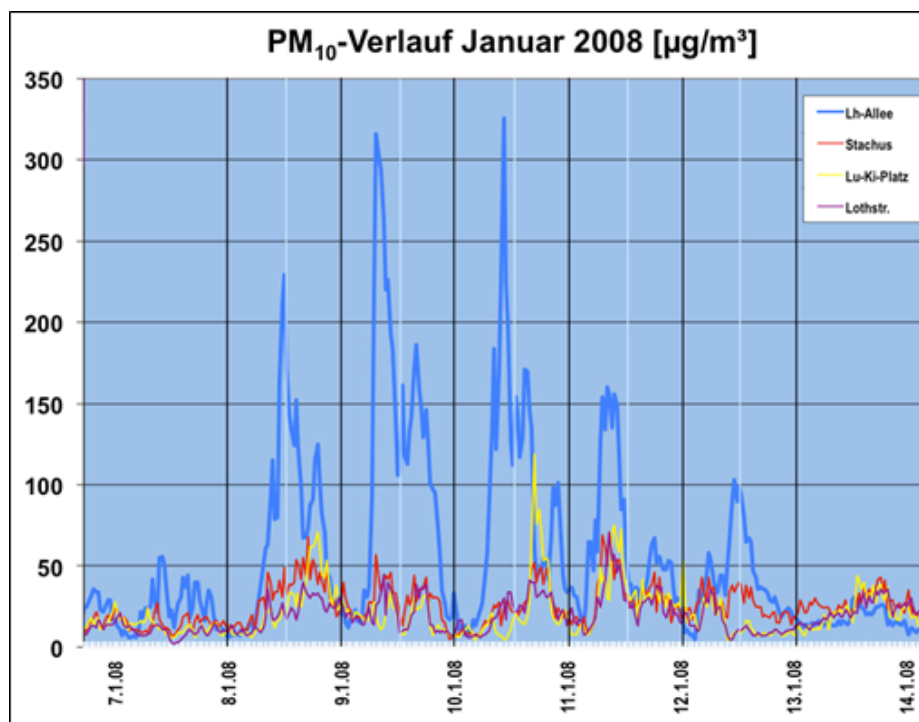


Abb. 88:  
PM<sub>10</sub>-Verlauf an vier  
Münchner LÜB-Mess-  
stationen vom 07.01. -  
14.01.2008 (Halbstun-  
denmittelwerte);  
12:00 Uhr der Tage  
08. - 12.01.2008  
(Di - Sa) ist durch eine  
hellblaue Linie gekenn-  
zeichnet.

## 7 Ausblick

Der Ermittlung des Streusalz-Anteiles im Feinstaub kommt auch in Zukunft eine hohe Bedeutung zu. Es kann nicht als selbstverständlich vorausgesetzt werden, dass ausschließlich milde Winter ohne anhaltende Inversionswetterlage mit einer geringen Anzahl an Tagesmittelüberschreitungen auftreten werden. Somit wird es weiterhin erforderlich sein, die durch den Einsatz von Streusalz aufgetretenen Feinstaub-Überschreitungen identifizieren zu können. Die Beprobung von Staubfiltern auf Tagesbasis ist hierfür kontinuierlich über das Winterhalbjahr notwendig (nach bisherigen Erkenntnissen ist der Zeitraum November bis einschließlich März ausreichend). Die Analytik der Staubfilter auf Inhaltsstoffe ist jedoch nur dann notwendig, wenn für den entsprechenden Tag eine Überschreitung des Tagesmittelgrenzwertes festgestellt wurde. Dadurch kann der Aufwand für die Staubinhaltsstoffanalytik deutlich reduziert werden. Der messtechnische Aufwand für die gravimetrischen Untersuchungen bleibt jedoch bestehen.

Im Vorangegangenen wurde aufgezeigt, dass die Wettercharakteristik des Winterhalbjahres einen ganz wesentlichen Einfluss auf die Anzahl der Überschreitungen des Feinstaub-Tagesmittelgrenzwertes hat. Zum einen wird mehr Streusalz auf die Fahrbahnen aufgebracht, wenn die Temperaturen unter dem Gefrierpunkt liegen. Doch auch die Ausbreitungssituation für Luftschadstoffe ist in der Regel bei kalter, windarmer Witterung wesentlich ungünstiger als zum Beispiel bei Westwetterlagen mit Regen, Schnee und Wind. Hinzu kommt, dass Partikel nur bei trockener Fahrbahnoberfläche in relevantem Ausmaß von der Fahrbahn aufgewirbelt werden können. Darauf beruht auch der in zahlreichen Projekten getestete Einsatz von Calcium-Magnesium-Acetat als Streumittel. Durch seine hygroskopische Eigenschaft kann dieses Streumittel die Fahrbahnoberfläche deutlich länger feucht halten als zum Beispiel Natriumchlorid (Steinsalz) [31], [32], [33].

Derzeit wird in der Abteilung 2 des LfU das „Webcam-Projekt“ durchgeführt. Im Rahmen dieses Projekts werden mehrere Messstationen mit Videokameras ausgestattet, die Aufnahmen an das LfU übermitteln. Das Projekt hat das Ziel, auffällige sowie ungewöhnlich hohe Messwerte mit Fotos von der Umgebung der Messstation zu begleiten und im Idealfall die Ursache des ungewöhnlichen Messwertverlaufs anhand der Fotos zu identifizieren (z. B. Stau, Baustelle usw.). Die Fotos lassen auch Rückschlüsse auf die Fahrbahnoberfläche (nass oder trocken) zu. In den letzten Jahren wurden zudem Sensoren entwickelt, die den aktuellen Zustand der Fahrbahnoberfläche überwachen können. Hierbei kann nicht nur die Temperatur, sondern auch die Feuchtigkeit, der Wasserfilm, Salzanteil und Eis/Schnee auf der Fahrbahnoberfläche bestimmt und aktuell an eine Datenzentrale übermittelt werden. Im Projekt ist geplant, an der Landshuter Allee derartige Sensoren für die Fahrbahnoberfläche einzusetzen, um den Feuchtegrad der Fahrbahn genauer als über Fotos bestimmen zu können. Damit könnte die Korrelation zwischen Fahrbahnfeuchtigkeit und Intensität der Staubaufwirbelung wesentlich besser bestimmt werden. Zudem bestünde die Möglichkeit, dass der Winterdienst der Stadt München aktuelle Temperaturdaten der Sensoren erhält, um die Fahrten der Streufahrzeuge zu optimieren.



## 8 Literatur

- [1] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2009: Emissionskataster 2004
- [2] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, Berichte und Ereignisse 2008, Schwerpunkt Feinstaub, S. 12-21
- [3] Az. 24-8720-42757/2007: Auswertung der Feinstaubmessungen des Jahres 2006 an den LÜB-Messstationen München Landshuter Allee, Augsburg Königsplatz, Nürnberg Bahnhof und Andechs Rothenfeld nach Inhaltsstoffen
- [4] Verifikation von PM<sub>10</sub>-Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs, Endbericht Forschungsprojekt ASTRA 2000/415; PAUL-SCHERRER-INSTITUT UND EMPA, 2003
- [5] Berechnung der KfZ-bedingten Feinstaubemissionen infolge Aufwirbelung und Abrieb für das Emissionskataster Sachsen (Zusammenfassung); Ingenieurbüro LOHMEYER im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, 2004
- [6] RASCH et al., Signifikante Minderung von Ruß und der Anzahl ultrafeiner Partikel in der Außenluft als Folge der Umweltzone in Leipzig; Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft, 73 (2013), Nr. 11/12, S.483-489
- [7] RICHTLINIE 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21.Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa, Amtsblatt L 152 vom 11.06.2008
- [8] 39. BImSchV vom 02. August 2010, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2010 Teil 1 Nr. 40
- [9] CEN/TR 16269 (Deutsche Fassung), Außenluft – Leitfaden zur Messung von Anionen und Kationen in PM<sub>2,5</sub>
- [10] DIN EN 14902, Außenluftbeschaffenheit- Standardisiertes Verfahren zur Bestimmung von Pb/Cd/As/Ni als Bestandteil der PM<sub>10</sub>-Fraktion des Schwebstaubes; Deutsche Fassung EN 14902:2005
- [11] 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, Ti, 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); Ausgabedatum: 2012-10
- [12] EU-LEITFADEN "SEC(2011) 207 final: Establishing guidelines for determination of contributions from the re-suspension of particulates following winter sanding or salting of roads under the Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe", vom 15.02.2011
- [13] Detlev Möller, Luft, S. 378 ff., Walter de Gruyter, Berlin, New York 2003
- [14] SPENCER et al. Simultaneous Measurement of the Effective Density and Chemical Composition of Ambient Aerosol Particles. Environmental Science and Technology, 41 (4), 1303-1309, 2007.
- [15] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT. Untersuchung der räumlichen Verteilung der NOX-Belastung im Umfeld von vorhandenen, hochbelasteten Luftmessstationen. Publikationsshop der Bayerischen Staatsregierung: [http://www.bestellen.bayern.de/shoplink/ifu\\_luft\\_00192.htm](http://www.bestellen.bayern.de/shoplink/ifu_luft_00192.htm), 2015.
- [16] RÖÖSLI et al. Temporal and spatial variation of the chemical composition of PM10 at urban and rural sites in the Basel area, Switzerland. Atmospheric Environment, 35, 3701-3713, 2001.

- [17] KRUDYSZ et al. Intra-community spatial variation of size-fractionated PM mass, OC, EC, and trace elements in the Long Beach, CA area. *Atmospheric Environment*, 42, 5374-5389, 2008.
- [18] DIETRICH, W. UND RICHTER, E., Erhöhung der Griffigkeit durch verbesserte Abspaltung mit dem integrierten Splittstreuer, *Bitumen*, 66 (2004), Nr. 3, S. 104-108
- [19] Bau von Straßen mit anforderungsgerechter Griffigkeit, DIPL.-ING. MATTHIAS SCHELLENBERGER; Seminar der Südhessische Asphaltmischwerke, Kloster Eberbach, 25. Februar 2003
- [20] Ausbruch des Eyjafjallajökull im April 2010, Auswirkungen auf die Feinstaubkonzentrationen in Baden-Württemberg, Bericht 33-11/2010, LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (LUBW), Juli 2010
- [21] PITZ et al. Particle size distribution factor as an indicator for the impact of the Eyjafjallajökull ash plume at ground level in Augsburg, Germany. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11, 9367-9374, 2011.
- [22] UNIVERSITY OF ICELAND, Institute of Earth Sciences, ERUPTION in Eyjafjallajökull, Chemical composition (<http://www.evropusamvinna.is/page/IES-EY-CEMCOM>)
- [23] Vulkanstaub in NRW, D. GLADTKE, H. HEBBINGHAUS, W. STRAUB, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) NRW
- [24] SCHÄFER et al., Influences of the 2010 Eyjafjallajökull volcanic plume on air quality in the northern Alpine region; *Atmos. Chem. Phys.*, 11, (2011), S. 8555–8575,
- [25] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, Berichte und Ereignisse 2009/2010, Vulkan Eyjafjallajökull - Auswirkungen auf Bayern, S. 58
- [26] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, Bericht zur Quantifizierung des Beitrags von Streusalz zur Feinstaubbelastung (PM<sub>10</sub>) in Bayern für das Kalenderjahr 2013, S. 2
- [27] DIEMER, J. UND OTT, H., Auswirkung des Winterdienstes auf die PM-Konzentration an Straßen, Vortrag beim 46. Messtechnischem Kolloquium (MTK), 30.05.2011
- [28] SCHLACHTA, R.; DIEMER, J.; SCHMID, M.; OTT, H.: Überschreitungen des Feinstaub-PM<sub>10</sub>-Grenzwertes aufgrund der Ausbringung von Streusalz auf Straßen, *Immissionsschutz*, 3/2013, S. 96-102
- [29] Pressemitteilung der LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG vom 10.02.2016 (<http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/257594/>), abgerufen am 03.03.2016
- [30] DEUTSCHER WETTERDIENST, Datenbank WESTE\_XL ([https://kunden.dwd.de/weste/xl\\_login.jsp](https://kunden.dwd.de/weste/xl_login.jsp)), abgerufen im Februar 2016
- [31] INSTITUT FÜR VERBRENNUNGSKRAFTMASCHINEN UND THERMODYNAMIK DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT GRAZ: Ausbringung von CM Austrosafe® als Maßnahme zur Reduktion der Wiederaufwirbelung von Straßenstaub in Klagenfurt, Bericht Nr. I-27/2007 VU06/06/I-619 vom 20.11.2007
- [32] LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT: versuchsweise Einsatz von Calcium-Magnesium-Acetat zur Reduzierung von Feinstaub in Halle (Saale), Sonderheft 1/2009
- [33] URS CORPORATION LTD., im Auftrag von Transport for London: Targeted Application of Calcium Magnesium Acetate (CMA) Pilot Study Monitoring Report, Projekt-Nr. 49306764, Juli 2011





# **Anlage 1**

## **Dokumentation der Messstandorte des Lufthygienischen Landesüber- wachungssystem Bayern (LÜB)**

**zum**

**Abschlussbericht**

**Feinstaubinhaltsstoffe: Quantifizierung der Anteile  
von Streusalz und Straßensplitt im PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Andechs, Rothenfeld</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Ansbach, Residenzstraße</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Augsburg, Karlstraße</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Augsburg, Königsplatz</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Augsburg, LfU</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>Burghausen, Marktler Straße</b>	<b>13</b>
<b>7</b>	<b>Kelheim, Regensburger Straße</b>	<b>15</b>
<b>8</b>	<b>Kulmbach, Konrad-Adenauer-Straße</b>	<b>17</b>
<b>9</b>	<b>Landshut, Podewilsstraße</b>	<b>19</b>
<b>10</b>	<b>Lindau, Holdereggenstraße</b>	<b>21</b>
<b>11</b>	<b>München, Landshuter Allee</b>	<b>23</b>
<b>12</b>	<b>München, Stachus</b>	<b>25</b>
<b>13</b>	<b>Nürnberg, Von-der-Tann-Straße</b>	<b>27</b>
<b>14</b>	<b>Oberaudorf, Inntal-Autobahn</b>	<b>29</b>
<b>15</b>	<b>Passau, Stelzhamerstraße</b>	<b>31</b>
<b>16</b>	<b>Regensburg, Rathaus</b>	<b>33</b>
<b>17</b>	<b>Tiefenbach, Altenschneeberg</b>	<b>35</b>
<b>18</b>	<b>Würzburg, Kardinal-Faulhaber-Platz</b>	<b>37</b>
<b>19</b>	<b>Würzburg, Stadtring Süd</b>	<b>39</b>

# 1 Andechs, Rothenfeld

## 1.1 Standort

Tab. 1: Information zum Standort

Bundesland / Regierungsbezirk:	Bayern / Oberbayern
Stationsname:	Andechs Rothenfeld
Straße(n):	Rothenfeld - JVA
PLZ Ort:	82346 Andechs, Gde.teil Rothenfeld
Gauß-Krüger Rechtswert / Hochwert *:	4441878 / 5314805
Geografische Länge / Breite:	11° 13' 12,6" / 47° 58' 7,5"
Geografische Länge / Breite (dezimal):	11,220172 / 47,968753
Stationsumgebung (gemäß Eol **):	ländlich regional
Art der Station (gemäß Eol **):	Hintergrund
Höhe über Normalnull:	700 m
EU-Code / Lokaler Code:	DEBY109 / L 1.16
Messbeginn:	17. April 2003

\* Abbildung im 4. Streifen (Mittelmeridian 12 Grad)

\*\* Eol: Exchange of Information (Richtlinie 2001/752/EC)

## 1.2 Luftschadstoffe

- Ozon (O<sub>3</sub>)
- Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)
- Einzelkohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Xylol (BTX)
- Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>, Partikeldurchmesser <2,5 µm)
- Feinstaub (PM<sub>10</sub>, Partikeldurchmesser <10 µm)
- Inhaltsstoffe (Benzo(a)pyren) in PM<sub>10</sub>
- Inhaltsstoffe (Blei, Cadmium, Arsen, Nickel) in PM<sub>10</sub>

## 1.3 Meteorologie

- Luftdruck
- Windrichtung und
- Windgeschwindigkeit
- Lufttemperatur und
- Relative Luftfeuchtigkeit
- Globalstrahlung

## 1.4 Abbildungen



Abb. 1:  
Stationsansicht  
Blickrichtung Nord

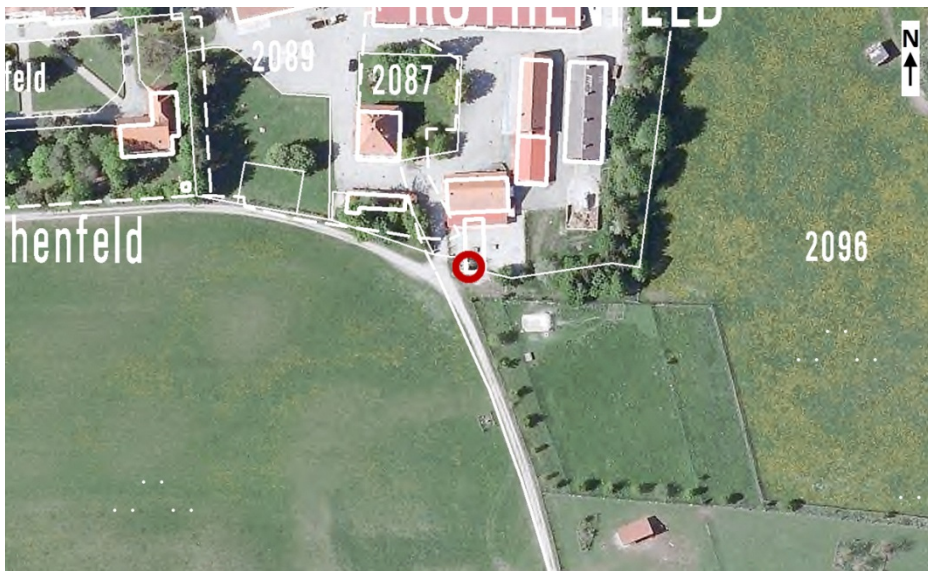


Abb. 2:  
Flurkarte  
Maßstab 1:800  
● LÜB-Messtandort

## 2 Ansbach, Residenzstraße

### 2.1 Standort

Tab. 2: Informationen zum Standort

Bundesland / Regierungsbezirk:	Bayern / Mittelfranken
Stationsname:	Ansbach Residenzstraße
Straße(n):	Residenzstraße, Brauhausstraße
PLZ Ort:	91522 Ansbach
Gauß-Krüger Rechtswert / Hochwert *:	4396280 / 5464073
Geografische Länge / Breite:	10° 34' 20,3" / 49° 18' 17,6"
Geografische Länge / Breite (dezimal):	10,572297 / 49,304889
Stationsumgebung (gemäß Eol **):	städtisches Gebiet
Art der Station (gemäß Eol **):	Verkehr
Höhe über Normalnull:	400 m
EU-Code / Lokaler Code:	DEBY001 / L 5.12
Messbeginn:	01. Juli 1989

\* Abbildung im 4. Streifen (Mittelmeridian 12 Grad)

\*\* Eol: Exchange of Information (Richtlinie 2001/752/EC)

### 2.2 Luftschadstoffe

- Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)
- Kohlenmonoxid (CO)
- Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)
- Einzelkohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Xylole (BTX)
- Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>, Partikeldurchmesser <2,5 µm)
- Feinstaub (PM<sub>10</sub>, Partikeldurchmesser <10 µm)
- Inhaltsstoffe (Benzo(a)pyren) in PM<sub>10</sub>

### 2.3 Meteorologie

- Lufttemperatur und
- Relative Luftfeuchtigkeit



## 2.4 Abbildungen



Abb. 3:  
Stationsansicht  
Blickrichtung Nord

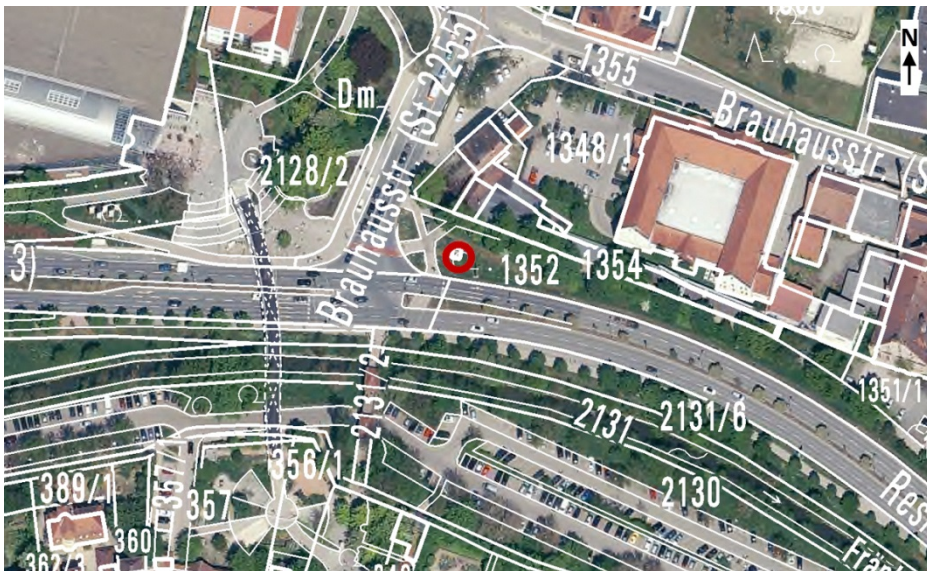


Abb. 4:  
Flurkarte  
Maßstab 1:800  
● LÜB-Messtandort

## 3 Augsburg, Karlstraße

### 3.1 Standort

Tab. 3: Informationen zum Standort

Bundesland / Regierungsbezirk:	Bayern / Schwaben
Stationsname:	Augsburg Karlstraße
Straße(n):	Karlstraße
PLZ Ort:	86150 Augsburg
Gauß-Krüger Rechtswert / Hochwert *:	4418329 / 5359742
Geografische Länge / Breite:	10° 53' 46,4" / 48° 22' 12,9"
Geografische Länge / Breite (dezimal):	10,896221 / 48,370237
Stationsumgebung (gemäß Eol **):	städtisches Gebiet
Art der Station (gemäß Eol **):	Verkehr
Höhe über Normalnull:	485 m
EU-Code / Lokaler Code:	DEBY110 / L 14.1
Messbeginn:	01. August 2003

\* Abbildung im 4. Streifen (Mittelmeridian 12 Grad)

\*\* Eol: Exchange of Information (Richtlinie 2001/752/EC)

### 3.2 Luftschadstoffe

- Kohlenmonoxid (CO)
- Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)
- Einzelkohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Xylol (BTX)
- Feinstaub (PM<sub>10</sub>, Partikeldurchmesser <10 µm)

### 3.3 Meteorologie

An diesem Standort werden keine meteorologischen Parameter erfasst.

