


Untersuchung von massenrelevanten Inhaltsstoffen in Feinstaub PM₁₀

 an drei Messstationen in Baden-Württemberg in den Jahren 2006 und 2007



Untersuchung von massenrelevanten Inhaltsstoffen in Feinstaub PM10

 an drei Messstationen in Baden-Württemberg in den Jahren 2006 und 2007



HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 76231 Karlsruhe, Postfach 100163, www.lubw.baden-wuerttemberg.de
BEARBEITUNG	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 100163, 76231 Karlsruhe, www.lubw.baden-wuerttemberg.de poststelle@lubw.bwl.de
	Referat 72: Gravimetrie: Jhrden, Bernd / Bauer Katarina EC/OC: Lokaj, Grazyna / Klink, Jochen Anionen: Biganzoli, Kerstin Ammonium: Bullinger, Marion Elemente: Steiner, Werner / Henßen, Bernd / Klein, Michael / Trenkle, Martina Datenauswertung: Klein, Michael / Lumpp, Ralf
DOKUMENTATION-NUMMER	72-02/2009
STAND	23. Februar 2009
BERICHTSUMFANG	72 Seiten



Berichte und Anlagen dürfen nur unverändert weitergegeben werden. Eine auszugsweise Veröffentlichung ist ohne schriftliche Genehmigung der LUBW nicht gestattet.

1	EINLEITUNG	7
2	PROBENAHMEORTE UND MESSUMFANG	8
2.1	Messstation Stuttgart Am Neckartor (S-NT)	9
2.2	Messstation Mannheim-Nord (MA-N)	10
2.3	Messstation Schwarzwald Süd (Kälbelescheuer – KAE)	11
2.4	Messstation Stuttgart Schlossgarten	12
3	PROBENAHME UND ANALYTISCHE BESTIMMUNGSVERFAHREN	13
3.1	Probenahme Feinstaub PM10	13
3.2	Filterwägung (Gravimetrie)	13
3.3	Elementarer Kohlenstoff (EC) und Organischer Kohlenstoff (OC)	13
3.4	Ammonium, Nitrat, Sulfat, Chlorid	14
3.5	Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, Aluminium, Eisen, Zink, Mangan	14
3.6	Silizium	14
4	ANNAHMEN UND VERWENDETE BERECHNUNGSFAKTOREN ZUR ERMITTLUNG DER PM10-MASSENBILANZ	15
4.1	Mineralstaub	15
4.2	Ammonsalze	17
4.3	Organisches Material	18
4.4	Nicht bestimmbarer Rest / Wasser	19
5	METEOROLOGISCHE AUSWERTUNGEN	20
5.1	Datengrundlage und Auswerteverfahren	20
6	BETRACHTUNG DER ERGEBNISSE FÜR DAS GESAMTJAHR 2006	22
6.1	Schwebstaubkonzentration PM10	22
6.2	Konzentrationen und Anteile der massenrelevanten Inhaltsstoffe in Schwebstaub PM10	24
6.2.1	Ammonsalze	27
6.2.2	Elementarer Kohlenstoff (EC) und Organisches Material (OM)	32
6.2.3	Mineralstaub	36
6.2.4	Nicht bestimmbarer Rest	40
7	BETRACHTUNG DER ERGEBNISSE FÜR AUSGEWÄHLTE EPISODEN IM JAHR 2006	44
7.1	Auswahl einzelner Episoden zur Auswertung im Jahr 2006	44
7.2	Schwebstaubkonzentration PM10	45
7.3	Konzentrationen und Anteile massenrelevanter Inhaltsstoffe im Schwebstaub PM10	47
7.3.1	Ammonsalze	47
7.3.2	Elementarer Kohlenstoff (EC) und Organisches Material (OM)	49
7.3.3	Mineralstaub	52

8	UNTERSUCHUNG DER ZEITLICHEN VARIABILITÄT DER SCHWEBSTAUBZUSAMMENSETZUNG	56
9	ABSCHÄTZUNG DES DIREKTEN VERKEHRSEINFLUSSES AUF DIE SCHWEBSTAUBKONZENTRATION PM10	59
9.1	Abschätzung der Zusatzbelastung an Schwebstaub PM10 durch den Verkehr an der Station Stuttgart Am Neckartor	59
10	FAZIT	62
	Ziel	62
	Berechnungsgrundlagen und Annahmen	62
	Ergebnisse	63
	LITERATUR	69

1 Einleitung

Im Januar und Februar 2006 kam es unter ausgeprägtem Hochdruckeinfluss zur Ausbildung von zwei mehrtägig anhaltenden Inversionswetterlagen. Dies führte landesweit über einen Zeitraum von mehreren Tagen zu Schwebstaubkonzentrationen PM₁₀ von über 50 µg/m³ für das Tagesmittel.

Die in Baden-Württemberg aufgetretenen Feinstaubkonzentrationen PM₁₀ waren Teil eines großräumig erhöhten Immissionsfeldes, wie die Daten der übrigen Bundesländer und der angrenzenden Länder zeigten. Insbesondere setzten sich die im Südosten Deutschlands aufgetretenen hohen Werte jenseits der Landesgrenzen im Süden und Osten fort.

Die Analyse der massenrelevanten Inhaltsstoffe an fünf betrachteten Messstationen in Baden-Württemberg für den Zeitraum vom 01.01.2006 bis 06.02.2006 zeigte, dass die Anteile von elementarem Kohlenstoff EC im Feinstaub PM₁₀ zwischen 10 % und 14 % lagen. Die prozentualen Anteile an elementarem Kohlenstoff (EC) im Feinstaub PM₁₀ blieben an den verschiedenen Messorten während dieser Episode auf gleichem Niveau, während die PM₁₀-Konzentrationen stark anstiegen. Auch der prozentuale Anteil der sekundär gebildeten Ammonsalze am Feinstaub PM₁₀ blieb für den betrachteten Zeitraum an jeder Messstation nahezu gleich; d.h. die Konzentrationen der Ammonsalze änderten sich im gleichen Verhältnis wie die Feinstaubkonzentrationen PM₁₀. Eine überproportionale Neubildung von Ammonsalzen fand im betrachteten Zeitraum nicht statt. Der nicht analysierbare Rest im Feinstaub konnte nicht schlüssig durch Aufwirbelung bzw. Straßenabrieb erklärt werden.