### 3.4 Abbildungen



Abb. 5:  
Stationsansicht  
Blickrichtung Nord-  
West



Abb. 6:  
Flurkarte  
Maßstab 1:800  
● LÜB-Messtandort

## 4 Augsburg, Königsplatz

### 4.1 Standort

Tab. 4: Informationen zum Standort

Bundesland / Regierungsbezirk:	Bayern / Schwaben
Stationsname:	Augsburg Königsplatz
Straße(n):	Königsplatz
PLZ Ort:	86150 Augsburg
Gauß-Krüger Rechtswert / Hochwert *:	4418232 / 5359115
Geografische Länge / Breite:	10° 53' 42,1" / 48° 21' 52,5"
Geografische Länge / Breite (dezimal):	10,895029 / 48,364589
Stationsumgebung (gemäß Eol **):	städtisches Gebiet
Art der Station (gemäß Eol **):	Verkehr
Höhe über Normalnull:	492 m
EU-Code / Lokaler Code:	DEBY006 / L 7.1
Messbeginn:	01. Januar 1975

\* Abbildung im 4. Streifen (Mittelmeridian 12 Grad)

\*\* Eol: Exchange of Information (Richtlinie 2001/752/EC)

### 4.2 Luftschadstoffe

- Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)
- Kohlenmonoxid (CO)
- Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)
- Einzelkohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Xylole (BTX)
- Feinstaub (PM<sub>10</sub>, Partikeldurchmesser <10 µm)
- Inhaltsstoffe (Benzo(a)pyren) in PM<sub>10</sub>
- Inhaltsstoffe (Blei, Cadmium, Arsen, Nickel) in PM<sub>10</sub>

### 4.3 Meteorologie

- Lufttemperatur und
- Relative Luftfeuchtigkeit

#### 4.4 Abbildungen



Abb. 7:  
Stationsansicht  
Blickrichtung Nord-Ost

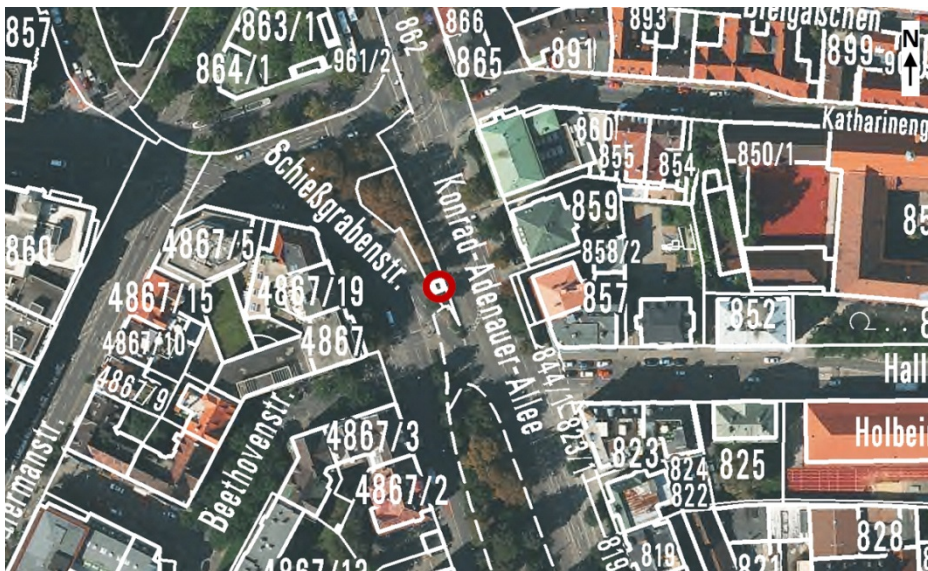


Abb. 8:  
Flurkarte  
Maßstab 1:800  
● LÜB-Messtandort

## 5 Augsburg, LfU

### 5.1 Standort

Tab. 5: Informationen zum Standort

Bundesland / Regierungsbezirk:	Bayern / Schwaben
Stationsname:	Augsburg LfU
Straße(n):	Bürgermeister-Ulrich-Straße
PLZ Ort:	86179 Augsburg
Gauß-Krüger Rechtswert / Hochwert *:	4418765 / 5354817
Geografische Länge / Breite:	10° 54' 11" / 48° 19' 33,6"
Geografische Länge / Breite (dezimal):	10,903051 / 48,326013
Stationsumgebung (gemäß Eol **):	vorstädtisches Gebiet
Art der Station (gemäß Eol **):	Hintergrund
Höhe über Normalnull:	495 m
EU-Code / Lokaler Code:	DEBY099 / L 7.8
Messbeginn:	27. Juli 2000

\* Abbildung im 4. Streifen (Mittelmeridian 12 Grad)

\*\* Eol: Exchange of Information (Richtlinie 2001/752/EC)

### 5.2 Luftschadstoffe

- Ozon (O<sub>3</sub>)
- Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)
- Kohlenmonoxid (CO)
- Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)
- Einzelkohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Xylol (BTX)
- Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>, Partikeldurchmesser <2,5 µm)
- Feinstaub (PM<sub>10</sub>, Partikeldurchmesser <10 µm)
- Inhaltsstoffe (Benzo(a)pyren) in PM<sub>10</sub>
- Inhaltsstoffe (Blei, Cadmium, Arsen, Nickel) in PM<sub>10</sub>

### 5.3 Meteorologie

- Luftdruck
- Windrichtung und
- Windgeschwindigkeit
- Lufttemperatur und
- Relative Luftfeuchtigkeit
- Globalstrahlung

## 5.4 Abbildungen



Abb. 9:  
Stationsansicht  
Blickrichtung Süd



Abb. 10:  
Flurkarte  
Maßstab 1:800  
● LÜB-Messstandort

## 6 Burghausen, Marktler Straße

### 6.1 Standort

Tab. 6: Informationen zum Standort

Bundesland / Regierungsbezirk:	Bayern / Oberbayern
Stationsname:	Burghausen Marktler Straße
Straße(n):	Klausenstraße
PLZ Ort:	84489 Burghausen
Gauß-Krüger Rechtswert / Hochwert *:	4561783 / 5338019
Geografische Länge / Breite:	12° 49' 45,5" / 48° 10' 37,8"
Geografische Länge / Breite (dezimal):	12,829314 / 48,177175
Stationsumgebung (gemäß Eol **):	vorstädtisches Gebiet
Art der Station (gemäß Eol **):	Hintergrund
Höhe über Normalnull:	420 m
EU-Code / Lokaler Code:	DEBY012 / L 1.2
Messbeginn:	01. Januar 1976

\* Abbildung im 4. Streifen (Mittelmeridian 12 Grad)

\*\* Eol: Exchange of Information (Richtlinie 2001/752/EC)

### 6.2 Luftschadstoffe

- Kohlenmonoxid (CO)
- Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)
- Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>, Partikeldurchmesser <2,5 µm)
- Feinstaub (PM<sub>10</sub>, Partikeldurchmesser <10 µm)

### 6.3 Meteorologie

- Lufttemperatur und
- Relative Luftfeuchtigkeit



## 6.4 Abbildungen



Abb. 11:  
Stationsansicht  
Blickrichtung Nord-Ost

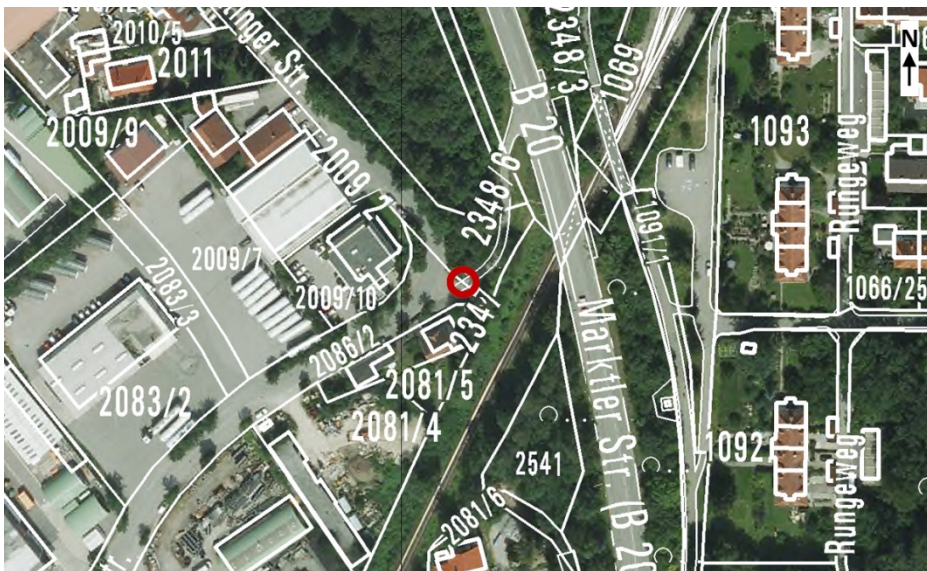


Abb. 12:  
Flurkarte  
Maßstab 1:800  
● LÜB-Messtandort

## 7 Kelheim, Regensburger Straße

### 7.1 Standort

Tab. 7: Informationen zum Standort

Bundesland / Regierungsbezirk:	Bayern / Niederbayern
Stationsname:	Kelheim Regensburger Straße
Straße(n):	Regensburger Straße
PLZ Ort:	93309 Kelheim
Gauß-Krüger Rechtswert / Hochwert *:	4491255 / 5419130
Geografische Länge / Breite:	11° 52' 45,3" / 48° 54' 34,3"
Geografische Länge / Breite (dezimal):	11,879245 / 48,909518
Stationsumgebung (gemäß Eol **):	städtisches Gebiet
Art der Station (gemäß Eol **):	Verkehr
Höhe über Normalnull:	348 m
EU-Code / Lokaler Code:	DEBY028 / L 2.1
Messbeginn:	01. Januar 1975

\* Abbildung im 4. Streifen (Mittelmeridian 12 Grad)

\*\* Eol: Exchange of Information (Richtlinie 2001/752/EC)

### 7.2 Luftschadstoffe

- Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)
- Kohlenmonoxid (CO)
- Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S)
- Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)
- Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>, Partikeldurchmesser <2,5 µm)
- Feinstaub (PM<sub>10</sub>, Partikeldurchmesser <10 µm)

### 7.3 Meteorologie

- Luftdruck
- Windrichtung und
- Windgeschwindigkeit
- Lufttemperatur und
- Relative Luftfeuchtigkeit
- Globalstrahlung

## 7.4 Abbildungen



Abb. 13:  
Stationsansicht  
Blickrichtung Nord-  
West

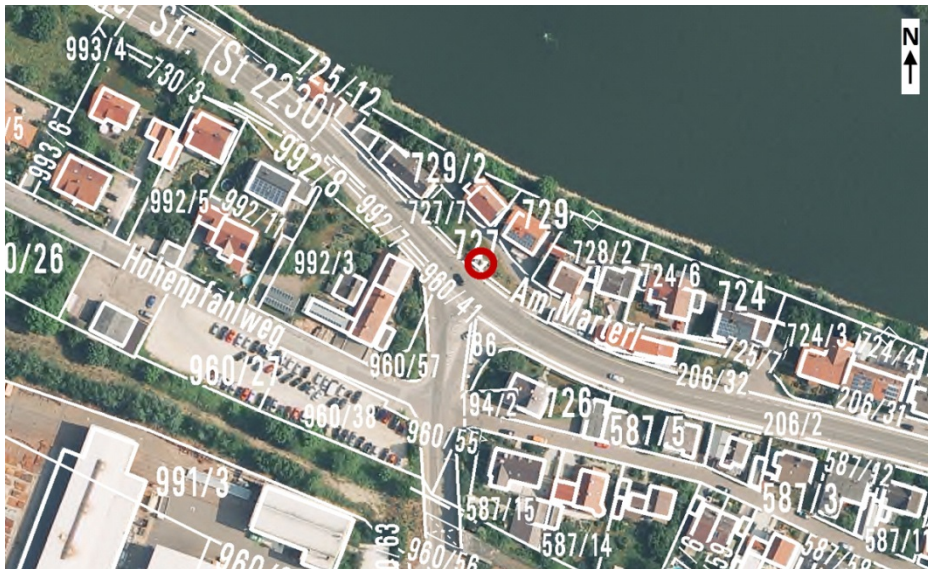


Abb. 14:  
Flurkarte  
Maßstab 1:800  
● LÜB-Messtandort

## 8 Kulmbach, Konrad-Adenauer-Straße

### 8.1 Standort

Tab. 8: Informationen zum Standort

Bundesland / Regierungsbezirk:	Bayern / Oberfranken
Stationsname:	Kulmbach Konrad-Adenauer-Straße
Straße(n):	Konrad-Adenauer-Straße
PLZ Ort:	95326 Kulmbach
Gauß-Krüger Rechtswert / Hochwert *:	4460228 / 5552026
Geografische Länge / Breite:	11° 26' 33,3" / 50° 6' 11,3"
Geografische Länge / Breite (dezimal):	11,442591 / 50,103135
Stationsumgebung (gemäß Eol **):	städtisches Gebiet
Art der Station (gemäß Eol **):	Hintergrund
Höhe über Normalnull:	303 m
EU-Code / Lokaler Code:	DEBY032 / L 4.8
Messbeginn:	01. Oktober 1988

\* Abbildung im 4. Streifen (Mittelmeridian 12 Grad)

\*\* Eol: Exchange of Information (Richtlinie 2001/752/EC)

### 8.2 Luftschadstoffe

- Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)
- Feinstaub (PM<sub>10</sub>, Partikeldurchmesser <10 µm)
- Inhaltsstoffe (Benzo(a)pyren) in PM<sub>10</sub>

### 8.3 Meteorologie

- Luftdruck
- Windrichtung und
- Windgeschwindigkeit
- Lufttemperatur und
- Relative Luftfeuchtigkeit
- Globalstrahlung

## 8.4 Abbildungen



Abb. 15:  
Stationsansicht  
Blickrichtung Süd

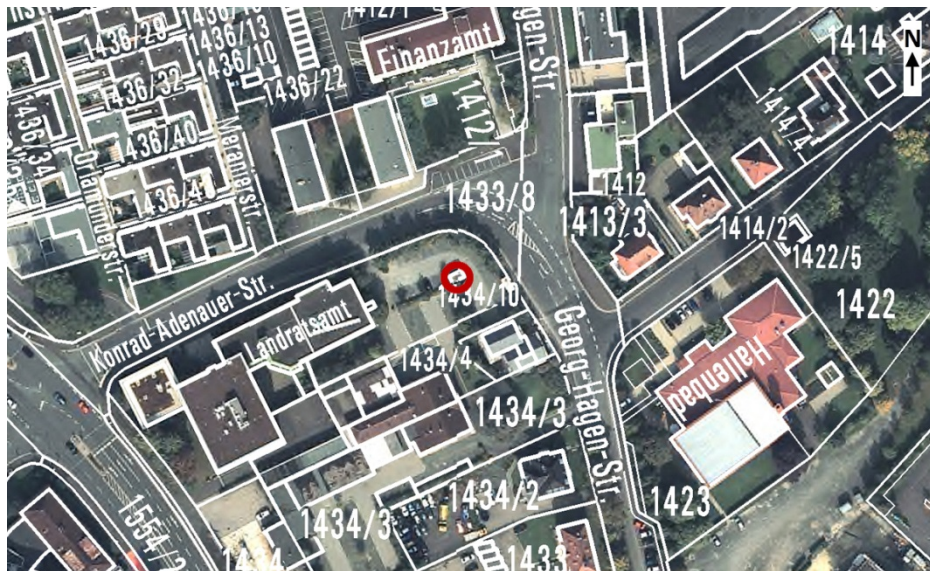


Abb. 16:  
Flurkarte  
Maßstab 1:800  
● LÜB-Messtandort

## 9 Landshut, Podewilsstraße

### 9.1 Standort

Tab. 9: Informationen zum Standort

Bundesland / Regierungsbezirk:	Bayern / Niederbayern
Stationsname:	Landshut Podewilsstraße
Straße(n):	Podewilsstraße
PLZ Ort:	84028 Landshut
Gauß-Krüger Rechtswert / Hochwert *:	4511705 / 5378021
Geografische Länge / Breite:	12° 9' 25,4" / 48° 32' 23,3"
Geografische Länge / Breite (dezimal):	12,157051 / 48,539801
Stationsumgebung (gemäß Eol **):	städtisches Gebiet
Art der Station (gemäß Eol **):	Verkehr
Höhe über Normalnull:	390 m
EU-Code / Lokaler Code:	DEBY033 / L 2.3
Messbeginn:	01. Dezember 1985

\* Abbildung im 4. Streifen (Mittelmeridian 12 Grad)

\*\* Eol: Exchange of Information (Richtlinie 2001/752/EC)

### 9.2 Luftschadstoffe

- Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)
- Einzelkohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Xylole (BTX)
- Feinstaub (PM<sub>10</sub>, Partikeldurchmesser <10 µm)
- Inhaltsstoffe (Benzo(a)pyren) in PM<sub>10</sub>

### 9.3 Meteorologie

- Luftdruck
- Windrichtung und
- Windgeschwindigkeit
- Lufttemperatur und
- Relative Luftfeuchtigkeit

## 9.4 Abbildungen



Abb. 17:  
Stationsansicht  
Blickrichtung Ost



Abb. 18:  
Flurkarte  
Maßstab 1:800  
● LÜB-Messtandort

## 10 Lindau, Holderegggenstraße

Die Messstation wurde am 12.12.2013 in die Friedrichshafener Straße verlegt.

### 10.1 Standort

Tab. 10: Informationen zum Standort

Bundesland / Regierungsbezirk:	Bayern / Schwaben
Stationsname:	Lindau (Bodensee) Holderegggenstraße
Straße(n):	Holderegggenstraße
PLZ Ort:	88131 Lindau (Bodensee)
Gauß-Krüger Rechtswert / Hochwert *	4326250 / 5271026
Geografische Länge / Breite:	9° 41' 24,1" / 47° 33' 15,8"
Geografische Länge / Breite (dezimal):	9,690021 / 47,554391
Stationsumgebung (gemäß Eol **):	städtisches Gebiet
Art der Station (gemäß Eol **):	Verkehr
Höhe über Normalnull:	403 m
EU-Code / Lokaler Code:	DEBY035 / L 7.4
Messbeginn:	01. Januar 1978

\* Abbildung im 4. Streifen (Mittelmeridian 12 Grad)

\*\* Eol: Exchange of Information (Richtlinie 2001/752/EC)

### 10.2 Luftschadstoffe

- Kohlenmonoxid (CO)
- Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)
- Feinstaub (PM<sub>10</sub>, Partikeldurchmesser <10 µm)

### 10.3 Meteorologie

- Windrichtung und
- Windgeschwindigkeit
- Lufttemperatur und
- Relative Luftfeuchtigkeit



## 10.4 Abbildungen



Abb. 19:  
Stationsansicht  
Blickrichtung Süd

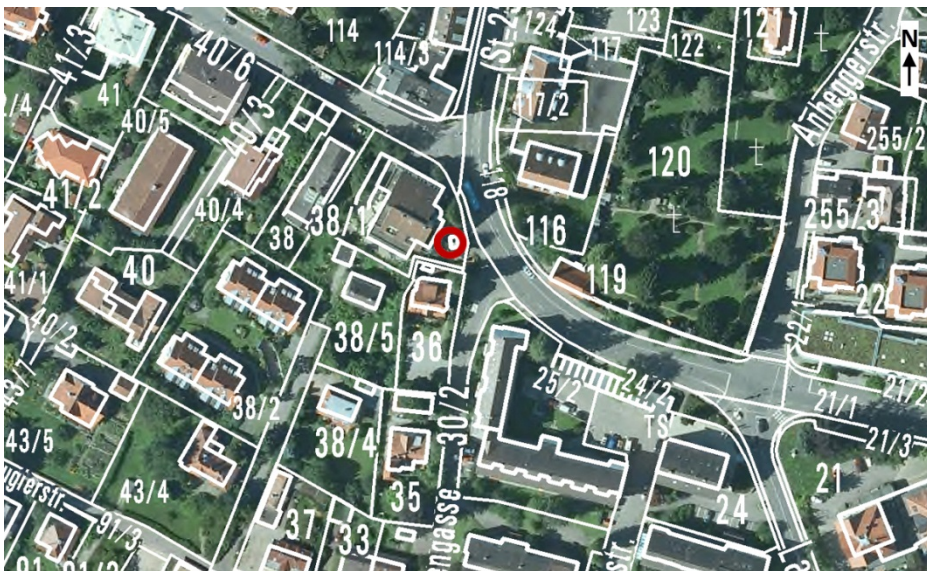


Abb. 20:  
Flurkarte  
Maßstab 1:800  
● LÜB-Messtandort

## 11 München, Landshuter Allee

### 11.1 Standort

Tab. 11: Informationen zum Standort

Bundesland / Regierungsbezirk:	Bayern / Oberbayern
Stationsname:	München Landshuter Allee
Straße(n):	Landshuter Allee
PLZ Ort:	80637 München
Gauß-Krüger Rechtswert / Hochwert *:	4465620 / 5334724
Geografische Länge / Breite:	11° 32' 11,4" / 48° 8' 58,6"
Geografische Länge / Breite (dezimal):	11,536513 / 48,149606
Stationsumgebung (gemäß Eol **):	städtisches Gebiet
Art der Station (gemäß Eol **):	Verkehr
Höhe über Normalnull:	521 m
EU-Code / Lokaler Code:	DEBY115 / L 14.4
Messbeginn:	01. Juli 2004

\* Abbildung im 4. Streifen (Mittelmeridian 12 Grad)

\*\* Eol: Exchange of Information (Richtlinie 2001/752/EC)

### 11.2 Luftschadstoffe

- Ozon (O<sub>3</sub>)
- Kohlenmonoxid (CO)
- Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)
- Einzelkohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Xylole (BTX)
- Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>, Partikeldurchmesser <2,5 µm)
- Feinstaub (PM<sub>10</sub>, Partikeldurchmesser <10 µm)
- Inhaltsstoffe (Benzo(a)pyren) in PM<sub>10</sub>
- Inhaltsstoffe (Blei, Cadmium, Arsen, Nickel) in PM<sub>10</sub>

### 11.3 Meteorologie

An diesem Standort werden keine meteorologischen Parameter erfasst.

## 11.4 Abbildungen



Abb. 21:  
Stationsansicht  
Blickrichtung Nord-Ost

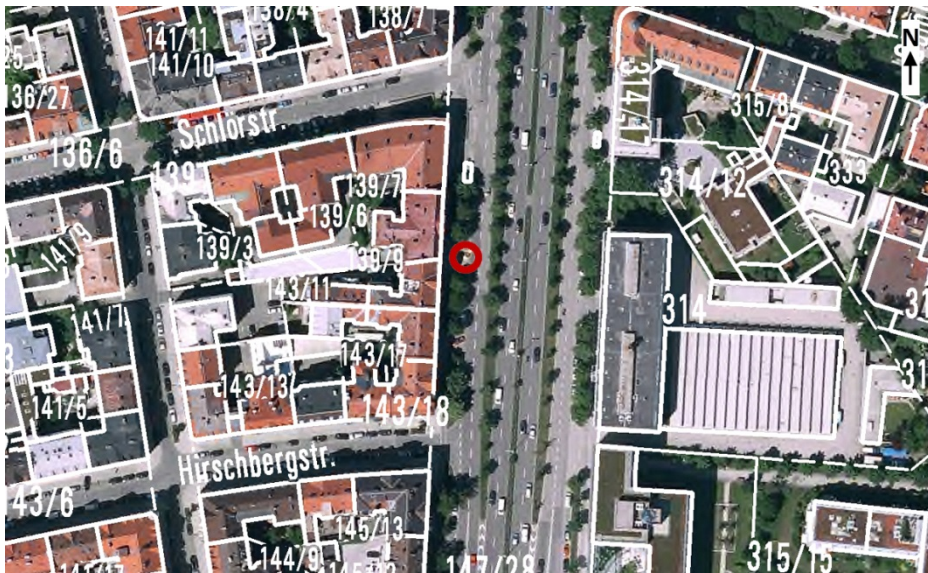


Abb. 22:  
Flurkarte  
Maßstab 1:800  
● LÜB-Messstandort

## 12 München, Stachus

### 12.1 Standort

Tab. 12: Informationen zum Standort

Bundesland / Regierungsbezirk:	Bayern / Oberbayern
Stationsname:	München Stachus
Straße(n):	Sonnenstraße
PLZ Ort:	80335 München
Gauß-Krüger Rechtswert / Hochwert *:	4467726 / 5333338
Geografische Länge / Breite:	11° 33' 53,7" / 48° 8' 14,1"
Geografische Länge / Breite (dezimal):	11,564924 / 48,137252
Stationsumgebung (gemäß Eol **):	städtisches Gebiet
Art der Station (gemäß Eol **):	Verkehr
Höhe über Normalnull:	521 m
EU-Code / Lokaler Code:	DEBY037 / L 8.1
Messbeginn:	01. Januar 1978

\* Abbildung im 4. Streifen (Mittelmeridian 12 Grad)

\*\* Eol: Exchange of Information (Richtlinie 2001/752/EC)

### 12.2 Luftschadstoffe

- Ozon (O<sub>3</sub>)
- Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)
- Kohlenmonoxid (CO)
- Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)
- Einzelkohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Xylole (BTX)
- Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>, Partikeldurchmesser <2,5 µm)
- Feinstaub (PM<sub>10</sub>, Partikeldurchmesser <10 µm)

### 12.3 Meteorologie

- Lufttemperatur und
- Relative Luftfeuchtigkeit

## 12.4 Abbildungen



Abb. 23:  
Stationsansicht  
Blickrichtung Nord-Ost

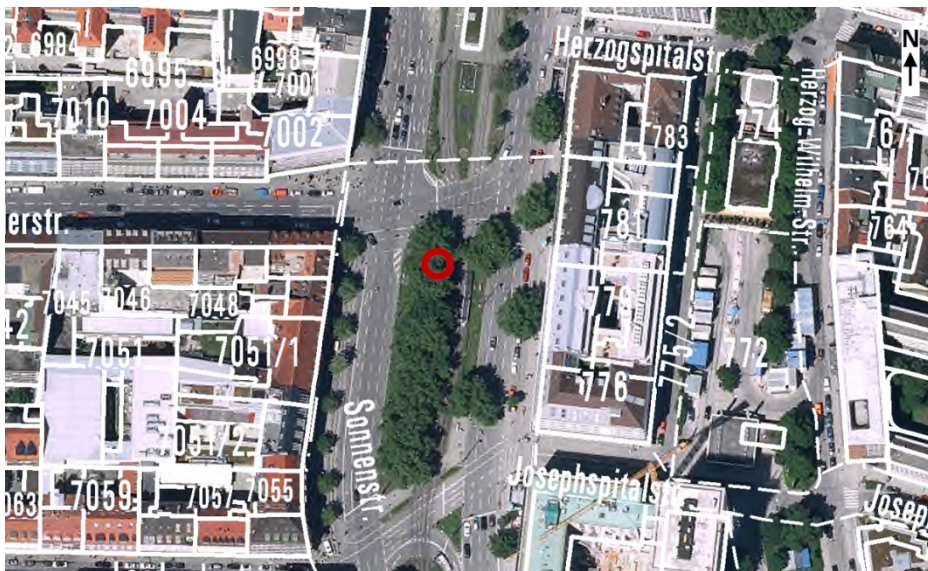


Abb. 24:  
Flurkarte  
Maßstab 1:800  
● LÜB-Messtandort

## 13 Nürnberg, Von-der-Tann-Straße

### 13.1 Standort

Tab. 13: Informationen zum Standort

Bundesland / Regierungsbezirk:	Bayern / Mittelfranken
Stationsname:	Nürnberg Von-der-Tann-Straße
Straße(n):	Von-der-Tann-Straße
PLZ Ort:	90439 Nürnberg
Gauß-Krüger Rechtswert / Hochwert *:	4430200 / 5478619
Geografische Länge / Breite:	11° 2' 9,9" / 49° 26' 25,7"
Geografische Länge / Breite (dezimal):	11,036096 / 49,440478
Stationsumgebung (gemäß Eol **):	städtisches Gebiet
Art der Station (gemäß Eol **):	Verkehr
Höhe über Normalnull:	308 m
EU-Code / Lokaler Code:	DEBY120 / L 14.7
Messbeginn:	01. November 2006

\* Abbildung im 4. Streifen (Mittelmeridian 12 Grad)

\*\* Eol: Exchange of Information (Richtlinie 2001/752/EC)

### 13.2 Luftschadstoffe

- Kohlenmonoxid (CO)
- Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)
- Einzelkohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Xylole (BTX)
- Feinstaub (PM<sub>10</sub>, Partikeldurchmesser <10 µm)
- Inhaltsstoffe (Benzo(a)pyren) in PM<sub>10</sub>
- Inhaltsstoffe (Blei, Cadmium, Arsen, Nickel) in PM<sub>10</sub>

### 13.3 Meteorologie

An diesem Standort werden keine meteorologischen Parameter erfasst.

## 13.4 Abbildungen



Abb. 25:  
Stationsansicht  
Blickrichtung Nord

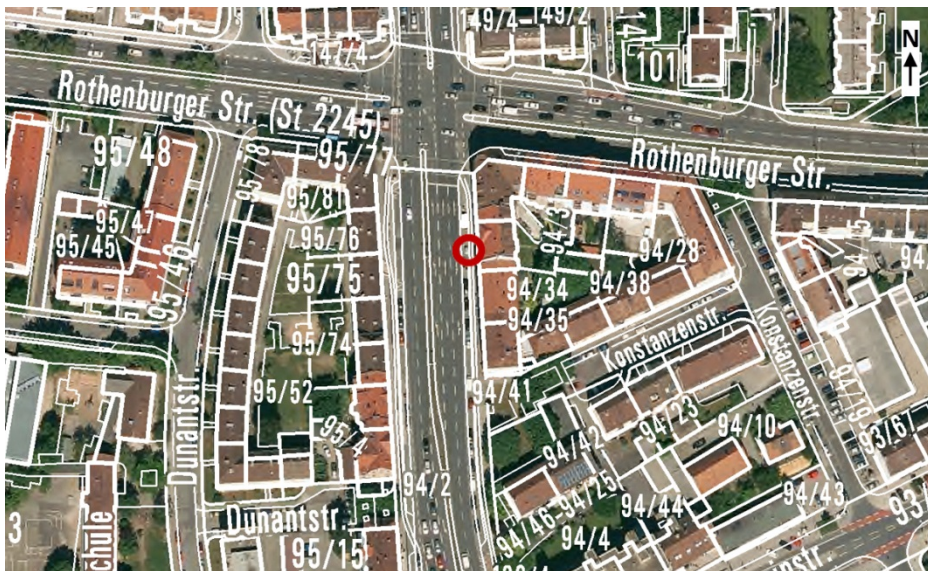


Abb. 26:  
Flurkarte  
Maßstab 1:800  
● LÜB-Messtandort

## 14 Oberaudorf, Inntal-Autobahn

### 14.1 Standort

Tab. 14: Informationen zum Standort

Bundesland / Regierungsbezirk:	Bayern / Oberbayern
Stationsname:	Oberaudorf Inntal-Autobahn
Straße(n):	Auenstraße
PLZ Ort:	83080 Oberaudorf
Gauß-Krüger Rechtswert / Hochwert *:	4514257 / 5278916
Geografische Länge / Breite:	12° 11' 18" / 47° 38' 54,5"
Geografische Länge / Breite (dezimal):	12,188324 / 47,648459
Stationsumgebung (gemäß Eol **):	ländlich stadtnah
Art der Station (gemäß Eol **):	Verkehr
Höhe über Normalnull:	469 m
EU-Code / Lokaler Code:	DEBY121 / L 14.8
Messbeginn:	01. Januar 2008

\* Abbildung im 4. Streifen (Mittelmeridian 12 Grad)

\*\* Eol: Exchange of Information (Richtlinie 2001/752/EC)

### 14.2 Luftschadstoffe

- Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)
- Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>, Partikeldurchmesser <2,5 µm)
- Feinstaub (PM<sub>10</sub>, Partikeldurchmesser <10 µm)

### 14.3 Meteorologie

An diesem Standort werden keine meteorologischen Parameter erfasst.



## 14.4 Abbildungen



Abb. 27:  
Stationsansicht  
Blickrichtung Nord-Ost

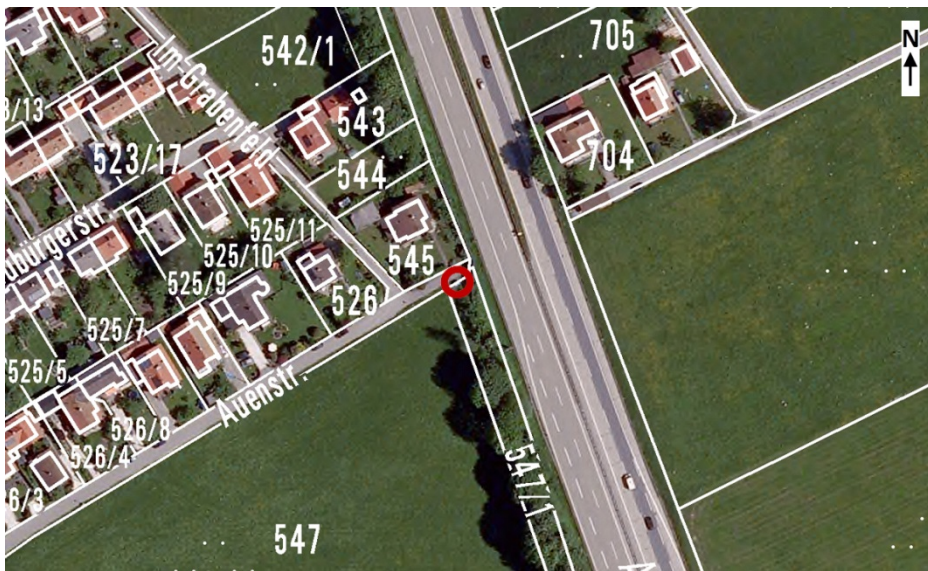


Abb. 28:  
Flurkarte  
Maßstab 1:800  
● LÜB-Messstandort

## 15 Passau, Stelzhamerstraße

### 15.1 Standort

Tab. 15: Informationen zum Standort

Bundesland / Regierungsbezirk:	Bayern / Niederbayern
Stationsname:	Passau Stelzhamerstraße
Straße(n):	Stelzhamerstraße
PLZ Ort:	94036 Passau
Gauß-Krüger Rechtswert / Hochwert *:	4605045 / 5382748
Geografische Länge / Breite:	13° 25' 19,3" / 48° 34' 25,1"
Geografische Länge / Breite (dezimal):	13,422039 / 48,573629
Stationsumgebung (gemäß Eol **):	städtisches Gebiet
Art der Station (gemäß Eol **):	Hintergrund
Höhe über Normalnull:	300 m
EU-Code / Lokaler Code:	DEBY118 / L 2.12
Messbeginn:	05. April 2005

\* Abbildung im 4. Streifen (Mittelmeridian 12 Grad)

\*\* Eol: Exchange of Information (Richtlinie 2001/752/EC)

### 15.2 Luftschadstoffe

- Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)
- Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>, Partikeldurchmesser <2,5 µm)
- Feinstaub (PM<sub>10</sub>, Partikeldurchmesser <10 µm)

### 15.3 Meteorologie

- Lufttemperatur und
- Relative Luftfeuchtigkeit
- Globalstrahlung

## 15.4 Abbildungen



Abb. 29:  
Stationsansicht  
Blickrichtung Süd-Ost

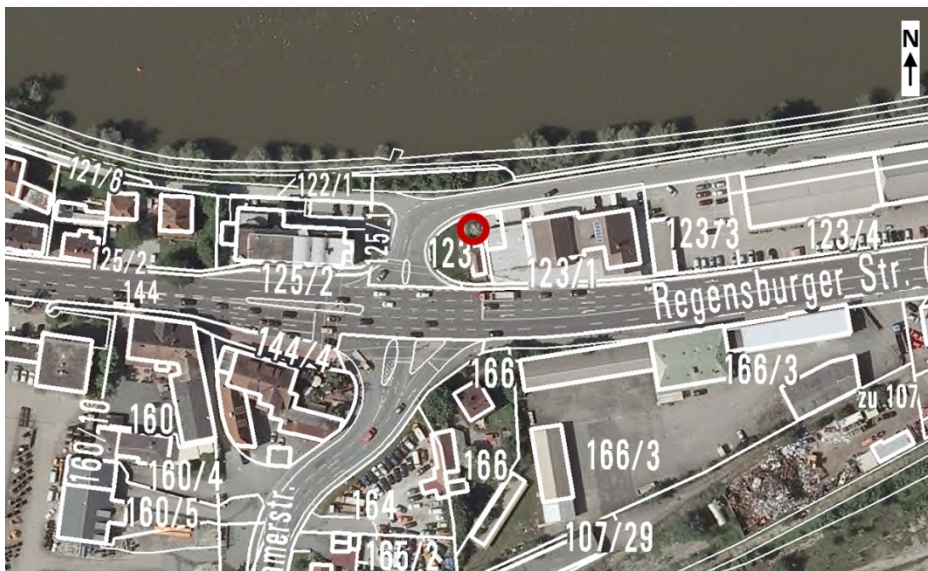


Abb. 30:  
Flurkarte  
Maßstab 1:800  
● LÜB-Messtandort

## 16 Regensburg, Rathaus

Die Messstation wurde am 11.03.2015 vom Schwanenplatz in die D.-Martin-Luther-Straße verlegt.

### 16.1 Standort

Tab. 16: Informationen zum Standort

Bundesland / Regierungsbezirk:	Bayern / Oberpfalz
Stationsname:	Regensburg Rathaus
Straße(n):	D.-Martin-Luther-Straße
PLZ Ort:	93047 Regensburg
Gauß-Krüger Rechtswert / Hochwert *:	4507536 / 5430886
Geografische Länge / Breite:	12° 6' 5,6" / 49° 0' 54,9"
Geografische Länge / Breite (dezimal):	12,101557 / 49,015245
Stationsumgebung (gemäß Eol **):	städtisches Gebiet
Art der Station (gemäß Eol **):	Verkehr
Höhe über Normalnull:	337 m
EU-Code / Lokaler Code:	DEBY063 / L 3.1
Messbeginn:	01. Januar 1975

\* Abbildung im 4. Streifen (Mittelmeridian 12 Grad)

\*\* Eol: Exchange of Information (Richtlinie 2001/752/EC)

### 16.2 Luftschadstoffe

- Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)
- Kohlenmonoxid (CO)
- Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)
- Einzelkohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Xylole (BTX)
- Feinstaub (PM<sub>10</sub>, Partikeldurchmesser <10 µm)
- Inhaltsstoffe (Benzo(a)pyren) in PM<sub>10</sub>

### 16.3 Meteorologie

- Luftdruck
- Windrichtung und
- Windgeschwindigkeit
- Lufttemperatur und
- Relative Luftfeuchtigkeit
- Globalstrahlung

## 16.4 Abbildungen



Abb. 31:  
Stationsansicht  
(Schwanenplatz)  
Blickrichtung Nord



Abb. 32:  
Flurkarte  
Maßstab 1:800  
● LÜB-Messtandort

## 17 Tiefenbach, Altenschneeberg

### 17.1 Standort

Tab. 17: Informationen zum Standort

Bundesland / Regierungsbezirk:	Bayern / Oberpfalz
Stationsname:	Tiefenbach Altenschneeberg
Straße(n):	Flurstück-Nr. 14
PLZ Ort:	93464 Tiefenbach, Gde.teil Altenschneeberg
Gauß-Krüger Rechtswert / Hochwert *:	4539915 / 5478094
Geografische Länge / Breite:	12° 32' 55,9" / 49° 26' 18,5"
Geografische Länge / Breite (dezimal):	12,548869 / 49,438464
Stationsumgebung (gemäß Eol **):	ländlich regional
Art der Station (gemäß Eol **):	Hintergrund
Höhe über Normalnull:	755 m
EU-Code / Lokaler Code:	DEBY072 / L 3.6
Messbeginn:	01. Oktober 1983

\* Abbildung im 4. Streifen (Mittelmeridian 12 Grad)

\*\* Eol: Exchange of Information (Richtlinie 2001/752/EC)

### 17.2 Luftschadstoffe

- Ozon (O<sub>3</sub>)
- Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)
- Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>, Partikeldurchmesser <2,5 µm)
- Feinstaub (PM<sub>10</sub>, Partikeldurchmesser <10 µm)

### 17.3 Meteorologie

- Windrichtung und
- Windgeschwindigkeit
- Lufttemperatur und
- Relative Luftfeuchtigkeit
- Globalstrahlung

## 17.4 Abbildungen



Abb. 33:  
Stationsansicht  
Blickrichtung Ost



Abb. 34:  
Flurkarte  
Maßstab 1:800  
● LÜB-Messstandort

## 18 Würzburg, Kardinal-Faulhaber-Platz

Die Messstation wurde zum 31.12.2011 außer Betrieb genommen.

### 18.1 Standort

Tab. 18: Informationen zum Standort

Bundesland / Regierungsbezirk:	Bayern / Unterfranken
Stationsname:	Würzburg Kardinal-Faulhaber-Platz
Straße(n):	Kardinal-Faulhaber-Platz
PLZ Ort:	97070 Würzburg
Gauß-Krüger Rechtswert / Hochwert *	4351497 / 5519600
Geografische Länge / Breite:	9° 56' 9,4" / 49° 47' 40,5"
Geografische Länge / Breite (dezimal):	9,935939 / 49,794577
Stationsumgebung (gemäß Eol **):	städtisches Gebiet
Art der Station (gemäß Eol **):	Verkehr
Höhe über Normalnull:	179 m
EU-Code / Lokaler Code:	DEBY076 / L 6.4
Messbeginn:	01. Januar 1975
Messende:	31. Dezember 2011

\* Abbildung im 4. Streifen (Mittelmeridian 12 Grad)

\*\* Eol: Exchange of Information (Richtlinie 2001/752/EC)

### 18.2 Luftschadstoffe

- Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)
- Kohlenmonoxid (CO)
- Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)
- Feinstaub (PM<sub>10</sub>, Partikeldurchmesser <10 µm)
- Gesamtschwebstaub (TSP)
- Inhaltsstoffe (Benzo(a)pyren) in PM<sub>10</sub>
- Inhaltsstoffe (Blei, Cadmium, Arsen, Nickel) in PM<sub>10</sub>

### 18.3 Meteorologie

- Luftdruck
- Lufttemperatur und
- Relative Luftfeuchtigkeit



## 18.4 Abbildungen



Abb. 35:  
Stationsansicht  
Blickrichtung Ost



Abb. 36:  
Flurkarte  
Maßstab 1:800  
● LÜB-Messtandort

## 19 Würzburg, Stadtring Süd

### 19.1 Standort

Tab. 19: Informationen zum Standort

Bundesland / Regierungsbezirk:	Bayern / Unterfranken
Stationsname:	Würzburg Stadtring Süd
Straße(n):	Stadtring Süd
PLZ Ort:	97074 Würzburg
Gauß-Krüger Rechtswert / Hochwert *:	4352328 / 5519127
Geografische Länge / Breite:	9° 56' 51,6" / 49° 47' 25,9"
Geografische Länge / Breite (dezimal):	9,947654 / 49,790526
Stationsumgebung (gemäß Eol **):	städtisches Gebiet
Art der Station (gemäß Eol **):	Verkehr
Höhe über Normalnull:	198 m
EU-Code / Lokaler Code:	DEBY119 / L 14.5
Messbeginn:	01. November 2005

\* Abbildung im 4. Streifen (Mittelmeridian 12 Grad)

\*\* Eol: Exchange of Information (Richtlinie 2001/752/EC)

### 19.2 Luftschadstoffe

- Kohlenmonoxid (CO)
- Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)
- Einzelkohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Xylole (BTX)
- Feinstaub (PM<sub>10</sub>, Partikeldurchmesser <10 µm)
- Inhaltsstoffe (Benzo(a)pyren) in PM<sub>10</sub>
- Inhaltsstoffe (Blei, Cadmium, Arsen, Nickel) in PM<sub>10</sub>

### 19.3 Meteorologie

An diesem Standort werden keine meteorologischen Parameter erfasst.

## 19.4 Abbildungen



Abb. 37:  
Stationsansicht  
Blickrichtung Nord-Ost



Abb. 38:  
Flurkarte  
Maßstab 1:800  
● LÜB-Messtandort



## **Anlage 2** **Arbeitsbeschreibung Gravimetrie**

**zum**

**Abschlussbericht**

**Feinstaubinhaltsstoffe: Quantifizierung der Anteile  
von Streusalz und Straßensplitt im  $PM_{10}/PM_{2,5}$**

## Impressum

### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg  
Tel.: 0821 9071-0  
Fax: 0821 9071-5556  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

### Bearbeitung/Text/Konzept:

LfU, Referat 23, Viktoria Schmid

### Redaktion:

LfU, Referat 23, Andrea Wellhöfer, Dr. Mike Pitz  
Referat 24, Reinhard Lobmaier, Dr. Heinz Ott, Daniela Wunderlich

### Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

### Stand:

Juni 2016

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern 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. Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – wird um Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars gebeten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Diese Broschüre 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. 089 122220 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto: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

<b>1</b>	<b>Verfahrensbeschreibung</b>	<b>5</b>
1.1	Normative Verweise	5
<b>2</b>	<b>Arbeitsschutzmaßnahmen</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Geräte, Chemikalien, Hilfsmittel</b>	<b>5</b>
3.1	Arbeitsplatz	5
3.2	Geräte	6
3.3	Chemikalien	6
3.4	Hilfsmittel und Software	7
<b>4</b>	<b>Probenvorbereitung</b>	<b>8</b>
4.1	Filter und Filterhalter	8
4.2	Identifikationsnummer	9
4.3	Magazin	11
<b>5</b>	<b>Probentransport und Lagerung</b>	<b>11</b>
5.1	Probentransport	11
5.2	Probenlagerung	12
5.3	Entsorgung der Filter	13
<b>6</b>	<b>Waage und Wägung</b>	<b>13</b>
6.1	Ultra-Mikrowaage Sartorius SE-2F	13
6.2	Wägung	14
6.2.1	Durchführung	14
6.2.2	Auswertung	15
6.2.3	Dokumentation	16
<b>7</b>	<b>Qualitätssicherung</b>	<b>16</b>
7.1	Wägeraumbedingungen	16
7.2	Ultra-Mikrowaage Sartorius SE-2F	18
7.2.1	Anwärmzeit	18
7.2.2	Nivellierung	18
7.2.3	Verhalten bei Außer-Kontroll-Situationen der Waage	18

7.2.5	Gerätewartung	20
7.3	Filter	20
7.3.1	Konditionierung der Filter	20
7.3.2	Wiegen des Qualitätsfilters	20
7.3.3	Blindfilter	20
7.3.4	Überprüfen der neue Filtercharge	21
<b>8</b>	<b>Handhabung Thermo-Hygrograph</b>	<b>21</b>
8.1	Thermo-Hygrograph OPUS 1	21
8.1.1	Dokumentation mit Thermo-Hygrograph OPUS 1	21
8.1.2	Auslesen und Drucken der Daten	21
8.2	Thermo-Hygrograph OPUS 20	22
8.2.1	Auslesen und Drucken der Daten vom OPUS 20	22
8.2.2	Exportieren der Daten vom OPUS 20	22
8.2.3	Updates für den OPUS 20	23
<b>9</b>	<b>Reinigungsanweisungen</b>	<b>23</b>
9.1	Filterhalter	23
9.4	Wägeraum	24
<b>10</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>24</b>
<b>11</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>24</b>

# 1 Verfahrensbeschreibung

Die gravimetrische Bestimmung der Massenkonzentration von Partikeln in der Außenluft erfolgt in Anlehnung an DIN EN 12341:2014. Hierbei wird die auf einem geeigneten Filtermaterial abgeschiedene Staubmasse durch Wägung als Differenz zwischen belegtem und unbelegtem Filter ermittelt.

## 1.1 Normative Verweise

Die Arbeitsbeschreibung Gravimetrie zitiert im Text Normen, Richtlinien usw. Die Verweise sind in der Regel undatiert, so dass auf die jeweils aktuelle Ausgabe Bezug genommen wird.

DIN EN 12341:2014: Außenluft – Gravimetrisches Verfahren Standardmessverfahren für die Bestimmung der PM<sub>10</sub>- oder PM<sub>2,5</sub> – Massenkonzentration des Schwebstaubes

# 2 Arbeitsschutzmaßnahmen

Beim Umgang mit Ethanol sowie mit Rotisol und Stickstoff (Druckluft) sind Schutzbrille und Handschuhe zu tragen.

Alle Sicherheitsdatenblätter in gedruckter Form liegen im Ordner „Wägeraum wiegen – Sonstiges“. Dieser Ordner befindet sich im Wägeraum.

Die Sicherheitsdatenblätter sind als PDF-Dateien unter LFU ([\UMWELT.bayern.de\LFU](http://\UMWELT.bayern.de\LFU)) (U) ----> Arbeitsgruppen ----> Verkehrsmessstationen ----> Waage ----> Sicherheitsdatenblätter gespeichert.

Ansonsten gelten die in der Laborordnung festgelegten Arbeitsschutzmaßnahmen.

# 3 Geräte, Chemikalien, Hilfsmittel

## 3.1 Arbeitsplatz

Der Arbeitsplatz für die gravimetrische Bestimmung der PM<sub>10</sub>-Massenkonzentration des Schwebstaubes befindet sich im Raum 0.057. In Abb. 1 ist der Arbeitsplatz abgebildet. Ein wichtiger Bestandteil des Arbeitsplatzes neben der Waage ist die Granitplatte, auf der die Wägezelle der verwendeten Waage schwingungsfrei aufgestellt wird.



Abb. 1:  
Arbeitsplatz

### 3.2 Geräte

Tab. 1: Eingesetzte Geräte

Gerät	Hersteller
Ultra-Mikrowaage SE 2-F	Sartorius AG
Thermo-Hygrograph OPUS 1	Luft Mess-und Regeltechnik GmbH
Thermo-Hygrograph OPUS 20	Luft Mess-und Regeltechnik GmbH

### 3.3 Chemikalien

Tab. 2: Eingesetzte Chemikalien

Produkt	Hersteller/ Lieferant	Reinheit	Bestellnummer
Ethanol	Carl Roth GmbH +Co. KG	≥ 99,5%	Art.-Nr.: 9065
Rotisol	Carl Roth GmbH +Co. KG	Universelles alkoholisches Lösungsmittel	Art.-Nr.: 7917.1
Geschirrspül-Tabs	Handelsübliche Tabs		

Die Sicherheitsdatenblätter für Ethanol und Rotisol in gedruckter Form sind in einem Ordner im Wägeraum 0.057 hinterlegt. Dieser Ordner ist mit „Wägeraum wiegen – Sonstiges“ bezeichnet.

Zusätzlich sind die Sicherheitsdatenblätter für Ethanol und Rotisol als PDF-Dateien auf dem Laufwerk U ([\UMWELT.bayern.de\LFU](http://\UMWELT.bayern.de\LFU)) im Verzeichnis *U:\LfU\Arbeitsgruppen\Verkehrsmessstationen\Waage\Sicherheitsdatenblätter* gespeichert.

### 3.4 Hilfsmittel und Software

Tab. 3: Eingesetzte Hilfsmittel

Hilfsmittel und Software	Hersteller / Lieferant
Filterhalter für Filter von Ø 47 mm und Ø 50 mm Material: Polyoxymethylen (POM)	Sven Leckel Ingenieurbüro GmbH
Magazin für Filterhalter Ø 47 mm und Ø 50 mm	Sven Leckel Ingenieurbüro GmbH
Diarahmenkasten (Aufbewahrungskasten)	BRAUN Photo Technik GmbH
AnalySlides Petrischalen für Filteraufbewahrung und -transport	PALL Corporation
Kunststoffpinzetten (TYP: K2A, K35A)	Outils Rubis SA
Ionisationsgebläse	Sartorius AG
Quarzfaserfilter T 293 (ungeglüht und ohne Binder)	Munktell & Filtrak GmbH
Sarto Wedge-Software	Sartorius AG
Wägeprogramm (Excel – Makros)	Modifiziert von Herrn Waller (im Haus); Ansprechpartner: Herr Zips (im Haus)
MS Excel	Microsoft Corporation
Gewichte (E2)	Kern & Sohn GmbH
Rote Silikon O-Ringe: Ø 46 mm, Dicke 2 mm	Blechinger GmbH, Stettenhofen
Kunststoffspatel zum Öffnen der Filterhalter	LfU-Eigenbau
PVC-Stab	Sven Leckel Ingenieurbüro GmbH
Aufbewahrungsbox für Filterhalter	Kein spezieller Hersteller
Regale zum Auslegen der Filter (Einlegeböden aus Kunststoffmaschengewebe)	LfU-Eigenbau
1 Waagschale Ø 15 cm	Sartorius AG
Nitril-Handschuhe Camatril mit Velourisierung	Carl Roth GmbH + Co. KG, Bestell-Nr.: Y 452.1
Schutzbrille	Kein spezieller Hersteller
Handcreme	Kein spezieller Hersteller
Etiketten 50 mm x 14 mm	CCL Industries Inc., Marke: Avery/Zweckform
Etiketten 38,1 mm x 21,2 mm	HERMA GmbH

## 4 Probenvorbereitung

Bei der Probenvorbereitung sind alle Qualitätssicherungsmaßnahmen im Umgang mit den Filtern zu beachten (s. Kapitel 7.3).

Leerfilter müssen vor der Verwendung einer Sichtprüfung auf Beschädigungen wie Löcher oder loses Material unterzogen werden. Bei Beschädigungen sind die Filter nicht zu verwenden.

Die Leerfilter und die beprobten Filter sind äußerst sorgfältig und nur mit einer Edelstahl- oder PTFE-beschichteten Pinzette zu handhaben.

Beprobte Filter sind vor der Wägung auf Beschädigungen, grobe Partikel und ungleichmäßige Flächenverfärbungen zu untersuchen. Grobe, einzeln vorkommende Partikel z. B. kleine Insekten sind vorsichtig mit einer Pinzette vom Filter zu entfernen. Sämtliche Auffälligkeiten am beprobten Filter sind in der Wägeliste zu dokumentieren.

Ist das Entfernen von groben, einzelnen Partikeln auf den beprobten Filtern ohne Staubverluste nicht möglich oder ist die Beschädigung des Filters zu groß, so dass der Filter nicht mehr zur Wägung geeignet ist, ist dies ebenfalls in der Wägeliste zu protokollieren.

Die gewogenen Leerfilter mit der durchlaufenden Identifikationsnummer (s. Kapitel 4.2) werden in den für den Tag vorgesehenen Filterhalter eingelegt. Beim Bestücken des Magazins mit den Proben ist Kapitel 4.3 zu beachten.

Zum Öffnen des Filterhalters (Trennen von Basis und Deckel) wird ein Kunststoffspatel verwendet (Abb. 24).