Die Auswertung der Staubzusammensetzung PM₁₀ an der Messstation Stuttgart Am Neckartor zeigte, dass die Emissionen des Verkehrs alleine nicht zur Ausbildung der gemessenen Feinstaub PM₁₀-Konzentrationen ausreichten [LUBW, Bericht Nr. 61-08/2006].

Die gemäß 22. BImSchV geltenden Immissionswerte für das Jahresmittel und das Tagesmittel von Feinstaub PM₁₀ beziehen sich ausschließlich auf die Massenkonzentration des Schwebstaubes. Eine Differenzierung bezüglich der Staubzusammensetzung und des toxikologischen Potenzials der massenrelevanten Inhaltsstoffe ist nicht gegeben.

Im Hinblick auf die Planung und Durchführung von Maßnahmen zur Reduzierung der anthropogen verursachten Beiträge an der Feinstaubkonzentration PM₁₀ - wie Fahrverbote oder die Sperrung von Straßen - ist die Kenntnis der Staubzusammensetzung in Abhängigkeit von geologischen und meteorologischen Umgebungsbedingungen unerlässlich. Deshalb wurden an drei unterschiedlich belasteten Messstationen in Baden-Württemberg die massenrelevanten Inhaltsstoffe des Feinstaubes PM₁₀ über die Gesamtjahre 2006 und 2007 analysiert.

Die differenzierten Auswertungen der Zusammensetzungen des Schwebstaubs PM₁₀ im Winter- und Sommerhalbjahr an Messstationen direkt an der Straße, im städtischen Hintergrund und im ländlichen Hintergrund sollen zur Identifizierung und Zuordnung regionaler und weiträumiger Quellenbeiträge des Feinstaubes PM₁₀ beitragen.

2 Probenahmeorte und Messumfang

Zur differenzierten Auswertung der Zusammensetzung der Schwebstäube PM₁₀ in den Winter- und Sommerhalbjahren in Bezug auf unterschiedliche Immissionseinflüsse und regionale Abhängigkeiten wurden die Spotmessstation Stuttgart Am Neckartor sowie aus dem Luftmessnetz

Baden-Württemberg die Stationen Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd ausgewählt. Im Zeitraum vom 15.11.06 bis 15.03.07 wurde zusätzlich im Stuttgarter Schlossgarten eine Messstation eingerichtet, um den städtischen Hintergrund zu erfassen.

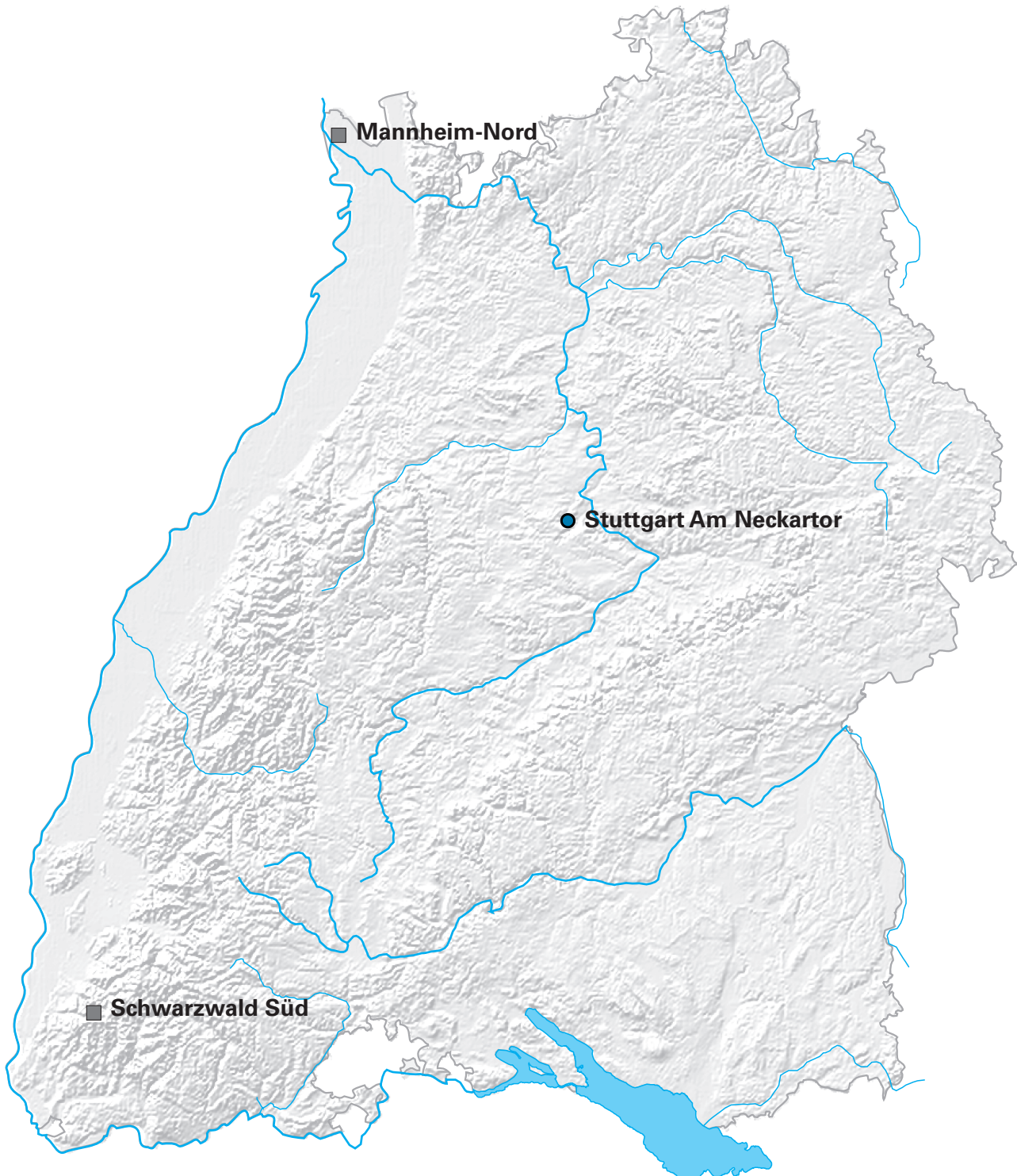


Abbildung 2.1: Geographische Lage der ausgewählten Messstationen

2.1 Messstation Stuttgart Am Neckartor (S-NT)

Nachdem im Jahr 2003 mit umfangreichen und systematischen Voruntersuchungen landesweit straßennah gelegene „Spots“ mit besonders hohen Schadstoffkonzentrationen von Stickstoffdioxid (NO_2) und Feinstaub der Fraktion PM_{10} ermittelt wurden, führt die LUBW seit 2004 landesweit Spotmessungen zum Vollzug der 22. BImSchV durch.

An der innerstädtischen Spotmessstation Stuttgart - Am Neckartor (S-NT) wurde in 2006 ein Jahresmittelwert für Feinstaub PM_{10} von $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt, und der Immissionswert für das Tagesmittel von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an 175 Tagen überschritten. 2007 betrug der Jahresmittelwert $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$

bei 110 Überschreitungen des Tagesmittels von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Das tägliche Verkehrsaufkommen (DTV) beträgt 81000 KFZ/Tag und davon 1900 LKW/Tag.

Seit dem 18.01.06 werden täglich Feinstaub PM_{10} und dessen Inhaltsstoffe auf Quarzfaserfiltern analysiert. Zur Bestimmung des Siliziumgehaltes im Feinstaub wurde vom 02.02.06 – 31.12.06 parallel ein zweites Probenahmegerät Digital DHA-80 mit Cellulosenitratfiltern betrieben. In Abbildung 2.1.1 ist die Messstation und ihre geographische Lage dargestellt.



Abbildung 2.1.1: Spotmessstation Stuttgart Am Neckartor (S-NT)

2.2 Messstation Mannheim-Nord (MA-N)

Die Messstation Mannheim-Nord ist repräsentativ für den städtischen Hintergrund in einem Ballungsgebiet mit Industrieeinfluß. Sie liegt am Rand eines Wohngebietes und in etwa 130 m Abstand zur Frankenthaler Strasse. An der Luftmessstation Mannheim-Nord wurde in 2006 ein Jahresmittelwert für Feinstaub PM₁₀ von 24 µg/m³ ermittelt, und der Immissionswert für das Tagesmittel von 50 µg/m³ an 17 Tagen überschritten. 2007 betrug der Jahresmittelwert 22 µg/m³ bei 11 Überschreitungen des Tagesmittels von 50 µg/m³. Routinemäßig wurde in Mannheim-Nord jeden zweiten Tag Feinstaub PM₁₀ auf Quarzfaserfiltern beprobt. Seit Ende April 2006 wird das Digital DHA-80 zur

Analyse der massenrelevanten Inhaltsstoffe täglich mit Quarzfaserfiltern bestückt.



Abbildung 2.2.1: Messstation Mannheim-Nord (MA-N)

2.3 Messstation Schwarzwald Süd (Kälbelescheuer – KAE)

Die Messstation Schwarzwald Süd liegt auf 920 m Höhe über N.N. in der Nähe der Kälbelescheuer. Diese Station ist repräsentativ für den ländlichen Hintergrund mit niedriger Immissionsbelastung. An der Luftmessstation Schwarzwald Süd wurde in 2006 ein Jahresmittelwert für Feinstaub PM₁₀ von 11 µg/m³ ermittelt. Der Immissionswert für das Tagesmittel von 50 µg/m³ wurde an keinem Tag überschritten. 2007 betrug der Jahresmittelwert ebenfalls 11 µg/m³ bei 2 Überschreitungen des Tagesmittels von 50 µg/m³. Routinemäßig wurde an der Messstation Schwarzwald Süd jeden zweiten Tag Feinstaub PM₁₀ auf Quarzfaserfiltern beprobt. Seit Ende April wird das Digital DHA-

80 zur Analyse der massenrelevanten Inhaltsstoffe täglich mit Quarzfaserfiltern bestückt.



Abbildung 2.3.1: Messstation Schwarzwald Süd (KAE)

2.4 Messstation Stuttgart Schlossgarten

Im Rahmen eines Messprogramms zur Untersuchung des Einflusses von Straßenreinigungsmaßnahmen auf die PM10-Immissionskonzentrationen am Stuttgarter Neckartor [Baumbach, 2007] wurde im Zeitraum vom 15.11.2006 bis 15.03.2007 eine Messstation im Schlossgarten Stuttgart eingerichtet. Die Messstation lag in der Nähe des Neckartors, ca. 90 m von den verkehrsreichen Strassen entfernt. Diese Station diente als Vergleichsmesspunkt in Stuttgart, um den städtischen Hintergrund ohne direkten Verkehrseinfluss zu erfassen. Das Staubprobenahmegerät Digitel DHA-80 wurde zur Analyse des Schwebstaubes PM10 und der massenrelevanten Inhaltsstoffe täglich mit Quarzfaserfiltern bestückt.