Wird bei der Entnahme eines beprobten Filters festgestellt, dass dieser nicht mittig im Filterhalter angebracht war, wird dies in der Wägeliste neben dem betroffenen Filter dokumentiert. Der Filter wird nicht verworfen.

### 4.1 Filter und Filterhalter

Die eingesetzten Quarzfaserfilter haben einen Durchmesser von 47 mm. Nach dem Befestigen im Filterhalter, beträgt der für die Beprobung zur Verfügung stehende Durchmesser 40 mm.

Das Sicherheitsdatenblatt für die verwendeten Quarzfaserfilter in gedruckter Form ist in einem Ordner im Wägeraum 0.057 hinterlegt. Dieser Ordner ist mit „Wägeraum wiegen – Sonstiges“ bezeichnet.

Zusätzlich ist das Sicherheitsdatenblatt für die verwendeten Quarzfaserfilter als PDF-Datei auf dem Laufwerk U ([\UMWELT.bayern.de\LFU](http://\UMWELT.bayern.de\LFU)) im Verzeichnis

*U:\LfU\Arbeitsgruppen\Verkehrsmessstationen\Waage\Sicherheitsdatenblätter* gespeichert.



Abb. 2: Leerfilter in Filterhalterbasis

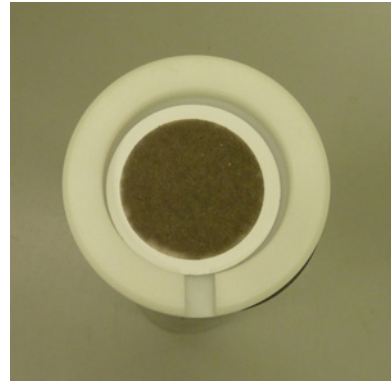
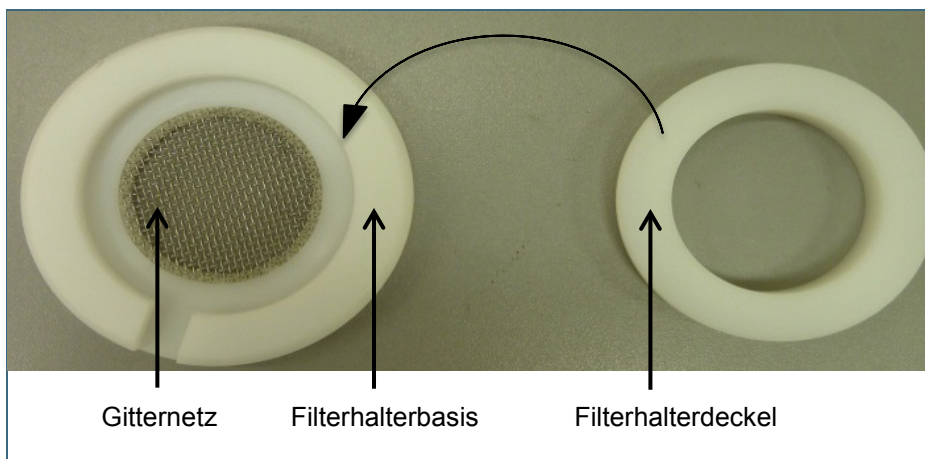


Abb. 3: Beprobter Filter in Filterhalterbasis

Die Filterhalter bestehen aus Polyoxymethylen (POM), auch Polyacetal oder Polyformaldehyd genannt (Abb. 4). Die Filterhalter können mit Filtern Durchmesser 47 mm oder 50 mm bestückt werden. Um den Filter während der Probenahme zu stabilisieren, ist in der Filterhalterbasis ein Gitternetz aus Edelstahl angebracht. Ist das Gitternetz lose oder sind Verfärbungen auf dem Gitternetz (z. B. Rostflecken) vorhanden, darf die Filterbasis nicht verwendet werden.

Abb. 4:  
Filterhalter

Die Dichtringe für den Filterhalterdeckel sind regelmäßig zu überprüfen. Sind Beschädigungen vorhanden, sind sie sofort zu ersetzen.

Beschriftete Filterhalter, die nicht sofort zum Einsatz kommen, werden mit Klarsichtfolie abgedeckt, um sie vor Staubablagerungen zu schützen.

## 4.2 Identifikationsnummer

Die Probe bzw. der Filter ist über die Identifikationsnummer eindeutig einer Probenahmestelle (i. d. R. Messstation), dem Jahr und dem Tag der Probenahme nach folgendem Muster zugeordnet:

### Kurzbezeichnung der Probenahmestelle Jahr/Tag

Für den Tag wird eine durchlaufende Nummer beginnend mit 1 am 01. Januar des entsprechenden Jahres vergeben. In Tab. 4 sind für die im Projekt TLK01U-10541 untersuchten LÜB-Messstationen bzw. Standorte, die lokalen LÜB-Codes, die EU LÜB-Codes und die Kurzbezeichnungen aufgelistet. Hinweis: Die im Projekt verwendeten LÜB-Codes können sich von denen unterscheiden, die ab 2016 für alle LÜB-Stationen und sonstige Messstandorte einheitlich verwendet werden.

Tab. 4: Auflistung aller auf Streusalz im Projekt untersuchten LÜB-Messstationen bzw. Standorte.

Name der LÜB-Messstation bzw. des Standortes	Lokaler LÜB-Code	EU LÜB-Code	Kurzbezeichnung
Messstation München / Landshuter Allee	L14.4	DEBY115	MÜLA
Messstation München / Landshuter Allee Stationsverschiebung*			MÜLASTV
Messstation Augsburg / Königsplatz	L7.1	DEBY006	AUKÖ
Messstation Augsburg / Karlstraße	L14.1	DEBY110	AUKA
Messstation Würzburg / Stadtring Süd	L14.5	DEBY119	WBSS
Würzburg Stadtring Süd 15 m**			WBSS-15m
Messstation Würzburg / Kardinal-Faulhaber-Platz	L6.4	DEBY076	WBKA
Messstation Oberaudorf / Inntalautobahn	L14.8	DEBY121	OBIA
Messstation Tiefenbach / Altenschneeberg	L3.6	DEBY072	TBAL
Messstation München / Stachus	L8.1	DEBY037	MÜST
Messstation Nürnberg / Von-der-Tann-Straße	L14.7	DEBY120	NÜVDT
Messstation Landshut / Podewilsstraße	L2.3	DEBY033	LAPO
Messstation Burghausen / Marktler Straße	L1.2	DEBY012	BUMA
Messstation Kelheim / Regensburger Straße	L2.1	DEBY028	KERE
Messstation Kulmbach / Konrad-Adenauer Straße	L4.8	DEBY032	KUKO
Messstation Lindau (Bodensee) / Holdereggenstraße	L7.4	DEBY035	LIHO
Messstation Passau / Stelzhamerstraße	L2.12	DEBY118	PAST
Messstation Regensburg / Rathaus***	L3.1	DEBY063	RERA
Messstation Ansbach / Residenzstraße	L5.12	DEBY001	ANRE
Karlsfeld / Münchner Straße****			KAMÜ
Trostberg / "Engstelle" Am Vormarkt*****			TR
München-Freimann / ADSB*****			MÜFR

\* München / Landshuter Allee Stationsverschiebung: Aufgrund einer geplanten und zwischenzeitlich durchgeführten Verschiebung der Messstation München/Landshuter Allee um ca. 12 m nach Süden wurde an diesem neuen Messort zeitweise ein PM<sub>10</sub>-Sammler betrieben.

\*\* Würzburg Stadtring Süd 15 m: PM<sub>10</sub>-Messung in einer Entfernung von 15 m zur Messstation WBSS senkrecht zum Fahrbahnrand. Die Probenahmen dienen der Ermittlung des Einflusses der Entfernung vom Fahrbahnrand auf die Feinstaubzusammensetzung.

\*\*\* Die Messstation Regensburg / Rathaus wurde am 11.03.2015 vom Schwanenplatz um ca. 420 m nach Süden in die D.-Martin-Luther-Straße versetzt.

\*\*\*\* Karlsfeld / Münchner Straße: PM<sub>10</sub>-Messung in Karlsfeld, Münchner Straße 218, mit Staubinhaltsstoffanalytik auf winterdienstspezifische Komponenten.

\*\*\*\*\* Trostberg / "Engstelle" Am Vormarkt: PM<sub>10</sub>-Messung in Trostberg, Am Vormarkt 46 mit Staubinhaltsstoffanalytik auf winterdienstspezifische Komponenten.

\*\*\*\*\* München-Freimann / ADSB: PM<sub>10</sub>-Messung an der Autobahn A9 auf dem Gelände der Autobahndirektion Südbayern, Heidemannstraße 219, München, mit Staubinhaltsstoffanalytik auf winterdienstspezifische Komponenten.

### 4.3 Magazin

Um Verwechslungen auszuschließen, wird das Magazin gut erkennbar (gelbes Etikett) mit der Probenahmestelle beschriftet.

Beim Bestücken des Magazins ist darauf zu achten, dass die zu beprobende unbedeckte Fläche der Filter in den Filterhaltern nach oben zeigt. Zudem ist strikt auf die Reihenfolge der Filterhalter im Magazin zu achten. Zeitliche Reihenfolge im Magazin: Aufsteigend mit zunehmendem Datum.

Zum Einlegen der Filterhalter ist das Magazin für Leerfilter über den PVC-Stab zu stülpen (s. Abb.5 und 6). Danach sind die Filterhalter mit den Leerfiltern auf den PVC-Stab zu stapeln, so dass sich die höchste Nummerierung (Tageskodierung) oben befindet. Das Magazin ist dann nach oben zu bewegen, um alle Filter auf dem PVC-Stab aufzunehmen. Anschließend ist die obere Abdeckplatte des Magazins anzubringen.

Zur Entnahme der Filterhalter ist das Magazin mit den beaufschlagten Filtern über den grauen PVC-Stab zu stülpen. Zuerst sind die oben aufliegende untere sowie die obere Abdeckplatte des Magazins zu entfernen. Das Magazin wird sodann nach unten bewegt, um die Filterhalter freizulegen. Die Filterhalter können jetzt vom PVC-Stab entfernt werden. Die höchste Nummerierung (Tageskodierung) muss sich jetzt unten im Magazin befinden. Nach der Entnahme des PVC-Stabes werden die untere und obere Abdeckplatte wieder am Magazin angebracht.

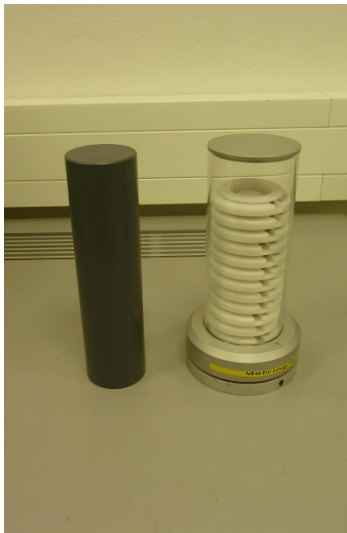


Abb. 5: PVC-Stab und Magazin mit Leerfiltern



Abb. 6: Magazin mit Filterhaltern auf PVC-Stab

## 5 Probentransport und Lagerung

### 5.1 Probentransport

Die beprobten Filter und die Leerfilter werden zur und von der Probenahmestelle immer im Magazin transportiert. Die Magazine für die Leerfilter werden für einen Zeitraum von 14 Tagen bestückt. Für eine Probenahmestelle sind grundsätzlich zwei Magazine vorzubereiten. In ein entsprechendes Magazin werden die Filterhalter mit den unbestaubten, frischen Filtern eingebracht, das zweite Magazin bleibt leer und ist für die Aufnahme der bestaubten Filter an der Probenahmestelle/LÜB-Station vorge-

sehen. Bei den Magazinen ist darauf zu achten, dass sowohl die obere als auch die untere Abdeckkappe angebracht sind.

Bei den beprobten Filtern ist darauf zu achten, dass diese mit der beprobten Fläche nach oben von der Probenahmestelle/LÜB-Station zum Labor transportiert werden. Der Transport der Filter erfolgt grundsätzlich in einem beschrifteten Transportkoffer (vgl. Abb. 7 und Abb. 8), um eine klare Zuordnung der entsprechenden Filter zur jeweiligen Probenahmestelle/LÜB-Station sicherzustellen und äußere Einflüsse während des Transportes zu minimieren.



Abb. 7: Transportkoffer

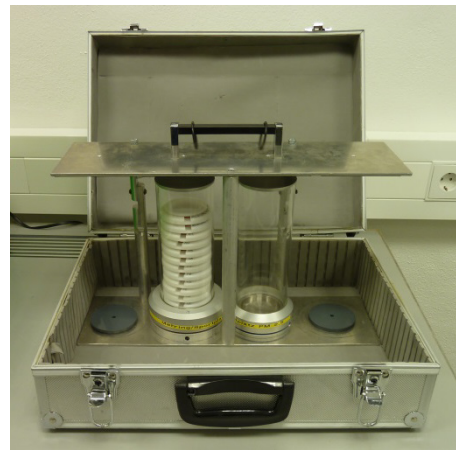


Abb. 8: Transportkoffer mit leerem und bestücktem Magazin

In jedem Transportkoffer befinden sich noch ein Datenstick für die Datenspeicherung des Staubsammlers und ein Protokoll zum Filterwechsel vor Ort (s. Abb. 9 und Abb. 10).



Abb. 9: Stick für Datenspeicherung mit Stationsbezeichnung

Filterwechselprotokoll		Tour: LVS		Charge (KW): 0911 / 2016					
LVS	Charge	Anzahl	Filter			Blindfilter	Datum Filterwechsel	Anmerkung	
			erstes	von	bis				
Augsburg	Königsplatz	neu	14	---	ALKO 15004	ALKO 15077	---		
		beprob		ALKO 15f	ALKO 15f	ALKO 15f			
Augsburg	Königsplatz	neu		---			---		
		beprob		ALKO 15f	ALKO 15f	ALKO 15f			
Datum		Anmerkung							

Abb. 10: Filterwechselprotokoll

## 5.2 Probenlagerung

Die Lagerdauer der Filter ist möglichst kurz zu halten. Gewogene Leerfilter dürfen maximal 2 Monate gelagert werden. Die beprobten Filter sind innerhalb eines Monats nach der Beprobung zum Labor zu transportieren und sollten im Labor maximal 1 Monat bis zur Wägung gelagert werden.

Beprobte Filter werden sofort nach Eintreffen im Labor mit einer Edelstahl oder PTFE-beschichteten Pinzette aus den Filterhaltern genommen und in den Regalen im Wägeraum 0.057 (s. Abb. 11 und Abb. 12) zur Konditionierung (s. Kapitel 7.3.1) in mit Probennummer versehenen Diarahmenkästen ausgelegt.

Filter, die nach der Beprobung und anschließenden Wägung für keine weiteren Untersuchungen im Labor (z. B. Metall-, oder Benzo[a]pyrenanalytik) vorgesehen sind, werden im Labor für mindestens 2 Jahre gelagert.



Abb. 11: Probenlagerung in Diarahmenkästen



Abb. 12: Regal zum Aufbewahren der Diarahmenkästen

### 5.3 Entsorgung der Filter

Die beprobten Filter werden in der Regel 2 Jahre aufgehoben. Verworfen Filter sowie beprobte Filter (in Abstimmung mit der Laborleitung) sind über den Restmüll zu entsorgen.

## 6 Waage und Wägung

### 6.1 Ultra-Mikrowaage Sartorius SE-2F

Die Ultra-Mikrowaage Sartorius SE-2F hat eine Auflösung von 0,1 µg bis zu einer Gesamtmasse von 2,1 g. Sie besteht aus zwei Hauptkomponenten, der Elektronik-Einheit mit Anzeige- und Tastenfeld (Abb. 13) und der Wägezelle (Abb. 14). Die Waagschale ist mit einem Windschutz ausgestattet, damit sich Luftbewegungen nicht auf das Messergebnis auswirken können.

Die Bedienungsanleitung ist auf dem Laufwerk U (\\UMWELT.bayern.de\LFU) im Verzeichnis U:\LfU\Arbeitsgruppen\Verkehrsmessstationen\Waage\ gespeichert.





Abb. 13: Elektronik-Einheit der Ultra-Mikrowaage SE-2F mit Anzeige- und Tastenfeld (auf der Elektronik-Einheit sind zwei PTFE-beschichtete Pinzetten in einer Petrischale zu sehen)

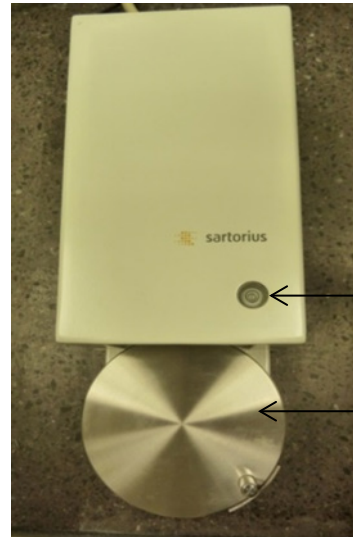


Abb. 14: Wägezelle der Ultra -Mikrowaage SE-2F

## 6.2 Wägung

### 6.2.1 Durchführung

Vor jeder Wägung ist sicherzustellen, dass alle Qualitätssicherungsmaßnahmen eingehalten werden (vgl. Kapitel 7).

Die Waage nach den Herstellerangaben im Handbuch intern kalibrieren und Wäageprogramm starten (s. Abb. 17).

Um Temperaturunterschiede zwischen der Umgebung und dem Innenraum der Wägezelle auszugleichen, ist der Windschutz vor Wäagebeginn mehrmals zu öffnen und zu schließen.

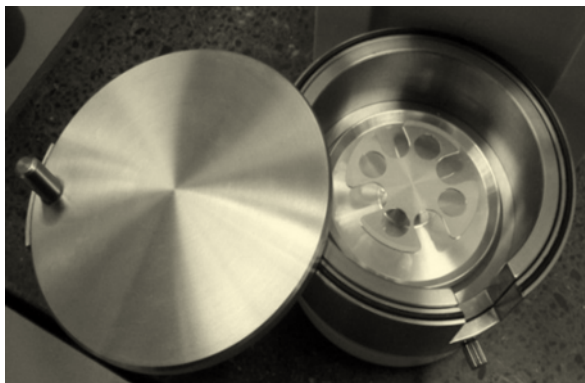


Abb. 15: Waagschale mit geöffnetem Windschutzdeckel

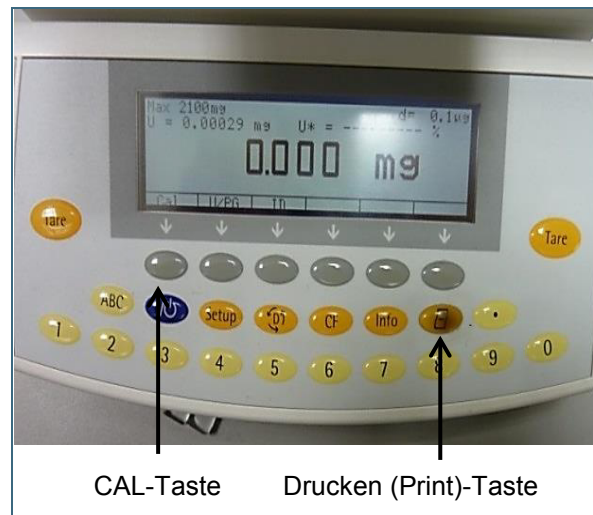


Abb. 16: Anzeige- und Tastenfeld der Ultra-Mikrowaage SE-2F

Jeder Filter wird einfach gewogen, wobei drei Filter jedes Magazins dreifach gewogen werden. Zur Wägung wird der Filter mit der Pinzette auf die Waagschale (Abb. 15) gelegt. Für 47 mm-Filter wird die im Windschutz integrierte Antistatik-Waagschale verwendet.

Die Identifikationsnummer wird in die Software des PC am Arbeitsplatz eingegeben. Nach Erreichen eines stabilen Wäageergebnisses (im Display erscheint das Einheitssymbol „mg“) wird durch das Betätigen der Drucken (Print)-Taste (vgl. Abb. 16) das Wäageergebnis an den Computer geschickt.

In der Wäagesoftware ist die Zelle mit der Identifikationsnummer des Filters zu markieren. Durch Anklicken des Buttons „Wägung in Selection“ (Erstwägung des Leerfilters) bzw. „Zweitwägung in Selection“ (Zweitwägung des gleichen beprobten Filters) wird der Messwert der Waage in die Wägeliste (Excel-Datei) übernommen (vgl. Abb. 17).

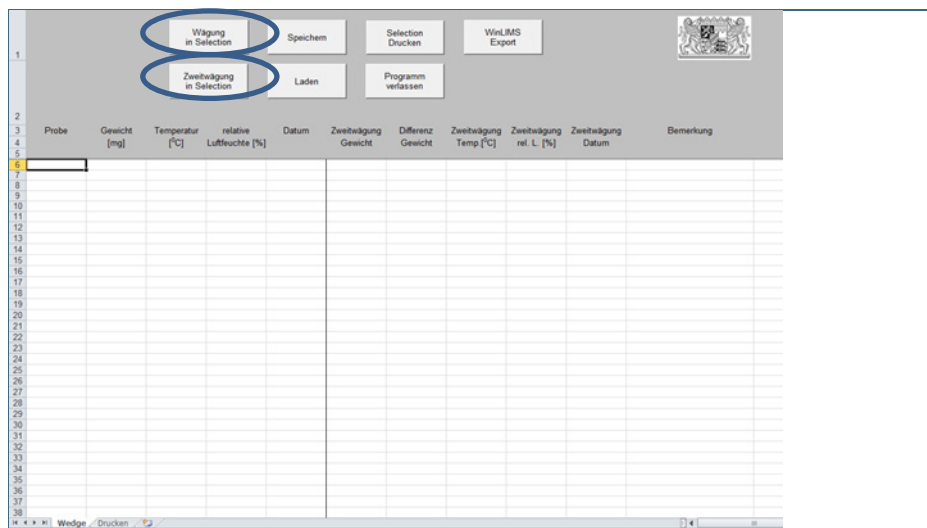


Abb. 17:  
Ausschnitt der Wägeliste mit markierten Buttons für die Erst- und Zweitwägung

Bei jeder Wägung sind die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit der Umgebung in der Wägeliste manuell einzutragen und zu dokumentieren (siehe Kapitel 8). Hierzu wird die Wägeliste der jeweiligen Probenahmestelle auf dem Laufwerk U ([\UMWELT.bayern.de\LFU](http://\UMWELT.bayern.de\LFU)) im Verzeichnis `U:\LFU\Arbeitsgruppen\Staubsammler` geladen.

## 6.2.2 Auswertung

Die Partikel-Massenkonzentration wird in der Software automatisch berechnet:

Die Masse des Filters  $c$  kann bei bekannter Masse des Leerfilters  $m_1$  und des beprobten Filter  $m_2$  nach folgender Formel berechnet werden:

$$c = m_2 - m_1 \quad (1)$$

Die Massenkonzentration des dem Filter entsprechenden Feinstaub-Tagesmittelwerts  $c_V$  kann nach folgender Formel berechnet werden:

$$c_V = \frac{c}{V} \quad (2)$$

Hierbei ist V das Probeluftvolumen, welches während des Beprobungszeitraumes durch den Filter gesaugt wurde.

$c$  = Partikel-Massenkonzentration in  $\mu\text{g}$

$m_1$  = Masse des unbeladenen Filters in  $\mu\text{g}$

$m_2$  = Masse des beladenen Filters in  $\mu\text{g}$

$c_v$  = volumenbezogen Partikel-Massenkonzentration in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

$V$  = Probeluftvolumen in  $\text{m}^3$

### 6.2.3 Dokumentation

Die benötigte Wägeliste laden (in der Wägeliste auf den Button „Laden“ klicken).unter:

LfU(//umwelt.bayern.de) LfU (U:) \ Arbeitsgruppen \ Staubsammler

Die von den Thermo-Hygrographen aufgezeichneten Wägeraumbedingungen müssen fortlaufend in der Wägeliste **manuell** notiert werden.

## 7 Qualitätssicherung

### 7.1 Wägeraumbedingungen

Die Lagerung und Wägung der Filter erfolgt im Wägeraum. Der Wägeraum darf außer der Klimatisierung keiner Wärme- bzw. Kältezufuhr von außen ausgesetzt sein.

Die Temperatur soll im Wägeraum (nach der Vorschrift der DIN EN 12341, Stand: August 2014)  $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$  betragen und die relative Luftfeuchte darf nur innerhalb eines Bereichs zwischen 45 % bis 50 % schwanken.

#### **Relative Luftfeuchte außerhalb der vorgegebenen Bedingungen:**

Liegt die Feuchtigkeit des Wägeraums außerhalb der vorgegebenen Bedingungen, aber noch innerhalb eines Bereichs zwischen 10 % und 70 %, so werden die Wäageergebnisse durch speziell vom Referat 24 entwickelte Korrekturfunktionen korrigiert ( $\text{PM}_{10}$ -Standortfaktoren, Fehlerquellen und Einflussgrößen, Reinhard Lobmaier, 43. Messtechnisches Kolloquium vom 28. bis 30. April in Mettlach (Saarland)).

Für die aktuell verwendete Filtersorte (Fa. Hahnemühle, QFH047) ergibt sich folgende Funktion zweiten Grades:

$$\text{Korrekturfunktion: } y = Ax^2 + Bx + C$$

mit den Koeffizienten (gewählt für 50 % r. F.):

$$A = -0,00045$$

$$B = 0,06675$$

$$C = -2,2125$$

x: Relative Luftfeuchte in % direkt an der Waage zum Zeitpunkt der Wägung

y: Massendifferenz in mg zwischen der Masse des Filters bezogen auf 50 % r. F. und der Masse des Filters bei x % r. F.