Abbildung 2.4.1: Messstation Stuttgart Schlossgarten

3 Probenahme und analytische Bestimmungsverfahren

3.1 Probenahme Feinstaub PM10

Die Probenahme des Feinstaubes PM10 erfolgt an allen drei Stationen gemäß VDI 2463 Blatt 11 „Messen von Partikeln - Messen der Massenkonzentration (Immission) - Filterverfahren - Filterwechsler Digital DHA-80“ als Tagesmittelwert.

Der vorgeschaltete gröÙenselektierende Lufteinlass weist eine Abscheidewirksamkeit von 50 % für Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von $>10 \mu\text{m}$ auf (PM10 Einlass). Zur Bestimmung der Schwebstaubmasse und anschließender Analyse der Inhaltsstoffe, mit Ausnahme von Silizium, erfolgt die Probenahme auf Quarzfaserfiltern. Zur Bestimmung der Siliziumkonzentration im Feinstaub PM10 wurden Cellulosenitratfilter eingesetzt. An den Stationen Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd wurden die Inhaltsstoffe im Routinebetrieb bis zum Jahr 2006 mit einer Häufigkeit von 180/a analysiert, weshalb die Digital DHA – 80 standardmäßig abwechselnd mit Glasfaserfiltern (nur Staubmassenbestimmung) und Quarzfaserfiltern (Bestimmung der Staubmasse und Inhaltsstoffe) bestückt waren. Seit Ende April 2006 werden die Probenahmegeräte auch an diesen Stationen jeden Tag mit Quarzfaserfiltern bestückt.

Der Digital High-Volume-Sampler (DHA-80) erfüllt die Anforderungen an Äquivalenzsammler nach DIN EN 12341, „Ermittlung der PM10-Fraktion von Schwebstaub - Referenzmethode und Feldprüfverfahren zum Nachweis der Gleichwertigkeit von Meßverfahren und Referenzmeßmethode“, 1998. Das Gerät verfügt über einen automatischen Probenwechsler, so dass ohne Wartung 14 Tagesmittelwerte gewonnen werden können. Zusätzlich verbleibt je Probenahmeintervall ein Filter zur Blindwertkontrolle im Gerät. Der Volumenstrom wird konstant auf $720 \text{ m}^3/24 \text{ h}$ geregelt. Die Gerätefunktion wird per Fernübertragung der Pumpenleistung kontrolliert.

Die Probenahme und Staubmassenbestimmung erfolgt auf Filtern mit 150 mm Durchmesser. Zur Bestimmung der Staubinhaltsstoffe werden jeweils Teilfilter mit 47 mm Durchmesser ausgestanzt und zur Analyse eingesetzt.

3.2 Filterwägung (Gravimetrie)

DIN EN 12341, 1998: „Ermittlung der PM10-Fraktion von Schwebstaub - Referenzmethode und Feldprüfverfahren zum Nachweis der Gleichwertigkeit von Meßverfahren und Referenzmeßmethode“.

Die für die Probenahme mittels Digital DHA-80 verwendeten Filter werden vor der Probenahme mindestens 48 h bei einer Lufttemperatur von $20^\circ \text{C} \pm 1^\circ \text{C}$ und einer relativen Luftfeuchte von $50 \% \pm 5 \%$ equilibriert, d.h. auf eine definierte Feuchte eingestellt und gewogen. Nach der Bestäubung werden die Filter wieder equilibriert und zurückgewogen.

3.3 Elementarer Kohlenstoff (EC) und Organischer Kohlenstoff (OC)

In Anlehnung an VDI Richtlinie 2465 Bl.2 „Messen von Ruß (Immission) – Thermographische Bestimmung des elementaren Kohlenstoffes nach Thermodesorption des organischen Kohlenstoffes“.

Die Bestimmung des Rußes als elementarer Kohlenstoff (EC) und organischer Kohlenstoff (OC) im abgeschiedenen Feinstaub PM10 erfolgt durch Verbrennen der Probe unter Sauerstoffatmosphäre und der IR-spektroskopischen Detektion des dabei gebildeten CO_2 . Das Analyseverfahren der Infrarotspektroskopie erlaubt jedoch keine Unterscheidung zwischen organisch gebundenem (OC) und elementarem Kohlenstoff (EC). Die Spezifität des Verfahrens auf elementaren Kohlenstoff wird durch ein Zweiphasentemperaturprogramm erreicht. Im ersten Schritt wird der organisch gebundene Kohlenstoff zu Kohlendioxid und Wasser verbrannt. Im zweiten Schritt wird der verbleibende Kohlenstoff zu Kohlendioxid verbrannt. Die Bestimmung des Kohlenstoffes erfolgt durch infrarotspektroskopische Analyse des Kohlendioxids.

3.4 Ammonium, Nitrat, Sulfat, Chlorid

VDI 3497 Blatt 3, 1988-07: „Messen partikelgebundener Anionen in der Außenluft; Analyse von Chlorid, Nitrat und Sulfat mittels Ionenchromatographie mit Suppressor-technik nach Aerosolabscheidung auf PTFE-Filtern“.

DIN EN ISO 10304-1, 1995-04: „Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der gelösten Anionen Fluorid, Chlorid, Nitrit, Orthophosphat, Bromid, Nitrat und Sulfat mittels Ionenchromatographie“.

DIN 38406-5, 1983-10: „Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Kationen (Gruppe E); Bestimmung des Ammonium-Stickstoffs (E 5)“.

DIN EN ISO 14911, 1999-12: „Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der gelösten Kationen Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} und Ba^{2+} mittels Ionenchromatographie - Verfahren für Wasser und Abwasser (ISO 14911:1998)“; Deutsche Fassung EN ISO 14911:1999.