Sowohl die Leerfilter, als auch die bestaubten Filter sind dieser Korrektur zu unterziehen. Der Fehler, der etwa durch wasseranziehende Stoffe nach der Bestäubung entsteht, ist vernachlässigbar, da das Wasseraufnahmeverhalten eindeutig durch das massenmäßig dominierende Filtermaterial geprägt wird und nicht durch die gesammelten Staubpartikel

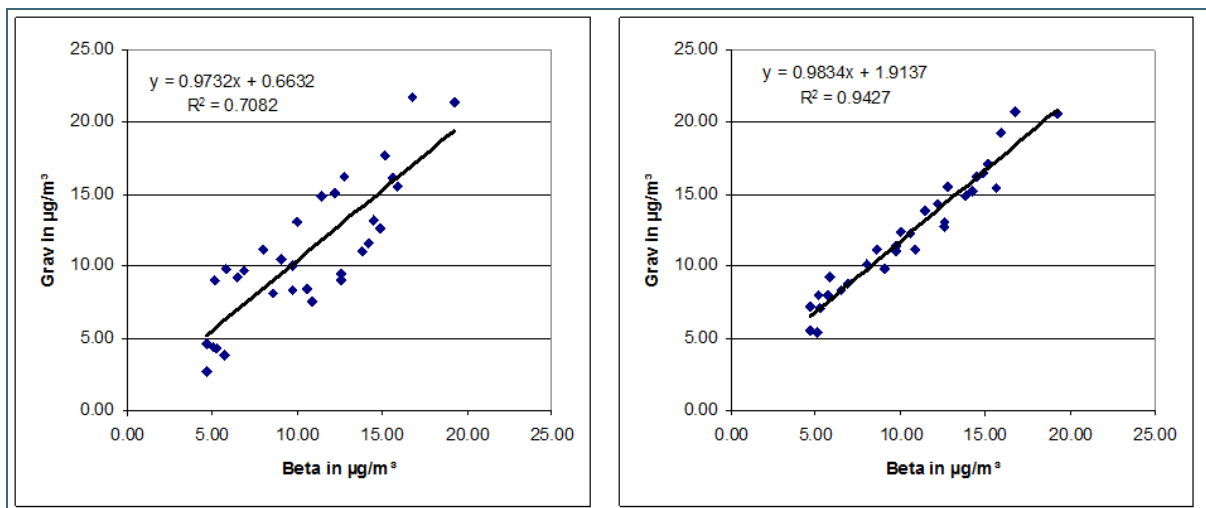


Abb. 18: Deutliche Verbesserung der ursprünglichen Korrelation (linker Bildteil) durch rechnerische Korrektur der Restabweichungen der Wägeraumbedingungen vom Bezugswert (rechter Bildteil)

Bei Auftreten eines Feuchtepeaks, etwa nach der Nassreinigung des Wägeraumes, erfolgt die Fortsetzung der Wägung am gleichen Tag nur, falls folgende Kriterien erfüllt sind:

- Feuchtepeak ist kürzer als 30 min.
- Raumfeuchte erreicht nach Abklingen des Peaks wieder den Ausgangswert  $\pm 2$  % rel. Feuchte.
- Wägepause nach Abklingen des Feuchtepeaks  $> 1$  h

Wägeraum außerhalb der vorgegebenen Bedingungen: Klärung der Ursache in Abstimmung mit der Laborleitung ggf. Aussetzung weiterer Filterwägungen bis zur erneuten Einhaltung der erforderlichen Bedingungen.

## 7.2 Ultra-Mikrowaage Sartorius SE-2F

### 7.2.1 Anwärmzeit

Für den Fall, dass die Waage an einen anderen Standort versetzt wurde oder eine Trennung der Waage von der Stromversorgung erfolgte, ist eine Anwärmzeit von 12 Stunden einzuhalten.

### 7.2.2 Nivellierung

Um reproduzierbare Wäageergebnisse zu erzielen, ist vor jeder Wägung die exakte waagerechte Stellung der Wägezelle zu überprüfen.

Die Nivellierung, das Einrichten der Wägezelle in ihre Bezugslage mit der Libelle, erfolgt mit den beiden hinteren Stellfüßen, bis die Luftblase der Libelle (vgl. Abb. 14) in der Kreismitte steht.

### 7.2.3 Verhalten bei Fehlzuständen der Waage

Zeigt die Waage einen Leer-Wert zwischen 0,000 mg und 0,010 mg an, wird TARA gedrückt.

Wenn die Waage einen Leer-Wert  $< 0,000$  mg und  $> 0,010$  mg anzeigt, wird die Waage mit einem 50 mg Kalibriergewicht überprüft.

Die Messdaten werden in der Datei I:\Arbeitsgruppen\Verkehrsmessstationen\QS-Filterwägung dokumentiert.

Ablauf der Überprüfung:

1. Den Endstand der Waage notieren (Wichtig ist, ob (+) oder (-) vor dem Wert steht.).
2. Das 50 mg Kalibriergewicht mit der Pinzette auf die Waagschale legen.
3. Warten bis die Waage ein stabiles Messsignal (im Display erscheint das Einheitssymbol „mg“) erreicht.
4. Den Messwert in die Software übernehmen.
5. 50 mg Kalibriergewicht wegnehmen.
6. Wieder warten bis die Waage ein stabiles Messsignal (im Display erscheint das Einheitssymbol „mg“) erreicht.
7. Wieder Gewicht notieren, bzw. den Wert, den die Waage leer anzeigt.
8. Die Punkte 2 bis 7 ca. 8-mal wiederholen.
9. Die Waage auf Stand-By schalten und einige Minuten warten.
10. Die Waage wieder einschalten. Den angezeigten Wert notieren (sollte 0,000 mg betragen).
11. Die Punkte 2 bis 7 ca. 8-mal wiederholen.

5028				
5029	<b>31.08.2015</b>	Die Waage ging heute Mittags nicht mehr auf 0,000 mg zurück. Sie ging auf (-0.016) mg.		
5030				
5031		Uhrzeit	Gewicht (mg)	
5032		12:28	-0,014	
5033		12:29	49,985	
5034		12:29	-0,014	
5035		12:30	49,984	
5036		12:30	-0,013	
5037		12:31	49,984	
5038		12:31	-0,013	
5039		12:32	49,985	
5040		12:32	-0,014	
5041		12:32	49,984	
5042		12:33	-0,012	
5043		12:33	49,985	
5044		12:33	-0,013	
5045		12:34	Waage ausgeschaltet ( auf Stand by!)	
5046		12:43	Waage eingeschaltet	
5047		12:43	0,000	
5048		12:44	49,998	
5049		12:45	0,000	
5050		12:46	49,999	
5051		12:47	0,000	
5052		12:48	49,998	
5053		12:49	0,000	
5054		12:50	49,999	
5055		12:50	0,000	
5056		12:51	49,997	
5057		12:51	0,000	
5058		12:52	49,998	
<div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: small;"> <span>ALT1 Filter 10 x wiegen (47 mm)</span> <span>QS SE2-F (47 mm) alter Wägeraum</span> <span>QS SE2-F (47 mm) Raum 0.057</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: x-small;"> <span>Bereit</span> <span>Zirkelbezüge</span> </div>				

Abb. 19: Beispiel: Überprüfung der Waage

## 7.2.4 Überprüfung mit Kalibriergewichten

Die Waage wird zusätzlich zur Gerätwartung (vgl. Kapitel 7.2.5), die üblicherweise jährlich durchgeführt wird, zusätzlich in Abständen von 3 Monaten mit zertifizierten Kalibriergewichten im Bereich der Filtergewichte, auch bei außermittiger Belastung, überprüft. Dabei werden Kalibriergewichte von 10 mg, 100 mg, 200 mg und 1000 mg Gewicht eingesetzt.



Abb. 20: Aufbewahrungskästen der Kalibriergewichte mit aufgeklebten Zertifikaten



Abb. 21: Zertifiziertes Kalibriergewicht in Aufbewahrungskasten

Zur Überprüfung der Waage mit den zertifizierten Kalibriergewichten werden jeweils 10 Messungen pro Kalibriergewicht durchgeführt. Die Standardabweichung von 10 Wägungen darf nicht mehr als 50 µg betragen.

Die Dokumentation der Überprüfung mit den zertifizierten Kalibriergewichten erfolgt in einer Excel-Datei auf dem Laufwerk U (\\UMWELT.bayern.de\LFU) im Verzeichnis U:\LfU\Arbeitsgruppen\Verkehrsmessstationen\Waage\Waage\Waagen-kalibrieren und sonstiges\Kalibrieren der Waagen mit Gewichten\.

### **7.2.5   Gerätewartung**

Die Waage ist regelmäßig einmal jährlich von einem externen zertifizierten Servicetechniker im Rahmen eines Wartungsvertrages zu warten. Alle Arbeitsbelege und Berichte der Servicetechniker sind im Gerätebuch zur Waage abzuheften und im Wägeraum 0.057 aufzubewahren.

## **7.3       Filter**

### **7.3.1    Konditionierung der Filter**

Unbeaufschlagte und beaufschlagte Filter werden vor der Wägung im Wägeraum mindestens 48 h konditioniert.

Die unbeaufschlagten Filter können nach dem Wägen bis zu 28 Tage im Wägeraum aufbewahrt werden.

Beaufschlagte Filter sollten innerhalb von 10 Tagen nach Konditionierung zurückgewogen werden (lt. Norm ist < 1 Monat empfohlen). Sollte dies nicht möglich sein, muss dies in der jeweiligen Wägetabelle vermerkt werden.

### **7.3.2    Wiegen des Qualitätsfilters**

Aus der verwendeten Filtercharge werden einzelne Qualitätsfilter nach dem Zufallsprinzip ausgewählt.

Zu Beginn und am Ende jeden Wägetages wird 1 Qualitätsfilter 10-mal gewogen und die Standardabweichung berechnet. Diese soll bei 47 mm-Filtern weniger als 55 µg betragen.

Der Qualitätsfilter verbleibt ständig im Wägeraum und wird alle 3 Wochen durch einen neuen Qualitätsfilter ausgetauscht.

Zusätzlich wird die Waage einmal am Wägetag mit einem 100 mg Kalibriergewicht auf Genauigkeit und Drift geprüft.

Die Messdaten werden in der Datei I:\Arbeitsgruppen\Verkehrsmessstationen\QS-Filterwägung dokumentiert.

### **7.3.3    Blindfilter**

Pro Quartal werden 3 Blindwertproben (für drei zufällig ausgewählte Stationen) zusammen mit den Filtern für die Probenahme konditioniert und werden wie die nicht beaufschlagten Filter vor dem Transport gewogen. Nach den Probenahmen sind die Blindwertproben wie die beaufschlagten Filter erneut im Wägeraum zu konditionieren. Die Massendifferenz der Blindwertprobe vor und nach der Probnahmedauer ist die Masse der Blindwertprobe.

Die Messdaten werden unter dem Laufwerk - U:\Arbeitsgruppen\Staubsammler\2016\Konti 2016\Gewogen - in der für die jeweilige Station angelegten Excel-Datei im Registerblatt „Blindprobe“ dokumentiert.

### 7.3.4 Überprüfen der neuen Filtercharge

Zum Überprüfen der neuen Filtercharge werden 0,5 % - 1 % der Filter nach Konditionierung 5-mal gewogen.

Die Messdaten werden in der Datei I:\Arbeitsgruppen\Verkehrsmessstationen\QS-Filterwägung in das Arbeitsblatt „Neue Filtercharge“ dokumentiert.

## 8 Handhabung Thermo-Hygrograph

### 8.1 Thermo-Hygrograph OPUS 1

Der Thermo-Hygrograph OPUS 1 (Abb. 22) wird zur Aufzeichnung der Temperatur und Luftfeuchte im Wägeraum eingesetzt. Die Bedienungsanleitung in gedruckter Form ist in einem Ordner im Wägeraum 0.057 hinterlegt. Dieser Ordner ist mit „OPUS 1“ bezeichnet.



Abb. 22:  
Thermo-Hygrograph OPUS 1

#### 8.1.1 Dokumentation mit Thermo-Hygrograph OPUS 1

Die von den Thermo-Hygrographen aufgezeichneten Wägeraumbedingungen (Feuchte und Temperatur) werden kontinuierlich am PC ausgelesen, ausgedruckt und im Ordner „Wägeraumklima im Wägeraum“ abgeheftet.

#### 8.1.2 Auslesen und Drucken der Daten

1. Datenkabel der Waage vom Computer entfernen.
2. Datenkabel, das mit OPUS 1 beschriftet ist mit der „männlichen“ Seite in die Waagen-Buchse schieben. Die „weibliche“ Seite in die Buchse RS 232 vom OPUS 1 stecken. Das Datenkabel liegt in der mittleren Schublade neben der Waage SE-F2.
3. Pfad: (U:) \ Abt02 \ Ref24 \ Daten \ opus \ sg\_opus \ Sg\_opus.exe
4. (Doppelklick) es erscheint die Oberfläche vom OPUS 1 → Datei → Messgerät auslesen.
5. Oberfläche vom OPUS 1: → Datei → Drucken



## 8.2 Thermo-Hygrograph OPUS 20

Der Thermo-Hygrograph OPUS 20 (Abb. 23) wird zur Aufzeichnung der Temperatur und Luftfeuchte im Wägeraum eingesetzt und parallel zum OPUS 1 betrieben. Die Bedienungsanleitung in gedruckter Form ist in einem Ordner im Wägeraum 0.057 hinterlegt. Dieser Ordner ist mit „OPUS 20“ bezeichnet.



Abb. 23:  
Thermo-Hygrograph Opus 20

### 8.2.1 Auslesen und Drucken der Daten vom OPUS 20

1. Doppelklick auf den Button „SmartGraph3“
2. Links oben unter dem Schriftzug „Geräte auslesen“ doppelklicken.
3. Auf „OK“ klicken
4. Mit den „>“, „>>“ oder „>|“ rechts unten, die Graphik nach rechts scrollen, so dass man die neuesten Temperatur-/ rel. Feuchte-Verlauf sich ansehen kann.
5. Klick auf Button „Datei“ → „Drucken“
6. Es erscheint eine Druckvorschau zum Bearbeiten.
7. Zum Drucken auf den Button „Drucker“ (in der Vorschau) klicken.

### 8.2.2 Exportieren der Daten vom OPUS 20

- Maske am Gerät OPUS 20 öffnen.
- Kontrolle, ob der gesamte Zeitraum für den Export ausgewählt ist.

Der Export der Daten erfolgt in der Software nach folgendem Ablaufschema:

- Liste Daten → Export → Maske: Tage eingeben (Menü folgen) → Vorwärts  
→ (Komma), (Semikolon) → U:\ Abt02\ Ref24\ opus\opus20\...
- →Daten schreiben → Daten exportiert.

Die Daten werden in die Datei „Datensicherheit“ unter: U:\ Abt02\ Ref24\ opus\opus20\ exportiert

### 8.2.3 Updates für den OPUS 20

Alle 3 Monate gibt es von der Fa. Lufft neue Updates. Neue Updates werden von der EDV im Bayerischen Landesamt für Umwelt heruntergeladen und durchgeführt.

Zuständig dafür Referat Z5, Telefondurchwahl: 5045

## 9 Reinigungsanweisungen

### 9.1 Filterhalter

Die Filterhalter sind regelmäßig nach der Verwendung mit Ethanol zu reinigen. Zum Öffnen des Filterhalters (Trennen von Basis und Deckel) wird ein Kunststoffspatel verwendet (Abb. 24). Nach der Reinigung werden die Filterhalter mit Stickstoff abgeblasen und anschließend in Kunststoffkisten gelagert (Abb. 25).



Abb. 24: Kunststoffspatel zum Öffnen des Filterhalters



Abb. 25: Aufbewahrungsbox für Filterhalter

### 9.2 Magazin

Alle Einzelteile des Magazins (Kartusche, Deckel, Dichtungen usw.) werden mit einem feuchten Schwamm gereinigt. Bei Bedarf kann Rotisol verwendet werden. Alle Teile sind mit Papier abzutrocknen und mit Stickstoff abzublasen.

### 9.3 Diarahmenkästen

Die Reinigung der Diarahmenkästen erfolgt in der Geschirrspülmaschine nach folgender Vorgehensweise:

1. Alle Etiketten entfernen (z. B. mit einem Schaber) und klebrige Stellen mit Ethanol reinigen.
2. Die Aufbewahrungskästchen werden ohne Deckel in der Geschirrspülmaschine gereinigt.
3. Als Reinigungsmittel handelsübliche Geschirrspül – Tabs verwenden.
4. Alle Spülmaschinen-Programme sind erlaubt, außer 70°C und Gläser-Programm.
5. Nach dem Waschen in der Geschirrspülmaschine werden sie auf Papier zum Trocknen hingestellt.
6. Jedes trockene Aufbewahrungskästchen und die Deckel werden mit Stickstoff abgeblasen.

## 9.4 Wägeraum

Durch Staubaufwirbelungen und Staubsedimentationen können die Schwebstaubmassen auf den Filtern verfälscht werden. Der Wägeraum ist deshalb stets sauber zu halten. Zugluft im Bereich der abgelagerten Filter ist zu vermeiden.

## 10 Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Eingesetzte Geräte	6
Tab. 2:	Eingesetzte Chemikalien	6
Tab. 3:	Eingesetzte Hilfsmittel	7
Tab. 4:	Auflistung aller auf Streusalz im Projekt untersuchten LÜB-Messstationen bzw. Standorte.	10

## 11 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Arbeitsplatz	6
Abb. 2:	Leerfilter in Filterhalterbasis	9
Abb. 3:	Beprobter Filter in Filterhalterbasis	9
Abb. 4:	Filterhalter	9
Abb. 5:	PVC-Stab und Magazin mit Leerfiltern	11
Abb. 6:	Magazin mit Filterhaltern auf PVC-Stab	11
Abb. 7:	Transportkoffer	12
Abb. 8:	Transportkoffer mit leerem und bestücktem Magazin	12
Abb. 9:	Stick für Datenspeicherung mit Stationsbezeichnung	12
Abb. 10:	Filterwechselprotokoll	12
Abb. 11:	Probenlagerung in Diarahmenkästen	13
Abb. 12:	Regal zum Aufbewahren der Diarahmen-kästen	13
Abb. 13:	Elektronik-Einheit der Ultra-Mikrowaage SE-2F mit Anzeige- und Tastenfeld (auf der Elektronik-Einheit sind zwei PTFE-beschichtete Pinzetten in einer Petrischale zu sehen)	14
Abb. 14:	Wägezelle der Ultra -Mikrowaage SE-2F	14
Abb. 15:	Waagschale mit geöffnetem Windschutzdeckel	14
Abb. 16:	Anzeige- und Tastenfeld der Ultra-Mikrowaage SE-2F	14
Abb. 17:	Ausschnitt der Wägeliste mit markierten Buttons für die Erst- und Zweitwägung	15
Abb. 18:	Deutliche Verbesserung der ursprünglichen Korrelation (linker Bildteil) durch rechnerische Korrektur der Restabweichungen der Wägeraumbedingungen vom Bezugswert (rechter Bildteil)	17
Abb. 19:	Beispiel: Überprüfung der Waage	19
Abb. 20:	Aufbewahrungskästen der Kalibriergewichte mit aufgeklebten Zertifikaten	19
Abb. 21:	Zertifiziertes Kalibriergewicht in Aufbewahrungskasten	19

Abb. 22:	Thermo-Hygrograph OPUS 1	21
Abb. 23:	Thermo-Hygrograph Opus 20	22
Abb. 24:	Kunststoffspatel zum Öffnen des Filterhalters	23
Abb. 25:	Aufbewahrungsbox für Filterhalter	23



# **Anlage 3**

## **Berichte zur Quantifizierung des Beitrags von Streusalz zur Feinstaubbelastung (PM<sub>10</sub>) in Bayern**

**zum**

**Abschlussbericht**

**Feinstaubinhaltsstoffe: Quantifizierung der Anteile  
von Streusalz und Straßensplitt im PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Streusalzbericht 2010</b>	<b>4</b>
1.1	Zweck des Berichts	4
1.2	Kurzbeschreibung der durch Streusalz hervorgerufenen Überschreitungssituation	4
1.3	Kurzbeschreibung des verwendeten Verfahrens zur Ermittlung des Beitrages von Streusalz aus dem Winterdienst an den Feinstaubmesswerten	5
1.4	Nachweis der durch Streusalz hervorgerufenen Überschreitung des Grenzwertes für Feinstaub (PM <sub>10</sub> )	5
1.5	Schlussfolgerung	6
<b>2</b>	<b>Streusalzbericht 2011</b>	<b>7</b>
2.1	Zweck des Berichts	7
2.2	Ausnahme von der Anwendung der PM <sub>10</sub> -Grenzwerte in den Ballungszentren München und Augsburg	7
2.3	Kurzbeschreibung der durch Streusalz hervorgerufenen Überschreitungssituation im Kalenderjahr 2011	8
2.4	Kurzbeschreibung des verwendeten Verfahrens zur Ermittlung des Beitrages von Streusalz aus dem Winterdienst an den Feinstaubmesswerten	9
2.5	Nachweis der durch Streusalz hervorgerufenen Überschreitungen des Grenzwertes für Feinstaub	10
2.6	Zusammenfassung	16
<b>3</b>	<b>Streusalzbericht 2012</b>	<b>18</b>
3.1	Überblick	18
3.2	Kurzbeschreibung der Belastungssituation im Kalenderjahr 2012	18
3.3	Kurzbeschreibung des verwendeten Verfahrens zur Ermittlung des Beitrages von Streusalz aus dem Winterdienst an den Feinstaubmesswerten	19
3.4	Schlussfolgerung und Zusammenfassung	20
<b>4</b>	<b>Streusalzbericht 2013</b>	<b>21</b>
4.1	Überblick	21
4.2	Kurzbeschreibung der Belastungssituation im Kalenderjahr 2013	21
4.3	Kurzbeschreibung des verwendeten Verfahrens zur Ermittlung des Beitrages von Streusalz auf Straßen im Winterdienst an der Feinstaubbelastung	22
4.4	Schlussfolgerung und Zusammenfassung	23

---

<b>5</b>	<b>Streusalzbericht 2014</b>	<b>24</b>
5.1	Überblick	24
5.2	Kurzbeschreibung der Belastungssituation im Jahr 2014	24
5.3	Kurzbeschreibung des verwendeten Verfahrens zur Ermittlung des Beitrages von Streusalz auf Straßen im Winterdienst an der Feinstaubbelastung	25
5.4	Schlussfolgerung und Zusammenfassung	26
5.5	Anlage	27
<b>6</b>	<b>Streusalzbericht 2015</b>	<b>31</b>
6.1	Überblick	31
6.2	Kurzbeschreibung der Belastungssituation im Jahr 2015	31
6.3	Kurzbeschreibung des verwendeten Verfahrens zur Ermittlung des Beitrages von Streusalz auf Straßen im Winterdienst an der Feinstaubbelastung	32
6.4	Schlussfolgerung und Zusammenfassung	32
6.5	Anlage	34

# 1 Streusalzbericht 2010

## 1.1 Zweck des Berichts

Dieser Bericht stellt Informationen für den Nachweis zur Verfügung, dass die Überschreitung des Grenzwertes für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) an folgender Luftmessstation im Kalenderjahr 2010 auf Grund der Aufwirbelung von Partikeln nach der Ausbringung von Streusalz auf Straßen im Winterdienst erfolgte:

Burghausen / Marktler Straße, Stationscode DEBY012 im Gebiet DEZDXX0023S

Die Informationen des Berichts sind zur Anwendung des Artikels 21 der europäischen Richtlinie 2008/50/EG erforderlich. In der Bundesrepublik Deutschland wurde die Richtlinie 2008/50/EG mittels der Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV in nationales Recht umgesetzt. Entsprechend erfüllt dieser Bericht auch die Informationspflichten von § 25 der 39. BImSchV.

## 1.2 Kurzbeschreibung der durch Streusalz hervorgerufenen Überschreitungssituation

Im Kalenderjahr 2010 wurde an der Luftmessstation DEBY012 Burghausen / Marktler Straße im Gebiet DEZDXX0023S die Überschreitung des Grenzwertes für das Tagesmittel festgestellt. Der Messseinlass für Feinstaub an der Station ist ca. 30 m von der Fahrbahnkante der benachbarten Bundesstraße 20 entfernt.

Die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke beträgt gemäß dem Verkehrsmengenatlas Bayern 2005<sup>1</sup> am fraglichen Straßenabschnitt 22086 Kfz/24h mit einem Schwerlastanteil von 1619 Lkw/24h.

Die Überschreitung des Grenzwertes für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) an der genannten Messstation kann auf die Aufwirbelung von Partikeln nach der Ausbringung von Streusalz auf Straßen im Winterdienst zurückgeführt werden. Dies wurde im Formular 24a zur Beurteilung der Luftqualität im Jahr 2010 an die EU gemeldet (Auszug vgl. Tab. 1).

Tab. 1: Auszug aus Formular 24a zur Beurteilung der Luftqualität im Jahr 2010

Zone	<i>EoI station code</i>	<i>Number of exceedences measured</i>	<i>Estimated number of exceedences after subtraction of winter sanding contribution</i>	Reference to justification
DEZDXX0023S	DEBY012	36	35	Bericht über die Quantifizierung von Streusalzbeiträgen, die zu Überschreitungen von Immissionsgrenzwerten für Feinstaub (PM <sub>10</sub> ) im Kalenderjahr 2010 führten

<sup>1</sup> Straßenverkehrszählung 2005, Verkehrsmengen-Atlas Bayern, Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, Abteilung Straßen- und Brückenbau, München, 2007



### 1.3 Kurzbeschreibung des verwendeten Verfahrens zur Ermittlung des Beitrages von Streusalz aus dem Winterdienst an den Feinstaubmesswerten

Der durch Streusalz auf Straßen verursachte Anteil an der Feinstaubkonzentration wurde analog zu dem im Abschnitt 4.2 des Dokuments „*Guidance on assessing the contribution of winter-sanding and salting under the EU Air Quality Directive, Draft, European Commission, DG Environment, July 2009*“, vorgeschlagenem Verfahren ermittelt.

Hierzu erfolgte eine quantitative chemische Analyse des auf dem Filterband des Feinstaubmessgerätes abgelagerten Staubes auf Chloridionen. Da an der fraglichen Messstation keine weitere Quelle für Chloridanteile im Feinstaub besteht, kann davon ausgegangen werden, dass die ermittelte Chloridkonzentration auf dem Filterband aus dem Eintrag von Natriumchlorid stammt. Anhand der Atomgewichte von Natrium und Chlorid kann aus der Chloridkonzentration die Konzentration von Natriumchlorid errechnet werden.

Um sicherzustellen, dass die errechnete Streusalzkonzentration aus dem Einsatz des winterlichen Streudienstes für Straßen herrührt, wurden ergänzende Informationen aus dem Streudienst ermittelt.

### 1.4 Nachweis der durch Streusalz hervorgerufenen Überschreitung des Grenzwertes für Feinstaub (PM<sub>10</sub>)

Tab. 2 zeigt die Ergebnisse der Streusalzanalysen an der Station DEBY012 Burghausen / Marktler Straße.

Spalte (1): Datum zu Tagen mit Überschreitung des Tagesmittelwertes von 50 µg/m<sup>3</sup>

Spalte (2): Tagesmittelwerte der Feinstaubkonzentration (PM<sub>10</sub>) aus Stationsmesswerten

Spalte (3): Chloridkonzentration aus der chemischen Analyse des Filterbandes

Spalte (4): Aus der Chloridkonzentration berechnete Konzentration von Natriumchlorid

Spalte (5): Einsatzhäufigkeit des Streudienstes am jeweiligen Tag

Spalte (6): Tagesmittelwert der Feinstaubkonzentration (PM<sub>10</sub>) nach Abzug der jeweiligen Konzentration von Natriumchlorid (Streusalz)

Tab. 2: Ergebnisse der Streusalzanalyse an der Station DEBY012

(1) Datum	(2) Tages- mittelwert [µg/m <sup>3</sup> ]	(3) Chlorid [µg/m <sup>3</sup> ]	(4) NaCl berechnet aus Chlorid [µg/m <sup>3</sup> ]	(5) Streudienst Einsatzhäufig- keit	(6) Tagesmittelwert ohne NaCl-Anteil [µg/m <sup>3</sup> ]
01.01.2010	95,8	4,53	n.b.	1	
07.01.2010	63,4	0,865	1,4		62,0
08.01.2010	53,5	0,402	0,7	1	
09.01.2010	54,6	0,894	1,5	1	53,1
10.01.2010	68,0	<0.3		1	
12.01.2010	58,2	0,832	1,4	4	56,8
23.01.2010	56,7	0,387	0,6		

(1) Datum	(2) Tages- mittelwert [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(3) Chlorid [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(4) NaCl berechnet aus Chlorid [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(5) Streudienst Einsatzhäufig- keit	(6) Tagesmittelwert ohne NaCl-Anteil [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
24.01.2010	74,6	1,01	1,7		72,9
25.01.2010	73,8	0,964	1,6		72,2
26.01.2010	68,5	0,454	0,7	5	
27.01.2010	61,7	0,623	1,0		60,7
05.02.2010	52,7	0,315	0,5		
07.02.2010	56,9	<0.3		1	
08.02.2010	55,5	0,782	1,3		54,2
10.02.2010	53,5	<0.3		3	
11.02.2010	66,7	<0.3		5	
12.02.2010	80,5	0,312	0,5	3	
13.02.2010	65,7	<0.3		1	
14.02.2010	56,1	<0.3			
16.02.2010	54,8	0,718	1,2		53,6
17.02.2010	81,1	0,628	1,0		80,1
18.02.2010	111,4	<0.3		1	
19.02.2010	52,0	<0.3			
12.03.2010	67,7	<0.3		2	
13.10.2010	56,9				
14.10.2010	65,6				
15.10.2010	66,6				
02.11.2010	58,3	<0.3			
03.12.2010	53,9	0,417	0,7		
05.12.2010	51,9	0,622	1,0		50,9
06.12.2010	51,1	0,805	1,3	4	49,8
07.12.2010	54,4	0,934	1,5	3	52,9
08.12.2010	55,7	1,16	1,9	1	53,8
29.12.2010	57,6	1,85	3,0		54,6
30.12.2010	79,1	2,47	4,1	2	75,0
31.12.2010	68,9	0,968	1,6		67,3

Am 06.12.2010 wird durch Abzug der Konzentration von Natriumchlorid (Streusalz) vom Tagesmittelwert der Feinstaubkonzentration ( $\text{PM}_{10}$ ) aus den Stationsmesswerten ein Tagesmittelwert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  erreicht. Damit liegt an diesem Tag keine Überschreitung des Grenzwertes vor.

Nach Auskunft des Staatlichen Bauamtes Traunstein war der Streudienst am 06.12.2010 insgesamt viermal auf der anliegenden Bundesstraße 20 (Marktler Straße) im Einsatz. Da als Streumittel zu 100 % Natriumchlorid verwendet wurde, ist der Winterdienst als sichere Ursache für den Natriumchloridanteil im Feinstaub zu bewerten.

## 1.5 Schlussfolgerung

Die Anzahl der Tage mit Überschreitung des Tagesmittelwertes über  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  errechnet sich nach Abzug des Beitrages aus der Aufwirbelung von Streusalzpartikeln aus dem Winterdienst an der Station DEBY012 Burghausen / Marktler Straße zu 35.

## 2 Streusalzbericht 2011

### 2.1 Zweck des Berichts

Dieser Bericht stellt Informationen zum Beitrag von Streusalz aus dem Winterdienst zur Feinstaubbelastung (PM<sub>10</sub>) im Kalenderjahr 2011 an folgenden Luftmessstationen zur Verfügung:

- München/ Landshuter Allee, Stationscode DEBY115 im Gebiet DEZDXX0001A
- München/ Stachus, Stationscode DEBY037 im Gebiet DEZDXX0001A
- Augsburg/ Königsplatz, Stationscode DEBY006 im Gebiet DEZDXX0002A
- Augsburg/ Karlstraße, Stationscode DEBY110 im Gebiet DEZDXX0002A
- Würzburg/ Stadtring Süd, Stationscode DEBY119 im Gebiet DEZDXX0026S.

Alle genannten Luftmessstationen sind verkehrsnah an vielbefahrenen Straßen aufgestellt (städtisches Gebiet, verkehrsnah (ST-VK) gemäß Eol-Richtlinie 2001/752/EC).

Die Informationen des Berichts sind zur Anwendung des Artikels 21 der europäischen Richtlinie 2008/50/EG erforderlich. In der Bundesrepublik Deutschland wurde die Richtlinie 2008/50/EG mittels der Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV –, vom 02.08.2010 (BGBl. I S. 1065), in nationales Recht umgesetzt. Entsprechend erfüllt dieser Bericht auch die Informationspflichten von § 25 der 39. BImSchV sowie die Berichterstattungspflichten gemäß der Entscheidung der Kommission der Europäischen Gemeinschaft vom 2.7.2009 über die von Deutschland eingereichte Mitteilung einer Ausnahme von der vorgeschriebenen Anwendung der PM<sub>10</sub>-Grenzwerte.

### 2.2 Ausnahme von der Anwendung der PM<sub>10</sub>-Grenzwerte in den Ballungszentren München und Augsburg

Gestützt auf die Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Luftqualität und saubere Luft für Europa vom 21.05.2008, insbesondere auf Artikel 22 Absatz 4, wurde für die Gebiete DEZDXX0001A (Ballungsraum München) und DEZDXX0002A (Ballungsraum Augsburg) eine Ausnahme von der vorgeschriebenen Anwendung der PM<sub>10</sub>-Grenzwerte erwirkt. Daher gilt bis einschließlich 09.06.2011 für diese Gebiete der Tagesgrenzwert für PM<sub>10</sub> zuzüglich einer Toleranzmarge von 50%. Somit beträgt in diesem Zeitraum der Grenzwert für das Tagesmittel 75 µg/m<sup>3</sup>. Ab dem 10.06.2011 sind die in der 39. BImSchV festgelegten Grenzwerte ohne Toleranzmarge gültig (50 µg/m<sup>3</sup>). Der Grenzwert für das Tagesmittel darf an 35 Tagen im Kalenderjahr überschritten werden. Für Würzburg wurde die Ausnahme von der Anwendung der PM<sub>10</sub>-Grenzwerte nicht beantragt, hier kommen im gesamten Kalenderjahr 2011 die gemäß der Richtlinie 2008/50/EG gültigen Grenzwerte ohne Toleranzmarge zur Anwendung.

Zur Beurteilung, ob der Tagesgrenzwert in den Ballungsräumen München und Augsburg auch nach dem Ausnahmezeitraum noch überschritten wird, erfolgt in diesem Bericht zudem eine Beschreibung der Überschreitungssituation unter Anwendung der in der Richtlinie 2008/50/EG genannten Grenzwerte ohne Toleranzmarge für das gesamte Jahr 2011.

## **2.3 Kurzbeschreibung der durch Streusalz hervorgerufenen Überschreitungssituation im Kalenderjahr 2011**

### **2.3.1 Beschreibung der Situation unter Anwendung der gültigen Grenzwerte (mit Ausnahmeregelung)**

Im Kalenderjahr 2011 wurde die Überschreitung des Immissionsgrenzwertes für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) an der Luftmessstation Würzburg / Stadtring Süd, Stationscode DEBY119 festgestellt. Der über den Tag gemittelte Immissionsgrenzwert für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) von 50 µg/m<sup>3</sup> wurde an 36 Tagen überschritten, erlaubt sind 35 Überschreitungstage. Die Überschreitung des Grenzwertes kann an keinem der Überschreitungstage auf die Verwendung von Streusalz im Winterdienst zurückgeführt werden<sup>2</sup>. Die Station ist verkehrsnah an der Bundesstraße 19, dem Stadtring Süd, aufgestellt.

In den Ballungsräumen München und Augsburg gilt aufgrund der Ausnahme von der Anwendung der PM<sub>10</sub>-Grenzwerte bis einschließlich 09.06.2011 der Grenzwert für das Tagesmittel zuzüglich Toleranzmarge. Unter Anwendung der durch diese Ausnahme gültigen Grenzwerte werden im Kalenderjahr 2011 an allen Messstationen die Immissionsgrenzwerte für Feinstaub PM<sub>10</sub> eingehalten.

Im Einzelnen wurden an der Messstation München/ Landshuter Allee 17 Überschreitungstage für den Tagesmittelwert festgestellt, wovon 4 auf die Aufwirbelung von Partikeln nach Ausbringung von Streusalz auf Straßen im Winterdienst zurückzuführen sind.

An der Messstation München / Stachus wurden 9 Überschreitungstage für den Tagesmittelwert festgestellt, wovon einer auf die Aufwirbelung von Partikeln nach Ausbringung von Streusalz auf Straßen im Winterdienst zurückzuführen ist. Die Station ist unmittelbar an der Sonnenstraße aufgestellt.

An der Messstation Augsburg/ Königsplatz wurden 11 Überschreitungstage für den Tagesmittelwert festgestellt, wovon keiner auf die Aufwirbelung von Partikeln nach Ausbringung von Streusalz auf Straßen im Winterdienst zurückzuführen ist.

An der Messstation Augsburg/ Karlstrasse wurden 10 Überschreitungstage für den Tagesmittelwert festgestellt, wovon 3 auf die Aufwirbelung von Partikeln nach Ausbringung von Streusalz auf Straßen im Winterdienst zurückzuführen sind.

### **2.3.2 Beschreibung der Situation in den Ballungszentren München und Augsburg ohne Berücksichtigung der Ausnahme**

Wird die Überschreitungssituation in den Ballungszentren München und Augsburg unter der Annahme betrachtet, dass im gesamten Kalenderjahr 2011 die PM<sub>10</sub>-Grenzwerte ohne Toleranzmarge anzuwenden wären, ergibt sich folgende Situation.

An der Messstation München/ Landshuter Allee lag der über den Tag gemittelte Immissionswert für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) an 48 Tagen höher als 50 µg/m<sup>3</sup>. Nach Abzug des Streusalzgehaltes in PM<sub>10</sub> wird der Wert von 50 µg/m<sup>3</sup> an 43 Tagen überschritten.

An der Messstation München/ Stachus wurde an 35 Tagen ein PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwert höher als 50 µg/m<sup>3</sup> festgestellt. Damit ist der Immissionsgrenzwert für den Tagesmittelwert eingehalten. Nach Abzug des Streusalzgehaltes in PM<sub>10</sub> wird der Wert von 50 µg/m<sup>3</sup> an 32 Tagen überschritten.

---

<sup>2</sup> Die Überschreitung der Grenzwerte wird im „Bericht zur Überschreitung des Immissionsgrenzwertes für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) an der Station Würzburg/ Stadtring Süd im Kalenderjahr 2011“ genauer erläutert. Als Ursachen für die Überschreitung spielen insbesondere meteorologische Bedingungen im Jahr 2011 eine Rolle.

An der Messstation Augsburg/ Königsplatz wurde an 38 Tagen ein PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwert höher als 50 µg/m<sup>3</sup> festgestellt. Der Tagesmittelwert fällt an keinem der Überschreitungstage unter 50 µg/m<sup>3</sup>, nachdem der Anteil von Streusalz aus Winterdienst abgezogen wurde.

An der Messstation Augsburg/ Karlstraße wurde an 35 Tagen ein Tagesmittelwert von 50 µg/m<sup>3</sup> überschritten. Damit ist der Immissionsgrenzwert für den Tagesmittelwert eingehalten. Nach Abzug der PM<sub>10</sub>-Partikelmengen des Tagesmittelwertes, die auf eine Aufwirbelung von Partikeln nach der Ausbringung von Streusalz zurückzuführen sind, reduzieren sich die Überschreitungstage auf 33.

Tab. 3: Anzahl der Überschreitungen der Tagesmittelwerte für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) im Kalenderjahr 2011 sowie Anzahl der Überschreitungstage abzüglich des Beitrages von Streusalz. Für die Ballungsräume München und Augsburg ist die Anzahl der Überschreitungstage sowohl für den tatsächlich gültigen Tagesmittelgrenzwert (75 µg/m<sup>3</sup> bis zum 9.6.2011, danach 50 µg/m<sup>3</sup>) als auch für einen Grenzwert von 50 µg/m<sup>3</sup> (ganzjährig) aufgelistet.

Messstation	Anzahl Überschreitungstage		Anzahl Überschreitungstage ohne Streusalzanteil	
	über 75 µg/m <sup>3</sup> bis zum 9.6.11, danach 50 µg/m <sup>3</sup>	über 50 µg/m <sup>3</sup>	über 75 µg/m <sup>3</sup> bis zum 9.6.11, danach 50 µg/m <sup>3</sup>	über 50 µg/m <sup>3</sup>
München/ Landshuter Allee	17	48	13	43
München/ Stachus	9	35	8	32
Augsburg/ Königsplatz	11	38	11	38
Augsburg/ Karlstraße	10	35	7	33
Würzburg/ Stadtring Süd	-	36	-	35

## 2.4 Kurzbeschreibung des verwendeten Verfahrens zur Ermittlung des Beitrages von Streusalz aus dem Winterdienst an den Feinstaubmesswerten

Der durch Streusalz auf Straßen verursachte Anteil an der Feinstaubkonzentration wurde analog zu dem im Abschnitt 4.2 des EU-Leitfadens "SEC(2011) 207 final: Establishing guidelines for determination of contributions from the re-suspension of particulates following winter sanding or salting of roads under the Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe", vom 15.02.2011, vorgeschlagenen Verfahren ermittelt.

Hierzu erfolgte an den genannten Luftmessstationen eine Probennahme von Feinstaub (PM<sub>10</sub>) auf Tagesfiltern mittels Referenzmessmethode gemäß DIN EN 12341. Die einzelnen Filter mit den Feinstaubproben wurden einer quantitativen chemischen Analyse des abgelagerten Staubes auf Chloridionen unterzogen. Da an den betreffenden Messstationen keine weiteren Quellen für Chloridanteile im Feinstaub in Frage kommen, wird davon ausgegangen, dass die ermittelte Chloridionenkonzentration auf dem Filtermaterial aus dem Streusalz-Eintrag von Natriumchlorid stammt. Anhand der Atomgewichte von Natrium und Chlorid wird aus der Chloridionenkonzentration die Konzentration von Natriumchlorid errechnet.

In einer weiteren chemischen Analyse wurden die Tagesfilter quantitativ auch auf Natriumionen untersucht. Damit lässt sich die Natriumchloridkonzentration direkt aus der Summe der Chlorid- und der Natriumkonzentration bestimmen. Dies stellt eine zusätzliche qualitätssichernde Maßnahme dar. Passen hierbei die jeweiligen Konzentrationen der Ionen innerhalb der Unsicherheitsbandbreite nicht zusammen, werden die Analysenwerte nicht berücksichtigt.

Um sicherzustellen, dass die ermittelte Streusalzkonzentration aus dem Einsatz des winterlichen Streudienstes für Straßen und Gehwege stammt, wurden ergänzende Informationen aus dem Streudienst verwendet.

## **2.5 Nachweis der durch Streusalz hervorgerufenen Überschreitungen des Grenzwertes für Feinstaub**

Die Ergebnisse der Streusalzanalysen an den betreffenden Stationen sind im Folgenden in Tab. 4, Tab. 5, Tab. 6, Tab. 7 und Tab. 8 aufgeführt. Berücksichtigt sind nur Tage mit einem Mittelwert  $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Die Analytik auf Streusalz erfolgte vom 01.01. bis 31.03. sowie vom 01.11. bis 31.12.2011.

- Spalte (1): Datum zu Tagen mit Überschreitung des Tagesmittelwertes (TMW) von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- Spalte (2): Tag bzw. Zeitraum der Salzstreuung vor dem bzw. am Überschreitungstag
- Spalte (3): Tagesmittelwert der Feinstaubkonzentration ( $\text{PM}_{10}$ ) aus Stationsmesswerten. Für die Messstationen in Augsburg und München sind Messwerte über  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  grau hervorgehoben
- Spalte (4): Natriumchloridkonzentration errechnet aus der Chloridkonzentration.
- Spalte (5): Natriumchloridkonzentration errechnet aus der Summe der Natrium- und Chloridkonzentration.
- Spalte (6): Tagesmittelwert (TMW) der Feinstaubkonzentration ( $\text{PM}_{10}$ ) nach Abzug der Konzentration von Natriumchlorid aus Spalte (5) ggf. aus Spalte (4). Für die Messstationen in Augsburg und München sind Messwerte über  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  grau hervorgehoben.

Tab. 4: München/ Landshuter Allee

(1) Datum	(2) Salzstreuung	(3) TMW [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(4) NaCl aus $\text{Cl}^-$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(5) NaCl aus $\text{Na}^+$ und $\text{Cl}^-$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(6) TMW ohne NaCl-Anteil [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
01.01.11	tägl. ab 01.01.	71			71
04.01.11	tägl. ab 01.01.	59	22	22	37
05.01.11	tägl. ab 01.01.	106	37	35	71
06.01.11	tägl. 01.01.-06.01	51	16	16	35
09.01.11	-	59	6	6	53
17.01.11	-	90	1	1	89
18.01.11	-	73	2	2	71
29.01.11	tägl. ab 20.01.	61	4	4	57
30.01.11	tägl. ab 20.01.	65	3	3	62
31.01.11	tägl. ab 20.01.	70	1	1	69
01.02.11	tägl. ab 20.01.	84	10	10	74
02.02.11	tägl. ab 20.01.	106	22	22	84
03.02.11	tägl. ab 20.01.	123	37	36	87
06.02.11	tägl. 20.01.-04.02	60	11	11	49
07.02.11	tägl. 20.01.-04.02	137	12	12	125
08.02.11	-	80	7	6	74
09.02.11	-	53	6	6	47
10.02.11	-	98	12	12	86
11.02.11	-	57	10	10	47
16.02.11	-	52	0	1	51
17.02.11	-	73	3	3	70
21.02.11	tägl. ab 21.02.	55	3	3	52
22.02.11	tägl. ab 21.02.	85	17	17	68
23.02.11	tägl. ab 21.02.	107	13	13	94
24.02.11	tägl. 21.02.-24.02	66	9	9	57
25.02.11	tägl. 21.02.-24.02	69	6	6	63
01.03.11	-	78	0	1	77
04.03.11	-	85	1	1	84
05.03.11	tägl. 05.03.-06.03	87	2	2	85
09.03.11	tägl. 05.03.-06.04	67	2	2	65
10.03.11	-	57	2	2	55
11.03.11	-	54	2	2	52
23.03.11	-	56	0	0	56
24.03.11	-	72	0	0	72
25.03.11	-	57	0	0	57
29.03.11	-	53	0	0	53
11.04.11	-	58			58
19.04.11	-	54			54
20.04.11	-	66			66

(1) Datum	(2) Salzstreuung	(3) TMW [µg/m <sup>3</sup> ]	(4) NaCl aus Cl <sup>-</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]	(5) NaCl aus Na <sup>+</sup> und Cl <sup>-</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]	(6) TMW ohne NaCl-Anteil [µg/m <sup>3</sup> ]
21.04.11	-	56			56
10.05.11	-	53			53
11.05.11	-	59			59
12.05.11	-	52			52
26.05.11	-	54			54
22.08.11	-	54			54
23.08.11	-	65			65
24.08.11	-	55			55
16.11.11	-	72	0	0	72

Tab. 5: München/Stachus

(1) Datum	(2) Salzstreuung*	(3) TMW [µg/m <sup>3</sup> ]	(4) NaCl aus Cl <sup>-</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]	(5) NaCl aus Na <sup>+</sup> und Cl <sup>-</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]	(6) TMW ohne NaCl-Anteil [µg/m <sup>3</sup> ]
05.01.11	tägl. 01.01.-06.01	60	12	13	47
17.01.11	-	59	0	0	59
29.01.11	tägl. ab 21.01	57	3	3	54
30.01.11	tägl. ab 21.01	74	3	3	71
31.01.11	tägl. ab 21.01	63	0	0	63
01.02.11	tägl. ab 21.01	58	0	0	58
02.02.11	tägl. ab 21.01	77	8	8	69
03.02.11	tägl. 21.01 - 04.02	65	13	13	52
07.02.11	-	75	7	7	68
08.02.11	-	53	4	4	49
09.02.11	-	54	2	2	52
10.02.11	-	74	7	6	68
16.02.11	-	60	0	0	60
17.02.11	-	63	1	1	62
20.02.11	-	53	0	0	53
22.02.11	tägl. ab 21.02	64	7	7	57
23.02.11	tägl. ab 21.02	89	5	5	84
02.03.11	tägl. 21.02 -27.02	51	0	0	51
04.03.11		73	0	1	72
05.03.11	05.03	85	1	1	84
06.03.11	06.03	53	2	2	51
09.03.11		60	1	0	60
10.03.11		52	2	2	50



(1) Datum	(2) Salzstreuung*	(3) TMW [µg/m <sup>3</sup> ]	(4) NaCl aus Cl <sup>-</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]	(5) NaCl aus Na <sup>+</sup> und Cl <sup>-</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]	(6) TMW ohne NaCl-Anteil [µg/m <sup>3</sup> ]
12.03.11		52	0	0	52
23.03.11		51	0	0	51
24.03.11		53	0	0	53
20.04.11		52			52
21.04.11		52			52
27.04.11		51			51
23.08.11		51			51
24.08.11		51			51
27.09.11		54			54
28.09.11		56			56
08.11.11		52	0	0	52
16.11.11		79	0	0	79
*Salzstreuung an der Sonnenstraße					

Tab. 6: Augsburg/ Königsplatz

(1) Datum	(2) Salzstreuung	(3) TMW [µg/m <sup>3</sup> ]	(4) NaCl aus Cl <sup>-</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]	(5) NaCl aus Na <sup>+</sup> und Cl <sup>-</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]	(6) TMW ohne NaCl-Anteil [µg/m <sup>3</sup> ]
05.01.11	02.01.11	61	3	3	58
17.01.11	06.01.11	55	0	0	55
29.01.11	25.01.11	54	0	0	54
30.01.11		77	0	0	77
31.01.11		68	0	0	68
01.02.11		59	0	0	59
02.02.11		68	0	0	68
03.02.11		64	4	4	60
07.02.11		66	12	12	54
09.02.11		52	0	0	52
10.02.11		72	9	9	63
16.02.11		56	0	0	56
17.02.11		69	0	0	69
18.02.11		52	0	0	52
20.02.11		56	0	0	56
22.02.11	21.02.11	66	8	8	58
23.02.11		93	7	7	86
24.02.11		69	8	8	61
25.02.11		75	7	7	68
01.03.11		71	0	0	71

(1) Datum	(2) Salzstreuung	(3) TMW [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(4) NaCl aus $\text{Cl}^-$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(5) NaCl aus $\text{Na}^+$ und $\text{Cl}^-$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(6) TMW ohne NaCl-Anteil [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
04.03.11		75	0	0	75
05.03.11		82	1	1	81
09.03.11		52	1	0	52
12.03.11		58	1	2	56
13.03.11		75	1	1	74
23.03.11		60	0	0	60
24.03.11		64	0	0	64
25.03.11		56	0	0	56
29.03.11		53	0	0	53
11.04.11		55			55
23.08.11		56			56
27.09.11		54			54
28.09.11		52			52
07.11.11		54	0	0	54
15.11.11		52	0	0	52
16.11.11		76	0	0	76
21.11.11		53	0	0	53
22.11.11		71	0	0	71

Tab. 7: Augsburg/ Karlstraße

(1) Datum	(2) Salzstreuung	(3) TMW [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(4) NaCl aus $\text{Cl}^-$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(5) NaCl aus $\text{Na}^+$ und $\text{Cl}^-$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(6) TMW ohne NaCl-Anteil [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
05.01.11	01./ 02.01.2011	60	6	6	54
17.01.11	06.01.11	53	0	0	53
28.01.11	24./ 25.01.2011	53	1	1	52
29.01.11		56	1	1	55
30.01.11		74	1	1	73
31.01.11		69	0	0	69
01.02.11		51	0	0	51
02.02.11		53	0	0	53
06.02.11		51	0	0	51
07.02.11		68	12	12	56
08.02.11		61	9	9	52
09.02.11		51	3	3	48
16.02.11		55	0	0	55
17.02.11		80	1	2	78
20.02.11		52	0	0	52
22.02.11	21.02.11	86	16	15	71

(1) Datum	(2) Salzstreuung	(3) TMW [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(4) NaCl aus $\text{Cl}^-$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(5) NaCl aus $\text{Na}^+$ und $\text{Cl}^-$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(6) TMW ohne NaCl-Anteil [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
23.02.11		96	11	11	85
24.02.11		63	7	7	56
25.02.11		85	13	13	72
28.02.11		61	2	2	59
01.03.11		74	1	1	73
04.03.11		76	1	1	75
05.03.11		84	1	1	83
12.03.11		56	1	1	55
13.03.11		70	1	1	69
16.03.11		51	1	1	50
22.03.11		53	0	0	53
23.03.11		70	0	0	70
24.03.11		73	0	0	73
20.04.11		52			52
21.04.11		55			55
27.09.11		52			52
01.10.11		54			54
16.11.11		71	0	0	71
22.11.11		68	0	0	68

Tab. 8: Würzburg/ Stadtring Süd

(1) Datum	(2) Salzstreuung	(3) TMW [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(4) NaCl aus $\text{Cl}^-$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(5) NaCl aus $\text{Na}^+$ und $\text{Cl}^-$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(6) TMW ohne NaCl-Anteil [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
01.01.11		53	0	0	53
29.01.11	17.01/ 20.01	53	2	2	51
30.01.11		59	0	1	58
31.01.11		72	1	0	72
01.02.11		69	1	0	69
02.02.11	02.02	66	1	2	64
17.02.11		58	0	0	58
18.02.11		77	1	1	76
19.02.11		65	0	0	65
22.02.11		52	0	0	52
23.02.11		66	0	0	66
24.02.11		73	0	0	73
25.02.11		66	0	0	66
01.03.11		54	0	0	54
04.03.11		53	0	0	53

(1) Datum	(2) Salzstreuung	(3) TMW [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(4) NaCl aus $\text{Cl}^-$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(5) NaCl aus $\text{Na}^+$ und $\text{Cl}^-$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(6) TMW ohne NaCl-Anteil [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
16.03.11		69	1	1	68
17.03.11		56	0	0	56
22.03.11		51	0	0	51
23.03.11		51	0	0	51
28.03.11		54	0	0	54
29.03.11		53	0	0	53
30.03.11		54	0	0	54
21.04.11		52	0	0	52
29.10.11		55	0	0	55
30.10.11		54	0	0	54
07.11.11		61	0	0	61
08.11.11		61	0	0	61
09.11.11		57	0	0	57
13.11.11		54	0	0	54
14.11.11		71	0	0	71
15.11.11		73	0	0	73
16.11.11		77	0	0	77
17.11.11		63	0	0	63
18.11.11		67	0	0	67
22.11.11		62	0	0	62
30.11.11		59		1	58

## 2.6 Zusammenfassung

Gemäß § 27 der Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV ist die Erstellung eines Luftreinhalteplans nicht erforderlich, sofern die Überschreitung von Grenzwerten für Feinstaub ( $\text{PM}_{10}$ ) auf die Ausbringung von Streusand oder -salz im Winterdienst zurückzuführen sind. Daher wurde der durch Streusalz verursachte Anteil an der Feinstaubkonzentration  $\text{PM}_{10}$  ermittelt.