Zur Bestimmung von Ammonium, Nitrat, Chlorid und Sulfat wird der bestaubte Quarzfaserteilfilter wässrig eluiert. Die Analyse des Eluates auf die Anionen Nitrat, Sulfat und Chlorid erfolgt ionenchromatographisch. Die Analyse des Eluates auf Ammonium erfolgt mittels Spektralphotometrie bzw. Ionenchromatographie.

3.5 Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, Aluminium, Eisen, Zink, Mangan

DIN EN 14902, 2005-10: „Außenluftbeschaffenheit - Standardisiertes Verfahren zur Bestimmung von Pb/Cd/As/Ni als Bestandteil der PM10-Fraktion des Schwebstaubes“.

VDI 2267 Blatt 5, 1997-11: „Stoffbestimmung an Partikeln in der Außenluft - Messen der Massenkonzentration von Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, V, Zn mit Hilfe der optischen Emissionsspektrometrie (ICP-OES) nach Filterprobenahme und Aufschluss in oxidierendem Säuregemisch“.

Der Teilfilter wird mit einer Säuremischung aus HNO_3 , H_2F_2 und H_2O_2 mikrowellenunterstützt aufgeschlossen. Die Aufschlusslösung wird zur Trockene eingedampft und

danach mit 1 % HNO_3 aufgenommen. Ein Aliquot dieser Lösung wird mittels ICP – OES analysiert.

3.6 Silizium

Der bestaubte Teilfilter (Cellulosenitrat) wird mit einer Säuremischung aus HNO_3 und H_2F_2 mikrowellenunterstützt aufgeschlossen. Die Aufschlusslösung wird zur Maskierung der Flusssäure mit Borsäure versetzt. Nach geeigneter Verdünnung wird ein Aliquot mittels ICP – OES analysiert.

4 Annahmen und verwendete Berechnungsfaktoren zur Ermittlung der PM10-Massenbilanz

Zur differenzierten Betrachtung der Anteile von Staubinhaltsstoffen an der Masse des Schwebstaubs PM10 sollten möglichst alle massenrelevanten Verbindungen und Elemente in die Auswertungen einbezogen werden. Schwermetalle und Metalloide wie Blei, Cadmium, Arsen und Antimon sowie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe wie Benzo(a)pyren wurden nicht zur Bildung der Massenbilanz berücksichtigt. Sie können zwar direkt bestimmt werden, tragen aber in ihrer Summe nur mit $\ll 1\%$ zur Staubmasse bei.

Die Summe der Massen der einzelnen analysierten massenrelevanten Inhaltsstoffe ergibt eine nicht vernachlässigbare Differenz zur ermittelten Masse an Schwebstaub PM10. Mit den zur Verfügung stehenden Analysemethoden ist eine vollständige Erfassung aller massenrelevanter Species in ihren Verbindungsformen nicht möglich. Beispielsweise liegen Erdkrustenmetalle wie Eisen und Aluminium vorwiegend als Oxide vor, können jedoch nur als Elemente erfasst werden. Auch die Bestimmung des Wassergehaltes, die Zusammensetzung organischer Verbindungen (Wasserstoff-, Sauerstoff-, Stickstoff- und Schwefelanteile) ist mit den im Rahmen dieser Untersuchungen zur Verfügung stehenden Analyseverfahren nicht möglich. Zur Ermittlung der PM10-Massenbilanz wurden deshalb einige Verbindungen gemäß nachfolgender Annahmen aus den ermittelten Elementkonzentrationen berechnet. Bei den Auswertungen zum LUBW-Bericht Nr. 61-08/2006 über die besondere Immissionssituationen während der Inversionswetterlagen Januar/Februar 2006 wurden nur Massenkorrekturen für Zn, Mn, Al, Fe und Si zur Berechnung auf ihre Oxide vorgenommen. Mg, K und Ca wurden zudem nicht dem Mineralstaub zugerechnet. Deshalb können Angaben zu den Konzentrationen und Massenanteilen einiger Staubinhaltsstoffe in den hier durchgeführten Auswertungen von Angaben in früheren Berichten geringfügig abweichen.

Zu detaillierten Diskussionen und zugrunde gelegte Annahmen wird auf die weiterführende Literatur verwiesen [Malm et al., 2000], [<http://vista.cira.colostate.edu/improve/>

[Tools/AerTypeEqs.htm](#)], [Hueglin et al., 2005], [Puxbaum et al., 2007], [Grosjean und Friedlander, 1975].

4.1 Mineralstaub

Unter der Annahme, dass die Erdkrustenelemente in ihrer normalen Oxidform vorliegen, kann die Mineralstaubkonzentration [MS] aus den ermittelten Elementkonzentrationen $[E_i]$ gemäß Gleichung 4.1 abgeschätzt werden.

Gleichung 4.1:

$$[MS] = 1,89 [Al] + 1,66 [Mg] + 1,21 [K] + 1,40 [Ca] + 1,43 [Fe] + 2,14 [Si] + 1,29 [Mn] + 1,24 [Zn]$$

Puxbaum berechnet die Kalziumanteile im Mineralstaub aus geogenen Verhältnissen mit 2,5 [Ca]. Der Faktor 2,5 entspricht hierbei der Umrechnung von Kalzium auf Kalziumcarbonat. Auch in Fachkreisen wird häufig die Meinung vertreten, dass Kalzium als Kalziumkarbonat (Kalk) im Schwebstaub PM10 vorliegt. Im vorliegenden Bericht wurde eine hiervon abweichende Vorgehensweise gewählt. Der Kalziumanteil in PM10 wurde als Kalziumoxid aus der ermittelten Kalziumkonzentration durch Multiplikation mit dem Faktor 1,40 abgeschätzt. Die Gründe hierfür werden nachfolgend erläutert.

Im Zeitraum vom 20.01.2006 bis 04.02.2006 wurden Filter der Messstationen Stuttgart - Am Neckartor, Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd auf die Elementkonzentrationen von Kalzium, Magnesium, Natrium und Kalium sowohl als lösliche Ionen nach wässriger Elution als auch nach Vollaufschluss in oxidierendem Säuregemisch analysiert. In den Tabellen 4.1.1 – 4.1.3 sind die ermittelten Konzentrationen in PM10 an den einzelnen Tagen, die Mittelwerte sowie die Konzentrationsverhältnisse $C_{\text{wasserlöslich}} / C_{\text{Aufschluss}}$ dargestellt. An den Stationen Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd erfolgte die Probenahme PM10 bis Ende April 2006 nur jeden zweiten Tag.

Tabelle 4.1.1: Vergleich wässrige Elution (w) und Vollaufschluss (A) Stuttgart Am Neckartor (S-NT)

Ort	Datum	w Ca ²⁺ µg/m ³	w Mg ²⁺ µg/m ³	w Na ⁺ µg/m ³	w K ⁺ µg/m ³	w Summe µg/m ³	A Ca µg/m ³	A Mg µg/m ³	A Na µg/m ³	A K µg/m ³	A Summe µg/m ³
S-N	21.01.2006	0,38	0,15	1,74	0,07	2,3	0,44	0,19	1,97	0,12	2,71
S-N	22.01.2006	0,45	0,08	1,49	0,13	2,2	0,49	0,11	1,62	0,20	2,42
S-N	23.01.2006	1,85	0,16	2,38	0,23	4,6	2,26	0,30	2,68	0,44	5,68
S-N	24.01.2006	1,83	0,15	1,30	0,27	3,5	2,25	0,32	1,45	0,58	4,59
S-N	25.01.2006	2,23	0,20	1,58	0,54	4,5	2,38	0,35	1,56	0,86	5,15
S-N	26.01.2006	1,12	0,10	4,55	0,45	6,2	1,30	0,18	4,74	0,60	6,82
S-N	27.01.2006	2,46	0,22	5,79	0,64	9,1	2,87	0,35	6,08	0,91	10,20
S-N	28.01.2006	2,09	0,24	6,10	0,97	9,4	2,24	0,31	5,94	1,08	9,57
S-N	29.01.2006	1,89	0,18	5,16	0,68	7,9	2,18	0,30	5,36	0,91	8,76
S-N	30.01.2006	3,66	0,27	7,11	0,76	11,8	4,33	0,57	7,22	1,19	13,31
S-N	31.01.2006	3,51	0,29	6,18	0,99	11,0	4,02	0,50	6,23	1,35	12,10
S-N	01.02.2006	3,24	0,26	5,59	1,13	10,2	3,78	0,46	5,79	1,48	11,52
S-N	02.02.2006	3,45	0,24	4,86	1,19	9,7	3,87	0,44	4,87	1,51	10,68
S-N	03.02.2006	0,87	0,08	1,98	0,86	3,8	0,96	0,14	1,98	0,97	4,06
S-N	04.02.2006	1,66	0,15	7,50	0,43	9,7	1,84	0,24	7,28	0,59	9,95
	Mittelwert	2,0	0,18	4,1	0,6	6,8	2,3	0,31	4,2	0,8	7,6
	% (c_{w/A})	87%	58%	97%	73%	90%					

LW:W

Tabelle 4.1.2: Vergleich wässrige Elution (w) und Vollaufschluss (A) Mannheim-Nord (MA-N)

Ort	Datum	w Ca ²⁺ µg/m ³	w Mg ²⁺ µg/m ³	w Na ⁺ µg/m ³	w K ⁺ µg/m ³	w Summe µg/m ³	A Ca µg/m ³	A Mg µg/m ³	A Na µg/m ³	A K µg/m ³	A Summe µg/m ³
MA-N	20.01.2006	0,16	0,03	0,26	0,24	0,69	0,30	0,09	0,40	0,33	1,11
MA-N	22.01.2006	0,04	0,03	0,36	0,14	0,58	0,04	0,03	0,26	0,15	0,49
MA-N	24.01.2006	0,32	0,04	0,55	0,31	1,22	0,40	0,09	0,37	0,44	1,31
MA-N	26.01.2006	0,11	0,02	0,30	0,44	0,88	0,16	0,04	0,31	0,53	1,04
MA-N	28.01.2006	0,13	0,03	0,71	0,55	1,41	0,17	0,04	0,74	0,63	1,58
MA-N	30.01.2006	0,26	0,03	0,54	0,45	1,28	0,29	0,05	0,54	0,53	1,42
MA-N	01.02.2006	0,09	0,01	0,10	0,39	0,57	0,06	0,01	0,09	0,48	0,64
MA-N	03.02.2006	0,04	0,01	0,08	0,30	0,43	0,05	0,01	0,04	0,33	0,44
	Mittelwert	0,14	0,024	0,36	0,35	0,88	0,19	0,046	0,34	0,43	1,00
	% (c_{w/A})	77%	51%	106%	82%	88%					

LW:W

Tabelle 4.1.3: Vergleich wässrige Elution (w) und Vollaufschluss (A) Schwarzwald Süd (KAE)