Für die Station Augsburg/ Karlstrasse kann an zwei Tagen, für die Station München/ Stachus kann an drei Tagen und für die Station München/ Landshuter Allee kann an 5 Tagen eine Überschreitung des Tagesmittelwertes von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  auf die Aufwirbelung von Streusalzpartikeln aus dem Winterdienst zurückgeführt werden.

Für die Station Würzburg/ Stadtring Süd und die Station Augsburg/ Königsplatz kann an keinem Tag die Überschreitung des Tagesmittelwertes über  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  auf die Aufwirbelung von Streusalzpartikeln aus dem Winterdienst zurückgeführt werden. Die Überschreitung des Immissionsgrenzwertes für Feinstaub an der Station Würzburg/ Stadtring Süd wird in einem gesonderten Bericht erläutert („Bericht zur Überschreitung des Immissionsgrenzwertes für Feinstaub ( $\text{PM}_{10}$ ) an der Station Würzburg/ Stadtring Süd im Kalenderjahr 2011“).

Weiterhin wurde im Kalenderjahr 2011 an 3 Luftmessstationen (München/ Landshuter Allee, Augsburg/ Königsplatz und Würzburg/ Stadtring Süd) ein PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwert von 50 µg/m<sup>3</sup> an mehr als 35 Tagen im Jahr überschritten. An keiner dieser Stationen reduzierte sich die Anzahl der Überschreitungstage auf weniger als 36 Tage im Jahr, nachdem der Beitrag der Streusalzpartikel aus dem Winterdienst abgezogen worden ist.

Aufgrund der Ausnahme von der Anwendung der PM<sub>10</sub>-Grenzwerte war bis einschließlich 09.06.2011 für die Ballungsräume München und Augsburg ein Grenzwert von 75 µg/m<sup>3</sup> für das PM<sub>10</sub>-Tagesmittel gültig. Damit wurde dort im Kalenderjahr 2011 der Tagesmittelgrenzwert für Feinstaub PM<sub>10</sub> eingehalten.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass im Jahr 2011 der durch Streusalz verursachte Anteil an der Feinstaubkonzentration PM<sub>10</sub> an einzelnen Tagen zur Überschreitung des Tagesmittelgrenzwertes beigetragen hat.

## 3 Streusalzbericht 2012

### 3.1 Überblick

Dieser Bericht stellt Informationen zum Beitrag von Streusalz aus dem Winterdienst zur Feinstaubbelastung (PM<sub>10</sub>) im Kalenderjahr 2012 zur Verfügung. Die Informationen des Berichts sind zur Anwendung des Artikels 21 der europäischen Richtlinie 2008/50/EG erforderlich. In der Bundesrepublik Deutschland wurde die Richtlinie 2008/50/EG mittels der Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV – in nationales Recht umgesetzt. Entsprechend erfüllt dieser Bericht auch die Informationspflichten von § 25 der 39. BImSchV.

### 3.2 Kurzbeschreibung der Belastungssituation im Kalenderjahr 2012

#### 3.2.1 Belastungssituation aufgrund der Ausbringung von Streusalz auf Straßen im Winterdienst

Im Jahr 2012 wurde an **allen** Luftmessstationen des LÜB der Immissionsgrenzwert für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) für den Jahresmittelwert von 40 µg/m<sup>3</sup> eingehalten. Die zulässige Anzahl von 35 Überschreitungstagen des über den Tag gemittelten Immissionsgrenzwertes für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) von 50 µg/m<sup>3</sup> wurde ebenfalls an **allen** Stationen eingehalten. An neun Messstationen konnten Überschreitungen für den Tagesmittelwert für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) von 50 µg/m<sup>3</sup> an einzelnen Tagen auf die Aufwirbelung von Partikeln aufgrund der Ausbringung von Streusalz auf Straßen im Winterdienst zurückgeführt werden. Die jeweilige Anzahl der Tage mit Mittelwerten größer als 50 µg/m<sup>3</sup> vor und nach Abzug des Streusalzanteils, sowie die Minderung (Anzahl der Überschreitungstage aufgrund von Streusalz) aus dem Winterdienst sind in Tab. 9 aufgeführt.

Tab. 9: Anzahl der Tage mit Überschreitung des Immissionsgrenzwertes für das Tagesmittel (TMW) für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) von 50 µg/m<sup>3</sup> vor und nach Abzug des Streusalzanteils für das Kalenderjahr 2012, sowie die Minderung (Anzahl der Überschreitungstage aufgrund von Streusalz). Eine Überschreitung der zulässigen Anzahl von 35 Überschreitungstagen wurde an keiner Station festgestellt.

Messstation	Anzahl Überschreitungstage (TMW > 50 µg/m <sup>3</sup> )	Anzahl Überschreitungstage abzüglich Streusalzanteil (TMW > 50 µg/m <sup>3</sup> )	Minderung: Anzahl Überschreitungstage durch Streusalz (TMW > 50 µg/m <sup>3</sup> )
München/ Landshuter Allee EU-Stationscode DEBY115	27	17	10
München/ Stachus EU-Stationscode DEBY037	14	11	3
Augsburg/ Königsplatz EU-Stationscode DEBY006	22	21	1
Augsburg/ Karlstr. EU-Stationscode DEBY110	21	18	3
Würzburg/ Stadtring Süd EU-Stationscode DEBY119	19	17	2
Nürnberg/ Von-der-Tann-Str. EU-Stationscode DEBY120	17	15	2
Regensburg/ Rathaus EU-Stationscode DEBY063	18	15	3
Passau/ Stelzhamerstr.	12	11	1

Messstation	Anzahl Überschreitungstage (TMW > 50 µg/m <sup>3</sup> )	Anzahl Überschreitungstage abzüglich Streusalzanteil (TMW > 50 µg/m <sup>3</sup> )	Minderung: Anzahl Überschreitungstage durch Streusalz (TMW > 50 µg/m <sup>3</sup> )
EU-Stationscode DEBY118 Kelheim/ Regensburgerstr. EU-Stationscode BEDY028	11	8	3

Mit Ausnahme der Messstation Passau sind die o.g. Messstationen als verkehrsorientiert eingestuft (städtisch, Verkehr); die Abstände der genannten Messstationen zur nächsten Hauptverkehrsstraße betragen weniger als 10 m. Die Messstationen Passau ist als städtische Hintergrundstation eingestuft (städtisch, Hintergrund). Der Abstand zur nächsten Hauptverkehrsstraße beträgt etwa 20 m. An allen genannten Messstationen ist jedoch aufgrund der Nähe zum lokalen Straßenverkehr der Einfluss des Winterdienstes nachvollziehbar und plausibel.

### 3.2.2 Belastungssituation aufgrund von Emissionsbeiträgen aus natürlichen Quellen

Für das Kalenderjahr 2012 konnten Emissionsbeiträge aus natürlichen Quellen zur Feinstaubbelastung (PM<sub>10</sub>) an **keiner** LÜB-Messstation in Bayern nachgewiesen werden.

### 3.3 Kurzbeschreibung des verwendeten Verfahrens zur Ermittlung des Beitrages von Streusalz aus dem Winterdienst an den Feinstaubmesswerten

Der durch Streusalz auf Straßen verursachte Anteil an der Feinstaubkonzentration wurde analog zu dem im Abschnitt 4.2 des Dokumentes „COMMISSION STAFF WORKING PAPER establishing guidelines for determination of contributions from the re-suspension of particulates following winter sanding or salting of roads under the Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe, 15.02.2011“, vorgeschlagenem Verfahren ermittelt.

Hierzu erfolgte an den genannten Luftmessstationen eine Probennahme von Feinstaub (PM<sub>10</sub>) auf Tagesfiltern mittels Referenzmessmethode gemäß DIN EN 12341. Die einzelnen Filter mit den Feinstaubproben wurden einer quantitativen chemischen Analyse des abgelagerten Staubes auf Chloridionen unterzogen. Da an den betreffenden Messstationen keine weiteren Quellen für Chloridanteile im Feinstaub in Frage kommen, wird gemäß dem o. g. Leitfaden davon ausgegangen, dass die ermittelte Chloridionenkonzentration auf dem Filtermaterial aus dem Streusalz-Eintrag von Natriumchlorid stammt. Anhand der Atomgewichte von Natrium und Chlorid wird aus der Chloridionenkonzentration die Konzentration von Natriumchlorid errechnet.

In einer weiteren chemischen Analyse wurden die Tagesfilter quantitativ auch auf Natriumionen untersucht. Damit lässt sich die Natriumchloridkonzentration direkt aus der Summe der Chlorid- und der Natriumkonzentration bestimmen. Dies stellt eine zusätzliche qualitätssichernde Maßnahme dar. Passen hierbei die jeweiligen Konzentrationen der Ionen innerhalb der Unsicherheitsbandbreite nicht zusammen, werden die Analysenwerte nicht berücksichtigt.

### 3.4 Schlussfolgerung und Zusammenfassung

Gemäß § 27 der Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV ist die Erstellung eines Luftreinhalteplans nicht erforderlich, sofern die Überschreitung von Grenzwerten für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) auf Emissionsbeiträge aus natürlichen Quellen oder auf die Ausbringung von Streusand oder -salz im Winterdienst zurückzuführen ist. Daher wurde der durch Streusalz verursachte Anteil an der Feinstaubkonzentration PM<sub>10</sub> ermittelt.

An den Stationen München/ Stachus, Augsburg/ Königsplatz, Augsburg/ Karlstraße, Würzburg/ Stadtring Süd, Nürnberg/ Von-der-Tann-Straße, Regensburg/ Rathaus, Passau/ Stelzhamerstraße und Kelheim/ Regensburger Straße konnten ein bis drei Tage mit Überschreitung des Immissionsgrenzwertes für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) von 50 µg/m<sup>3</sup> (35 Überschreitungstage zulässig) auf die Ausbringung von Streusalz im Winterdienst zurückgeführt werden. An der Station München/ Landshuter Allee wurde mit zehn Überschreitungstagen aufgrund von Streusalz der höchste Wert verzeichnet.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Streusalzbeitrag des Winterdienstes an einer nicht unerheblichen Anzahl von Tagen zu einer Überschreitung des PM<sub>10</sub>-Tagesmittelgrenzwertes führt.



## 4 Streusalzbericht 2013

### 4.1 Überblick

Dieser Bericht stellt Informationen zum Beitrag von Streusalz auf Straßen im Winterdienst zur Feinstaubbelastung (PM<sub>10</sub>) im Kalenderjahr 2013 zur Verfügung. Die Informationen des Berichts sind zur Anwendung des Artikels 21 der europäischen Richtlinie 2008/50/EG erforderlich. In der Bundesrepublik Deutschland wurde die Richtlinie 2008/50/EG mittels der Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV – in nationales Recht umgesetzt. Entsprechend erfüllt dieser Bericht auch die Informationspflichten nach § 25 der 39. BImSchV.

### 4.2 Kurzbeschreibung der Belastungssituation im Kalenderjahr 2013

#### 4.2.1 Belastungssituation aufgrund der Ausbringung von Streusalz auf Straßen im Winterdienst

Im Jahr 2013 wurde an allen Messstationen des Lufthygienischen Landesüberwachungssystems Bayern (LÜB) der über das Kalenderjahr gemittelte Immissionsgrenzwert für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) von 40 µg/m<sup>3</sup> eingehalten.

Die Überschreitung der zulässigen Anzahl von 35 Tagen für das Kalenderjahr 2013 des über den Tag gemittelten Immissionsgrenzwertes für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) von 50 µg/m<sup>3</sup> wurde an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee (Stationscode DEBY115) festgestellt. Der über den Tag gemittelte Immissionsgrenzwert für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) von 50 µg/m<sup>3</sup> wurde an 39 Tagen an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee überschritten. Die Überschreitung des Grenzwertes konnte an 9 Tagen auf die Verwendung von Streusalz auf Straßen im Winterdienst zurückgeführt werden.

Bei acht weiteren LÜB-Messstationen konnten an einzelnen Tagen Überschreitungen des Tagesmittelwertes für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) von 50 µg/m<sup>3</sup> aufgrund der Ausbringung von Streusalz auf Straßen im Winterdienst zurückgeführt werden. Die jeweilige Anzahl der Tage mit Mittelwerten größer als 50 µg/m<sup>3</sup> vor und nach Abzug des Streusalzanteils, sowie die Minderung (Anzahl der Überschreitungstage aufgrund von Streusalz) aus dem Winterdienst sind in der folgenden Tab. 10 aufgeführt.

Tab. 10: Anzahl der Tage mit Überschreitung des Immissionsgrenzwertes für das Tagesmittel (TMW) für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) von 50 µg/m<sup>3</sup> vor und nach Abzug des Streusalzanteils auf Straßen im Winterdienst für das Kalenderjahr 2013, sowie die Minderung (Anzahl der Überschreitungstage aufgrund von Streusalz auf Straßen im Winterdienst)

Messstation	Anzahl Überschreitungstage (TMW > 50 µg/m <sup>3</sup> )	Anzahl Überschreitungstage abzüglich Streusalzanteil (TMW > 50 µg/m <sup>3</sup> )	Minderung: Anzahl Überschreitungstage durch Streusalz (TMW > 50 µg/m <sup>3</sup> )
München/Landshuter Allee EU-Stationscode DEBY115	39	30	9
Nürnberg/Von-der-Tann-Str. EU-Stationscode DEBY120	31	21	10
Augsburg/Karlstraße <sup>3</sup> EU-Stationscode DEBY110	303	273	33
Regensburg/Rathaus EU-Stationscode DEBY063	28	23	5

<sup>3</sup> Kein gültiger PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwert, da die Datenqualitätsziele für die Luftqualitätsbeurteilung (Mindestdatenerfassung von 90%) nach Anlage 1 der 39. BImSchV nicht erreicht wurden.

Messstation	Anzahl Überschreitungstage (TMW > 50 µg/m <sup>3</sup> )	Anzahl Überschrei- tungstage abzüglich Streusalzanteil (TMW > 50 µg/m <sup>3</sup> )	Minderung: Anzahl Überschreitungstage durch Streusalz (TMW > 50 µg/m <sup>3</sup> )
Augsburg/Königsplatz EU-Stationscode DEBY006	26	25	1
München/Stachus EU-Stationscode DEBY037	19	17	2
Würzburg/Stadtring Süd EU-Stationscode DEBY119	19	17	2
Ansbach/Residenzstraße EU-Stationscode DEBY001	16	11	5
Kelheim/Regensburger Str. EU-Stationscode BEDY028	8	6	2

Die o.g. LÜB-Messstationen sind als verkehrsorientiert eingestuft (städtisch, Verkehr). Die Abstände der genannten LÜB-Messstationen zur nächsten Hauptverkehrsstraße betragen somit weniger als 10 m. An allen LÜB-Messstationen ist aufgrund der Nähe zum lokalen Straßenverkehr der Einfluss des Winterdienstes nachvollziehbar und plausibel.

#### 4.2.2 Belastungssituation aufgrund von Emissionsbeiträgen aus natürlichen Quellen

Für das Kalenderjahr 2013 konnten Emissionsbeiträge aus natürlichen Quellen zur Feinstaubbelastung (PM<sub>10</sub>) an keiner LÜB-Messstation in Bayern nachgewiesen werden.

#### 4.3 Kurzbeschreibung des verwendeten Verfahrens zur Ermittlung des Beitrages von Streusalz auf Straßen im Winterdienst an der Feinstaubbelastung

Der durch Streusalz auf Straßen im Winterdienst verursachte Anteil an der Feinstaub (PM<sub>10</sub>)-Konzentration wurde analog zu dem im Abschnitt 4.2 des Dokumentes „COMMISSION STAFF WORKING PAPER establishing guidelines for determination of contributions from the re-suspension of particulates following winter sanding or salting of roads under the Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe, 15.02.2011“, vorgeschlagenem Verfahren ermittelt.

Hierzu erfolgte die Sammlung von Feinstaub (PM<sub>10</sub>)-Filterproben auf Tagesbasis an den o. g. LÜB-Messstationen mittels Referenzmessmethode gemäß DIN EN 12341. Die einzelnen Filter mit den Feinstaubproben wurden einer quantitativen chemischen Analyse des abgelagerten Staubes auf Chlorid-Ionen unterzogen. Da an den betreffenden LÜB-Messstationen keine weiteren Quellen für die Chlorid-Anteile im Feinstaub in Frage kommen, wird gemäß dem o.g. Leitfaden davon ausgegangen, dass die ermittelte Chlorid-Ionenkonzentration auf dem Filtermaterial aus dem Streusalz-Eintrag von Natriumchlorid stammt. Anhand der Atomgewichte von Natrium und Chlorid wird aus der Chlorid-Ionenkonzentration die Konzentration von Natriumchlorid errechnet.

In einer weiteren chemischen Analyse wurden die Filterproben quantitativ auch auf Natrium-Ionen untersucht. Damit lässt sich die Natriumchlorid-Konzentration direkt aus der Summe der Chlorid- und der Natrium-Konzentration bestimmen. Dies stellt eine zusätzliche qualitätssichernde Maßnahme dar.

Driften bei den beiden unterschiedlichen Methoden zur Ermittlung des Streusalzanteiles die jeweiligen Konzentrationen der Ionen gemäß einer Unsicherheitsbandbreite zu weit auseinander, werden die Analysenwerte nicht berücksichtigt.

#### 4.4 Schlussfolgerung und Zusammenfassung

Gemäß § 27 der Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV ist die Erstellung eines Luftreinhalteplans nicht erforderlich, sofern die Überschreitung von Grenzwerten für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) auf Emissionsbeiträge aus natürlichen Quellen (§ 24) oder auf die Ausbringung von Streusand oder –salz auf Straßen im Winterdienst (§ 25) zurückzuführen ist. Daher wurde der durch Streusalz verursachte Anteil an der Feinstaub (PM<sub>10</sub>)-Konzentration ermittelt.

An den LÜB-Messstationen München/Landshuter Allee, Nürnberg/Von-der-Tann-Str., Augsburg/Karlstraße, Regensburg/Rathaus, Augsburg/Königsplatz, München/Stachus, Würzburg/Stadtring Süd, Ansbach/Residenzstraße und Kelheim/Regensburger Str. konnten ein bis zehn Tage mit Überschreitung des Immissionsgrenzwertes für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) von 50 µg/m<sup>3</sup> (35 Überschreitungstage zulässig) auf die Ausbringung von Streusalz im Winterdienst zurückgeführt werden. An der LÜB-Messstation Nürnberg/Von-der-Tann-Str. wurde mit zehn Überschreitungstagen aufgrund von Streusalz der höchste Wert verzeichnet.

Nur an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee wurde die Anzahl der zulässigen 35 Überschreitungstage pro Kalenderjahr mit 39 Tagen überschritten. Aufgrund der Ausbringung von Streusalz auf Straßen im Winterdienst bleiben 9 dieser Überschreitungstage an der LÜB-Messstation München/Landshuter Allee außer Ansatz. Damit wurde in Bayern im Kalenderjahr 2013 die zulässige Anzahl von 35 Überschreitungstagen des über den Tag gemittelten Immissionsgrenzwertes für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) von 50 µg/m<sup>3</sup> an allen Stationen eingehalten.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Streusalzbeitrag des Winterdienstes an einer nicht unerheblichen Anzahl von Tagen zu einer Überschreitung des PM<sub>10</sub>-Tagesmittelgrenzwertes führt.

## 5 Streusalzbericht 2014

### 5.1 Überblick

Dieser Bericht stellt Informationen zum Beitrag von Streusalz auf Straßen im Winterdienst zur Feinstaubbelastung (PM<sub>10</sub>) im Kalenderjahr 2014 zur Verfügung. Die Informationen des Berichts sind zur Anwendung des Artikels 21 der europäischen Richtlinie 2008/50/EG erforderlich. In der Bundesrepublik Deutschland wurde die Richtlinie 2008/50/EG mittels der Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV – in nationales Recht umgesetzt. Entsprechend erfüllt dieser Bericht auch die Informationspflichten nach § 25 der 39. BImSchV.

### 5.2 Kurzbeschreibung der Belastungssituation im Jahr 2014

#### 5.2.1 Belastungssituation aufgrund der Ausbringung von Streusalz auf Straßen im Winterdienst

Im Jahr 2014 wurden an allen Messstationen des Lufthygienischen Landesüberwachungssystems Bayern (LÜB) der über das Kalenderjahr gemittelte Immissionsgrenzwert für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) von 40 µg/m<sup>3</sup> eingehalten. Die zulässige Anzahl von 35 Überschreitungstagen des über den Tag gemittelten Immissionsgrenzwertes für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) von 50 µg/m<sup>3</sup> wurde ebenfalls an allen Stationen eingehalten.

Aufgrund des relativ kurzen und milden Winters wurden im Kalenderjahr 2014 an lediglich drei Messstationen an jeweils einem Tag Überschreitungen für den Tagesmittelwert für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) von 50 µg/m<sup>3</sup> ermittelt, die auf die Ausbringung von Streusalz auf Straßen im Winterdienst zurückgeführt werden konnten. Die jeweilige Anzahl der Tage mit Mittelwerten größer als 50 µg/m<sup>3</sup> vor und nach Abzug des Streusalzanteils, sowie die Minderung der Anzahl an Überschreitungstagen aufgrund von Streusalz aus dem Winterdienst sind in Tab. 11 aufgeführt. Der Einzelnachweis für die Messstationen erfolgt in der Anlage in Tab. 12.

Tab. 11: Anzahl der Tage mit Überschreitung des Feinstaub(PM<sub>10</sub>)-Immissionsgrenzwertes für den Tagesmittelwert (TMW) von 50 µg/m<sup>3</sup> für das Kalenderjahr 2014 vor und nach Abzug des Streusalzanteils, der auf die Ausbringung auf Straßen im Winterdienst zurückzuführen ist sowie die Minderung der Anzahl an Überschreitungstagen aufgrund von Streusalz auf Straßen im Winterdienst. Die Analytik auf Streusalz erfolgte im Zeitraum Januar bis März und Oktober bis Dezember.

Messstation	Anzahl Überschreitungstage (TMW > 50 µg/m <sup>3</sup> )	Anzahl Überschreitungstage abzüglich Streusalzanteil (TMW > 50 µg/m <sup>3</sup> )	Minderung: Anzahl Überschreitungstage durch Streusalz (TMW > 50 µg/m <sup>3</sup> )
Augsburg/Karlstraße EU-Stationscode DEBY110	18	18	0
Augsburg/Königsplatz EU-Stationscode DEBY006	15	15	0
Kelheim/Regensburger Str. EU-Stationscode BEDY028	5*	5*	0*
München/Landshuter Allee EU-Stationscode DEBY115	17	16	1

Messtation	Anzahl Überschreitungstage (TMW > 50 µg/m <sup>3</sup> )	Anzahl Überschrei- tungstage abzüglich Streusalzanteil (TMW > 50 µg/m <sup>3</sup> )	Minderung: Anzahl Überschreitungstage durch Streusalz (TMW > 50 µg/m <sup>3</sup> )
München/Stachus EU-Stationscode DEBY037	14	13	1
Nürnberg/Von-der-Tann- Str. EU-Stationscode DEBY120	24	23	1
Regensburg/Rathaus EU-Stationscode DEBY063	30	30	0
Würzburg/Stadtring Süd EU-Stationscode DEBY119	18	18	0

\* Analytik auf Streusalz erfolgte nur im Zeitraum Januar bis März 2014.

Die o.g. LÜB-Messtationen sind als verkehrsorientiert eingestuft (städtisch, Verkehr). Die Abstände der genannten LÜB-Messtationen zur nächsten Hauptverkehrsstraße betragen somit weniger als 10 m. An allen LÜB-Messtationen ist aufgrund der Nähe zum lokalen Straßenverkehr der Einfluss des Winterdienstes nachvollziehbar und plausibel.

### 5.2.2 Belastungssituation aufgrund von Emissionsbeiträgen aus natürlichen Quellen

Für das Kalenderjahr 2014 wurden an keiner Messtation in Bayern Emissionsbeiträge zur Feinstaubbelastung (PM<sub>10</sub>) aus natürlichen Quellen nachgewiesen.

### 5.3 Kurzbeschreibung des verwendeten Verfahrens zur Ermittlung des Beitrages von Streusalz auf Straßen im Winterdienst an der Feinstaubbelastung

Der durch Streusalz auf Straßen im Winterdienst verursachte Anteil an der Feinstaub (PM<sub>10</sub>)-Konzentration wurde analog zu dem im Abschnitt 4.2 des Dokumentes „COMMISSION STAFF WORKING PAPER establishing guidelines for determination of contributions from the re-suspension of particulates following winter sanding or salting of roads under the Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe, 15.02.2011“, vorgeschlagenem Verfahren ermittelt.

Hierzu erfolgte die Sammlung von Feinstaub(PM<sub>10</sub>)-Filterproben auf Tagesbasis an den o.g. LÜB-Messtationen mittels Referenzmessmethode gemäß DIN EN 12341. Die einzelnen Filter mit den Feinstaubproben wurden einer quantitativen chemischen Analyse des abgelagerten Staubes auf Chlorid-Ionen unterzogen. Da an den betreffenden Messtationen keine weiteren Quellen für die Chlorid-Anteile im Feinstaub in Frage kommen, wird gemäß dem o.g. Leitfaden davon ausgegangen, dass die ermittelte Chlorid-Ionenkonzentration auf dem Filtermaterial aus dem Streusalz-Eintrag von Natriumchlorid stammt. Anhand der Atomgewichte von Natrium und Chlorid wird aus der Chlorid-Ionenkonzentration die Konzentration von Natriumchlorid errechnet.

In einer weiteren chemischen Analyse wurden die Filterproben quantitativ auch auf Natrium-Ionen untersucht. Damit lässt sich die Natriumchlorid-Konzentration direkt aus der Summe der Chlorid- und der Natrium-Konzentration bestimmen. Dies stellt eine zusätzliche qualitätssichernde Maßnahme dar.

Driften bei den beiden unterschiedlichen Methoden zur Ermittlung des Streusalzanteiles die jeweiligen Konzentrationen der Ionen gemäß einer Unsicherheitsbandbreite zu weit auseinander, werden die Analysenwerte nicht berücksichtigt.

## 5.4 Schlussfolgerung und Zusammenfassung

Gemäß § 27 der Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV ist die Erstellung eines Luftreinhalteplans nicht erforderlich, sofern die Überschreitung von Grenzwerten für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) auf Emissionsbeiträge aus natürlichen Quellen (§ 24) oder auf die Ausbringung von Streusand oder -salz auf Straßen im Winterdienst (§ 25) zurückzuführen ist. Daher wurde der durch Streusalz verursachte Anteil an der Feinstaub (PM<sub>10</sub>)-Konzentration ermittelt.

In Bayern wurde im Kalenderjahr 2014 die zulässige Anzahl von 35 Überschreitungstagen des über den Tag gemittelten Immissionsgrenzwertes für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) von 50 µg/m<sup>3</sup> an allen Stationen eingehalten. An den LÜB-Messstationen München/Landshuter Allee, München/Stachus und Nürnberg/Von-der-Tann-Straße konnte jeweils ein Tag mit Überschreitung des Immissionsgrenzwertes für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) von 50 µg/m<sup>3</sup> (35 Überschreitungstage zulässig) auf die Ausbringung von Streusalz im Winterdienst zurückgeführt werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass aufgrund des relativ kurzen und milden Winters der Streusalzbeitrag des Winterdienstes im Kalenderjahr 2014 in Bayern an lediglich drei Tagen zu einer Überschreitung des PM<sub>10</sub>-Tagesmittelgrenzwertes an den untersuchten Messstationen führt.

## 5.5 Anlage

In der folgenden Tabelle 2 sind für das Kalenderjahr 2014 alle Tage mit Überschreitungen des Feinstaub(PM<sub>10</sub>)-Grenzwertes für den Tagesmittelwert von 50 µg/m<sup>3</sup> aufgeführt. Berücksichtigt sind nur Messstationen, an denen die Streusalzanalytik aufgrund der Ausbringung von Streusalz auf Straßen im Winterdienst vorgenommen wurde. Die Analytik auf Streusalz erfolgte im Zeitraum Januar bis März und Oktober bis Dezember 2014. Überschreitungstage des Feinstaub(PM<sub>10</sub>)-Grenzwertes für den Tagesmittelwert von 50 µg/m<sup>3</sup>, die aufgrund der Ausbringung von Streusalz auf Straßen im Winterdienst außer Ansatz bleiben, sind in Tab. 12 grau hervorgehoben.

Spalte (1): Bezeichnung der ortsfesten Probenahmestelle.

Spalte (2): Datumsangabe der Überschreitung des PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwertes (TMW) von 50 µg/m<sup>3</sup>.

Spalte (3): PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwert (TMW) aus Stationsmesswerten der ortsfesten Probenahmestelle.

Spalte (4): Natriumchlorid-Konzentration berechnet aus der Natrium- und Chlorid-Konzentration.

Spalte (5): Natriumchlorid-Konzentration berechnet aus der Chlorid-Konzentration.

Spalte (6): PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwert (TMW) nach Abzug der Natriumchlorid-Konzentration aus Spalte (5).

Tab. 12: Ergebnisse der Streusalzanalysen an den untersuchten Messstationen für das Kalenderjahr 2014. Berücksichtigt sind alle Tage mit Überschreitung des Feinstaub(PM<sub>10</sub>)-Grenzwertes für den Tagesmittelwert von 50 µg/m<sup>3</sup>. Die Streusalzanalytik erfolgte im Zeitraum Januar bis März und Oktober bis Dezember.

(1) Messstation	(2) Datum	(3) TMW [µg/m <sup>3</sup> ]	(4) NaCl aus Na <sup>+</sup> und Cl <sup>-</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]	(5) NaCl aus Cl <sup>-</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]	(6) TMW ohne NaCl- Anteil [µg/m <sup>3</sup> ]
<b>Augsburg Karlstraße</b>	01.01.14	96	1	1	95
	30.01.14	60	5	5	55
	31.01.14	81		2	79
	01.02.14	67			67
	06.03.14	61			61
	07.03.14	63			63
	08.03.14	63			63
	12.03.14	58			58
	13.03.14	72			72
	14.03.14	79			79
	15.03.14	51			51
	31.03.14	57			57
	01.04.14	53			53
	04.04.14	63			63
	05.04.14	72			72
	06.04.14	54			54
22.05.14	72			72	
16.07.14	58			58	
<b>Augsburg Königsplatz</b>	01.01.14	83			83
	30.01.14	51			51
	31.01.14	68	1		68
	01.02.14	65			65
	06.03.14	51			51
	07.03.14	63			63

(1) Messstation	(2) Datum	(3) TMW [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(4) NaCl aus $\text{Na}^+$ und $\text{Cl}^-$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(5) NaCl aus $\text{Cl}^-$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(6) TMW ohne NaCl- Anteil [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
	08.03.14	55			55
	13.03.14	72			72
	14.03.14	70			70
	01.04.14	52			52
	04.04.14	52			52
	05.04.14	64			64
	06.04.14	56			56
	22.05.14	64			64
	04.09.14	51			51
<b>Kelheim Regensburger Straße</b>	31.01.14	67		3	64
	01.02.14	54			54
	27.02.14	54			54
	07.03.14	51			51
	06.04.14	53			53
<b>München Landshuter Al- lee</b>	01.01.14	228			228
	08.01.14	54	7	7	47
	30.01.14	57		2	55
	31.01.14	81	10	9	72
	01.02.14	67	15	14	53
	02.02.14	55	1	1	54
	06.03.14	64			64
	07.03.14	63			63
	08.03.14	56			56
	13.03.14	66			66
	14.03.14	75			75
	15.03.14	53			53
	31.03.14	51			51
	01.04.14	55			55
	05.04.14	69			69
	06.04.14	62			62
22.05.14	71			71	
<b>München Stachus</b>	01.01.14	200			200
	30.01.14	58			58
	31.01.14	71		2	69
	01.02.14	51	5	4	47
	02.02.14	54		1	53
	06.03.14	58			58
	07.03.14	59			59
	08.03.14	56			56
	13.03.14	60			60
	14.03.14	62			62
	15.03.14	51			51
	05.04.14	64			64
	06.04.14	59			59
22.05.14	62			62	
<b>Nürnberg Von-der-Tann- Straße</b>	30.01.14	76	4	3	73
	31.01.14	86		2	84
	01.02.14	76		2	74
	03.02.14	54	5	4	50
	04.02.14	59	6	6	53
	05.02.14	65		2	63
	06.03.14	58			58
07.03.14	79			79	



(1) Messstation	(2) Datum	(3) TMW [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(4) NaCl aus $\text{Na}^+$ und $\text{Cl}^-$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(5) NaCl aus $\text{Cl}^-$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(6) TMW ohne NaCl- Anteil [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
	08.03.14	67			67
	09.03.14	54			54
	10.03.14	56			56
	12.03.14	71			71
	13.03.14	69			69
	14.03.14	76			76
	31.03.14	56			56
	01.04.14	56			56
	02.04.14	55			55
	03.04.14	57			57
	04.04.14	58			58
	05.04.14	80			80
	22.05.14	55			55
	05.09.14	56			56
	06.09.14	51			51
	30.10.14	57			57
<b>Regensburg Rathaus</b>	30.01.14	71		2	69
	31.01.14	74		1	73
	01.02.14	54			54
	05.02.14	57	1	1	56
	25.02.14	59	1		59
	26.02.14	59			59
	27.02.14	70			70
	02.03.14	53			53
	03.03.14	63			63
	05.03.14	55			55
	06.03.14	122	2	2	120
	07.03.14	112			112
	08.03.14	74			74
	09.03.14	63			63
	10.03.14	77			77
	11.03.14	72			72
	12.03.14	90			90
	13.03.14	75			75
	14.03.14	75			75
	15.03.14	53			53
	31.03.14	60			60
	01.04.14	69			69
	02.04.14	72			72
	03.04.14	85			85
	04.04.14	56			56
	05.04.14	51			51
	06.04.14	53			53
	22.05.14	57			57
	30.09.14	52			52
30.10.14	51			51	
<b>Würzburg Stadttring Süd</b>	30.01.14	51			51
	31.01.14	70		1	69
	01.02.14	59			59
	04.02.14	53			53
	06.03.14	53			53
	07.03.14	65			65
08.03.14	65			65	

(1) Messstation	(2) Datum	(3) TMW [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(4) NaCl aus $\text{Na}^+$ und $\text{Cl}^-$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(5) NaCl aus $\text{Cl}^-$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	(6) TMW ohne NaCl- Anteil [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
	09.03.14	59			59
	10.03.14	56			56
	12.03.14	71			71
	13.03.14	60			60
	14.03.14	74			74
	01.04.14	53			53
	03.04.14	54			54
	04.04.14	53			53
	05.04.14	71			71
	05.09.14	52			52
	30.10.14	57			57

## 6 Streusalzbericht 2015

### 6.1 Überblick

Dieser Bericht stellt Informationen zum Beitrag von Streusalz auf Straßen im Winterdienst zur Feinstaubbelastung (PM<sub>10</sub>) in Bayern im Kalenderjahr 2015 zur Verfügung. Die Informationen des Berichts sind zur Anwendung des Artikels 21 der europäischen Richtlinie 2008/50/EG erforderlich. In der Bundesrepublik Deutschland wurde die Richtlinie 2008/50/EG mittels der Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV – in nationales Recht umgesetzt. Entsprechend erfüllt dieser Bericht auch die Informationspflichten nach § 25 der 39. BImSchV.

### 6.2 Kurzbeschreibung der Belastungssituation im Jahr 2015

#### 6.2.1 Belastungssituation aufgrund der Ausbringung von Streusalz auf Straßen im Winterdienst

Im Jahr 2015 wurde an allen Messstationen des Lufthygienischen Landesüberwachungssystems Bayern (LÜB) der über das Kalenderjahr gemittelte Immissionsgrenzwert für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) von 40 µg/m<sup>3</sup> eingehalten. Die zulässige Anzahl von 35 Überschreitungstagen des über den Tag gemittelten Immissionsgrenzwertes für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) von 50 µg/m<sup>3</sup> wurde ebenfalls an allen LÜB-Messstationen eingehalten.

Im Kalenderjahr 2015 wurden an vier LÜB-Messstationen insgesamt 13 Überschreitungen für den Tagesmittelwert für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) von 50 µg/m<sup>3</sup> ermittelt, die auf die Ausbringung von Streusalz auf Straßen im Winterdienst zurückgeführt werden konnten. Die jeweilige Anzahl der Tage mit Mittelwerten größer als 50 µg/m<sup>3</sup> vor und nach Abzug des Streusalzanteils, sowie die Minderung der Anzahl an Überschreitungstagen aufgrund von Streusalz aus dem Winterdienst sind in Tab. 13 aufgeführt. Der Einzelnachweis für die Messstationen erfolgt in der Anlage.

Tab. 13: Anzahl der Tage mit Überschreitung des Feinstaub(PM<sub>10</sub>)-Immissionsgrenzwertes für den Tagesmittelwert (TMW) von 50 µg/m<sup>3</sup> für das Kalenderjahr 2015 vor und nach Abzug des Streusalzanteils, der auf den Winterdienst zurückzuführen ist sowie die Minderung der Anzahl an Überschreitungstagen aufgrund von Streusalz auf Straßen im Winterdienst. Die Analytik auf Streusalz erfolgte im Zeitraum Januar bis März und Mitte November bis Dezember.

Messstation	Anzahl Überschreitungstage (TMW > 50 µg/m <sup>3</sup> )	Anzahl Überschreitungstage abzüglich Streusalzanteil (TMW > 50 µg/m <sup>3</sup> )	Minderung: Anzahl Überschreitungstage durch Streusalz (TMW > 50 µg/m <sup>3</sup> )
Augsburg/Karlstraße EU-Stationscode DEBY110	11	10	1
Augsburg/Königsplatz EU-Stationscode DEBY006	7	7	0
München/Landshuter Allee EU-Stationscode DEBY115	13	9	4
München/Stachus EU-Stationscode DEBY037	7	6	1
Nürnberg/Von-der-Tann-Str. EU-Stationscode DEBY120	21	14	7
Regensburg/Rathaus EU-Stationscode DEBY063	11	11	0
Würzburg/Stadtring Süd EU-Stationscode DEBY119	17	17	0

Die o. g. LÜB-Messstationen sind als verkehrsorientiert eingestuft (städtisch, Verkehr). Die Abstände der genannten LÜB-Messstationen zur nächsten Hauptverkehrsstraße betragen somit weniger als 10 m. An allen LÜB-Messstationen ist aufgrund der Nähe zum lokalen Straßenverkehr der Einfluss des Winterdienstes nachvollziehbar und plausibel.

### **6.2.2 Belastungssituation aufgrund von Emissionsbeiträgen aus natürlichen Quellen**

Für das Kalenderjahr 2015 wurden keine Untersuchungen zu Emissionsbeiträgen zur Feinstaubbelastung (PM<sub>10</sub>) aus natürlichen Quellen an LÜB-Messstationen durchgeführt.

### **6.3 Kurzbeschreibung des verwendeten Verfahrens zur Ermittlung des Beitrages von Streusalz auf Straßen im Winterdienst an der Feinstaubbelastung**

Der durch Streusalz auf Straßen im Winterdienst verursachte Anteil an der Feinstaub (PM<sub>10</sub>)-Konzentration wurde analog zu dem im Abschnitt 4.2 des Dokumentes „COMMISSION STAFF WORKING PAPER establishing guidelines for determination of contributions from the re-suspension of particulates following winter sanding or salting of roads under the Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe, 15.02.2011“, vorgeschlagenem Verfahren ermittelt.

Hierzu erfolgte die Sammlung von Feinstaub (PM<sub>10</sub>)-Filterproben auf Tagesbasis an den o. g. LÜB-Messstationen mittels Referenzmessmethode gemäß DIN EN 12341. Die einzelnen Filter mit den Feinstaubproben wurden einer quantitativen chemischen Analyse des abgelagerten Staubes auf Chlorid-Ionen unterzogen.

Da an den betreffenden LÜB-Messstationen keine weiteren Quellen für die Chlorid-Anteile im Feinstaub in Frage kommen, wird gemäß dem o. g. Leitfaden davon ausgegangen, dass die ermittelte Chlorid-Ionenkonzentration auf dem Filtermaterial aus dem Streusalz-Eintrag von Natriumchlorid stammt. Anhand der Atomgewichte von Natrium und Chlorid wird aus der Chlorid-Ionenkonzentration die Konzentration von Natriumchlorid errechnet.

In einer weiteren chemischen Analyse wurden die Filterproben quantitativ auch auf Natrium-Ionen untersucht. Damit lässt sich die Natriumchlorid-Konzentration direkt aus der Summe der Chlorid- und der Natrium-Konzentration bestimmen. Dies stellt eine zusätzliche qualitätssichernde Maßnahme dar.

Driften bei den beiden unterschiedlichen Methoden zur Ermittlung des Streusalzanteiles die jeweiligen Konzentrationen der Ionen gemäß einer Unsicherheitsbandbreite zu weit auseinander, werden die Analysenwerte nicht berücksichtigt.

### **6.4 Schlussfolgerung und Zusammenfassung**

Gemäß § 27 der Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV ist die Erstellung eines Luftreinhalteplans nicht erforderlich, sofern die Überschreitung von Grenzwerten für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) auf Emissionsbeiträge aus natürlichen Quellen (§ 24) oder auf die Ausbringung von Streusand oder -salz auf Straßen im Winterdienst (§ 25) zurückzuführen ist. Daher wurde der durch Streusalz verursachte Anteil an der Feinstaub (PM<sub>10</sub>)-Konzentration ermittelt.

In Bayern wurde im Kalenderjahr 2015 die zulässige Anzahl von 35 Überschreitungstagen des über den Tag gemittelten Immissionsgrenzwertes für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) von 50 µg/m<sup>3</sup> an allen LÜB-Messstationen eingehalten.

An den LÜB-Messstationen Augsburg/Karlstraße, München/Landshuter Allee, München/Stachus und Nürnberg/Von-der-Tann-Straße konnten ein bis sieben Tage mit Überschreitung des Immissionsgrenzwertes für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) von 50 µg/m<sup>3</sup> (35 Überschreitungstage zulässig) auf die Ausbringung von Streusalz im Winterdienst zurückgeführt werden. An der LÜB-Messstation Nürnberg/Von-der-Tann-Straße wurde mit sieben Überschreitungstagen aufgrund von Streusalz der höchste Wert verzeichnet.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Streusalzbeitrag des Winterdienstes an einer nicht unerheblichen Anzahl von Tagen zu einer Überschreitung des PM<sub>10</sub>-Tagesmittelgrenzwertes führt.

## 6.5 Anlage

In der folgenden Tabelle 2 sind für das Kalenderjahr 2015 alle Tage mit Überschreitungen des Feinstaub(PM<sub>10</sub>)-Grenzwertes für den Tagesmittelwert von 50 µg/m<sup>3</sup> aufgeführt. Berücksichtigt sind nur LÜB-Messstationen, an denen die Streusalzanalytik aufgrund der Ausbringung von Streusalz auf Straßen im Winterdienst vorgenommen wurde. Die Analytik auf Streusalz erfolgte im Zeitraum Januar bis März und Mitte November bis Dezember 2015. Überschreitungstage des Feinstaub(PM<sub>10</sub>)-Grenzwertes für den Tagesmittelwert von 50 µg/m<sup>3</sup>, die aufgrund der Ausbringung von Streusalz auf Straßen im Winterdienst außer Ansatz bleiben, sind in Tabelle 2 grau hervorgehoben.

Spalte (1): Bezeichnung der ortsfesten Probenahmestelle.

Spalte (2): Datumsangabe der Überschreitung des PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwertes (TMW) von 50 µg/m<sup>3</sup>.

Spalte (3): PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwert (TMW) aus Stationsmesswerten der ortsfesten Probenahmestelle.

Spalte (4): Natriumchlorid-Konzentration berechnet aus der Natrium- und Chlorid-Konzentration.

Spalte (5): Natriumchlorid-Konzentration berechnet aus der Chlorid-Konzentration.

Spalte (6): PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwert (TMW) nach Abzug der Natriumchlorid-Konzentration aus Spalte (5).

Tab. 14: Ergebnisse der Streusalzanalysen an den untersuchten LÜB-Messstationen für das Kalenderjahr 2015. Berücksichtigt sind alle Tage mit Überschreitung des Feinstaub(PM<sub>10</sub>)-Grenzwertes für den Tagesmittelwert von 50 µg/m<sup>3</sup>. Die Streusalzanalytik erfolgte im Zeitraum Januar bis März und Mitte November bis Dezember.

(1) LÜB- Messstation	(2) Datum	(3) TMW [µg/m <sup>3</sup> ]	(4) NaCl aus Na <sup>+</sup> und Cl <sup>-</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]	(5) NaCl aus Cl <sup>-</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]	(6) TMW ohne NaCl-Anteil [µg/m <sup>3</sup> ]
<b>Augsburg Karlststraße</b>	01.01.2015	99			99
	16.02.2015	55			55
	19.02.2015	52		2	50
	09.03.2015	53	2	2	51
	10.03.2015	60			60
	14.03.2015	55			55
	18.03.2015	59			59
	19.03.2015	62			62
	20.03.2015	65			65
	21.03.2015	67			67
	07.07.2015	51			51
<b>Augsburg Königsplatz</b>	01.01.2015	107			107
	16.02.2015	53			53
	19.02.2015	52			52
	18.03.2015	54			54
	19.03.2015	51			51
	20.03.2015	61			61
	21.03.2015	55			55

(1) LÜB- Messstation	(2) Datum	(3) TMW [µg/m <sup>3</sup> ]	(4) NaCl aus Na <sup>+</sup> und Cl <sup>-</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]	(5) NaCl aus Cl <sup>-</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]	(6) TMW ohne NaCl-Anteil [µg/m <sup>3</sup> ]
München Landshuter Allee	01.01.2015	125			125
	16.01.2015	56	11	11	45
	04.02.2015	61	11	10	51
	10.02.2015	57	23	23	34
	16.02.2015	59		2	57
	19.02.2015	60	9	8	52
	20.02.2015	52	36	36	16
	10.03.2015	57	2	1	56
	19.03.2015	57			57
	20.03.2015	57			57
	21.03.2015	55			55
	22.03.2015	51			51
	15.12.2015	52	9	10	42
München Stachus	01.01.2015	131			131
	04.02.2015	59	14	13	46
	16.02.2015	55			55
	19.03.2015	51			51
	20.03.2015	54			54
	21.03.2015	55			55
	22.03.2015	51			51
Nürnberg Von-der-Tann- Straße	01.01.2015	105			105
	04.02.2015	53	8	7	46
	06.02.2015	54	11	11	43
	07.02.2015	55		8	47
	15.02.2015	55	1	1	54
	16.02.2015	66			66
	17.02.2015	51		1	50
	18.02.2015	62		1	61
	19.02.2015	59	4	4	55
	20.02.2015	55	11	11	44
	09.03.2015	53	10	11	42
	10.03.2015	52	2	2	50
	19.03.2015	56			56
	20.03.2015	59			59
	21.03.2015	55			55
	23.03.2015	51			51
	24.03.2015	65			65
	25.03.2015	53			53
	26.03.2015	66			66
03.11.2015	60			60	
28.12.2015	51	1		51	
Regensburg Rathaus	01.01.2015	79			79
	16.02.2015	59	2	1	58
	17.02.2015	56			56
	18.02.2015	52		1	51
	20.02.2015	55	2	2	53
	21.02.2015	57		4	53
	20.03.2015	51			51
	24.03.2015	58			58
	26.03.2015	60			60
	04.11.2015	57			57
	05.11.2015	60			60

(1) LÜB- Messstation	(2) Datum	(3) TMW [µg/m <sup>3</sup> ]	(4) NaCl aus Na <sup>+</sup> und Cl <sup>-</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]	(5) NaCl aus Cl <sup>-</sup> [µg/m <sup>3</sup> ]	(6) TMW ohne NaCl-Anteil [µg/m <sup>3</sup> ]
Würzburg Stadtring Süd	01.01.2015	66			66
	16.02.2015	66			66
	17.02.2015	66			66
	18.02.2015	73			73
	19.02.2015	57			57
	20.02.2015	52	1	1	51
	18.03.2015	54			54
	19.03.2015	65			65
	20.03.2015	55			55
	21.03.2015	63			63
	24.03.2015	64			64
	25.03.2015	56			56
	26.03.2015	56			56
	28.10.2015	52			52
	29.10.2015	56			56
	05.11.2015	53			53
	15.12.2015	54			54