Ort	Datum	w Ca ²⁺ µg/m ³	w Mg ²⁺ µg/m ³	w Na ⁺ µg/m ³	w K ⁺ µg/m ³	w Summe µg/m ³	A Ca µg/m ³	A Mg µg/m ³	A Na µg/m ³	A K µg/m ³	A Summe µg/m ³
KAE	20.01.2006	0,02	0,00	0,04	0,02	0,09	0,01	0,01	0,04	0,03	0,09
KAE	22.01.2006	-	0,00	0,03	0,03	0,07	-	0,00	0,03	0,04	0,08
KAE	24.01.2006	0,09	0,01	0,13	0,18	0,42	0,08	0,03	0,16	0,22	0,48
KAE	26.01.2006	0,03	0,01	0,09	0,25	0,37	0,02	0,01	0,10	0,27	0,41
KAE	28.01.2006	0,04	-	0,06	0,06	0,16	0,05	-	0,03	0,09	0,17
KAE	30.01.2006	0,08	0,01	0,19	0,44	0,72	0,10	0,02	0,19	0,49	0,81
KAE	01.02.2006	0,09	0,01	0,18	0,29	0,57	0,07	0,01	0,12	0,28	0,49
KAE	03.02.2006	0,04	0,01	0,13	0,29	0,47	0,07	0,01	0,14	0,32	0,54
	Mittelwert	0,06	0,008	0,10	0,20	0,36	0,06	0,014	0,10	0,22	0,38
	% (c_{w/A})	103%	53%	103%	89%	93%					

LW:W

Trotz der sehr geringen ermittelten Konzentrationen, insbesondere an den Stationen Schwarzwald Süd und Mannheim-Nord, die teilweise an oder unter den analytischen Nachweisgrenzen liegen, zeigt sich eine weitgehende Übereinstimmung an den drei Stationen. Etwa 90% der Summe an Ca, Mg, Na und K liegen als wasserlösliche Salze im Schwebstaub PM₁₀ vor. Während Natrium vollständig als wasserlösliches Salz vorliegt, liegt Magnesium zu etwa 40% - 50% in wasserunlöslicher mineralisch gebundener Form vor. Die Kalziumkonzentration in PM₁₀ von 3,7 µg/m³ am 30.01.06 in Stuttgart - Am Neckartor entspricht einer Kalziumkonzentration von etwa 10 mg/l im wässrigen Eluat des Filters. Dies entspräche einer berechneten Kalziumkarbonatkonzentration von etwa 25 mg/l. Kalziumkarbonat löst sich gemäß seinem Löslichkeitsprodukt jedoch nur zu maximal 15 mg/l in Wasser. Folglich kann nur ein Teil der ermittelten Kalziumionenkonzentration als Kalziumkarbonat (Kalk) im Schwebstaub PM₁₀ vorliegen.

Zur Abschätzung der Mineralstaubkonzentration wird angenommen, dass Nitrat- und Sulfationen vollständig als Ammonsalze im Schwebstaub vorliegen und nicht als Natrium-, Kalium-, Kalzium- oder Magnesiumsalze. Die Bilanzierung der Ammonsalze (siehe Kap. 4.2) zeigt jedoch an allen drei untersuchten Stationen, dass die ermittelten Ammoniumkonzentrationen besonders im Jahr 2006 nicht zur vollständigen Neutralisation von Nitrat bzw. Sulfat ausreichen.

Hueglin schätzt die Siliziumkonzentration aus dem Durchschnittsverhältnis von Silizium zu Aluminium mit $[Si] = 3,41 [Al]$ ab. An der Station Stuttgart Am Neckartor wurde zur Ermittlung der Siliziumkonzentrationen vom 02.02.06 bis 31.12.06 parallel ein zweites Probenahmegerät Digital DHA-80 mit Cellulosenitratfiltern betrieben. Dabei wurde ein durchschnittliches Verhältnis von Silizium zu Aluminium von 3,0 aus Tagesmittelwerten ermittelt.

In den nachfolgenden Auswertungen wird die Siliziumkonzentrationen in PM₁₀ an den Stationen Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd aus der ermittelten Aluminiumkonzentration durch Multiplikation mit dem Faktor 3 abgeschätzt. Die nicht analytisch ermittelten Siliziumkonzentrationen vom 01.01.06 bis 01.02.06 an der Station Stuttgart Am Neckartor wurden ebenfalls aus den Aluminiumkonzentration durch Multiplikation mit dem Faktor 3 abgeschätzt, um die Datenreihe aufzufüllen.

4.2 Ammonsalze

Bei der Bilanzierung der Schwebstaubmasse PM₁₀ wird die Konzentration der Ammonsalze üblicherweise als die Summe der Konzentrationen von Ammonium, Nitrat und Sulfat berechnet. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Nitrat- und Sulfationen als Sekundäraerosole vollständig neutralisiert als NH₄NO₃ und (NH₄)₂SO₄ im Schwebstaub

Tabelle 4.2.1: Bilanzierung der Ammonsalze an den drei Messorten 2006

Ort	Messwerte Anzahl 2006	Mittelwert NH ₄ ⁺ µg/m ³	Mittelwert NO ₃ ⁻ µg/m ³	Mittelwert SO ₄ ²⁻ µg/m ³	berechnet aus NO ₃ NH ₄ ⁺ µg/m ³	berechnet aus SO ₄ NH ₄ ⁺ µg/m ³	SUMME berechnet aus SO ₄ /NO ₃ NH ₄ ⁺ µg/m ³	Minderbe- trag NH ₄ ⁺ µg/m ³	Minderbe- trag NH ₄ ⁺ Anteil
S-N	339	1,74	4,41	3,75	1,31	1,41	2,71	0,96	55%
MA-N	284	1,92	3,69	3,74	1,08	1,41	2,49	0,56	29%
KAE	285	0,89	1,24	1,90	0,36	0,72	1,08	0,19	21%

LUBW

Tabelle 4.2.2: der Ammonsalze an den drei Messorten 2007

Ort	Messwerte Anzahl 2007	Mittelwert NH ₄ ⁺ µg/m ³	Mittelwert NO ₃ ⁻ µg/m ³	Mittelwert SO ₄ ²⁻ µg/m ³	berechnet aus NO ₃ NH ₄ ⁺ µg/m ³	berechnet aus SO ₄ NH ₄ ⁺ µg/m ³	SUMME berechnet aus SO ₄ /NO ₃ NH ₄ ⁺ µg/m ³	Minderbe- trag NH ₄ ⁺ µg/m ³	Minderbe- trag NH ₄ ⁺ Anteil
S-N	343	2,01	3,75	3,05	1,09	1,14	2,23	0,23	11%
MA-N	343	2,17	3,39	3,55	0,99	1,34	2,32	0,15	7%
KAE	333	0,95	1,43	1,96	0,42	0,74	1,15	0,20	22%

LUBW

vorliegen. Bei der Berechnung der Ammonsalze an den drei Stationen im Jahr 2006 ist jedoch festzustellen, dass die ermittelten Ammoniumkonzentrationen nicht zur vollständigen Neutralisation der Nitrat- bzw. Sulfationen als Ammoniumnitrat und Ammoniumsulfat ausreichen. In den Tabellen 4.2.1 und 4.2.2 sind die mittleren Konzentrationen in 2006 und 2007 (ermittelt aus Tagesmittelwerten) von Ammonium, Nitrat und Sulfat den aus den Nitrat- und Sulfatkonzentrationen zur vollständigen Neutralisation stöchiometrisch errechneten Ammoniumkonzentrationen gegenübergestellt.

An der Messstation Stuttgart Am Neckartor wurde im Jahr 2006 ein Fehlbetrag an Ammonium zur vollständigen Absättigung von Nitrat und Sulfat von 55 %, bezogen auf die mittlere gemessene Ammoniumkonzentration, an den Stationen Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd von 20 % - 30 % ermittelt. Im Jahr 2007 lag der Fehlbetrag an Ammonium, bezogen auf die mittlere gemessene Ammoniumkonzentration, an den Stationen Stuttgart Am Neckartor und Mannheim-Nord bei ca. 10 %.

Ob ein Teil dieser Ionen als salpetrige Säure, Salpetersäure, Schwefelsäure bzw. als NH₄HSO₄ vorliegt, oder als lösliche Salze von Natrium, Kalium, Kalzium und Magnesium, und

wie die Bildung der verschiedenen Verbindungen von der Meteorologie abhängen, kann mit den zur Verfügung stehenden Analysenverfahren nicht geklärt werden.

In den nachfolgenden Auswertungen werden die Ammonsalzkonzentrationen als Summe von Ammonium, Nitrat und Sulfat abgeschätzt. Eine Korrektur bzw. Modellierung wird nicht durchgeführt.

4.3 Organisches Material

Die Bestimmung des organischen Kohlenstoffs (OC) im abgeschiedenen Feinstaub PM10 erfolgt durch Verbrennen der Probe unter Sauerstoffatmosphäre und der IR-spektroskopischen Detektion des dabei gebildeten CO₂. Das Analysenverfahren ermöglicht jedoch nicht die Bestimmung von Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff oder Schwefel in organischen Verbindungen. Die Abschätzung der Konzentrationen organischer Verbindungen, nachfolgend organisches Material (OM) genannt, erfolgt in den weiteren Auswertungen nach Grosjean und Friedlander [Grosjean und Friedlander, 1975] mit

$$[\text{OM}] = 1,4 [\text{OC}].$$

4.4 Nicht bestimmbarer Rest / Wasser

Schwebstaubpartikel können, in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte, variierende Wassergehalte aufweisen. Untersuchungen an Einzelpartikel zeigten, dass Aerosole bei niedriger relativer Luftfeuchte leicht mit gelösten Salzen wie Ammoniumsulfat übersättigen, bevor diese auskristallisieren [Spann et al., 1985], [Tang et al., 1986], [Clegg et al., 1995]. Der Wassergehalt im Schwebstaub PM₁₀ kann mit den zur Verfügung stehenden Analyseverfahren nicht direkt bestimmt werden. Die Abschätzung des Wassergehaltes aus thermodynamischen Berechnungen nach Clegg für das System $H^+ - NH_4^+ - Na^+ - SO_4^{2-} - NO_3^- - Cl^- - H_2O$ berücksichtigt nur die anorganischen Ammonsalze und Natriumchlorid. Organische Verbindungen, wie z.B. Dicarbonsäuren und Kohlehydrate, werden durch das Modell nicht berücksichtigt.

In den nachfolgenden Auswertungen erfolgt keine Korrektur bzw. keine Modellierung des Wassergehaltes im Schwebstaub PM₁₀.

Die zur Verfügung stehenden Analyseverfahren ermöglichen weiterhin keine direkte Bestimmung von Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff oder Schwefel in organischen Verbindungen (siehe 4.3) und Sauerstoff und Karbonaten in den anorganischen Verbindungen. Die Ermittlung des organischen Materials und der Mineralstaubkonzentrationen erfolgt durch Multiplikation des organischen Kohlenstoffes bzw. der Elementkonzentrationen mit angenommenen Faktoren.

In Kapitel 4.2 wurde gezeigt, dass die Sulfationen und Nitrationen nicht ausschließlich als Ammoniumsalze vorliegen. Schwermetalle und Metalloide sowie polyaromatische Kohlenwasserstoffe wie Benzo(a)pyren werden aufgrund ihrer geringen Staubmassenanteile nicht zur Bildung der Massenbilanz herangezogen.

Bei der Bildung der Massenbilanz resultiert deshalb ein nicht bestimmbarer Rest, der sowohl den Wassergehalt als auch die Unsicherheiten der Berechnungsfaktoren und die Messunsicherheiten der analytischen Bestimmungsverfahren beinhaltet.

5 Meteorologische Auswertungen

Die meteorologischen Bedingungen bestimmen neben den Emissionsverhältnissen die Immissionsbelastung entscheidend. Stabile Hochdruckwetterlagen im Winterhalbjahr, mit niedrigen Windgeschwindigkeiten, Schneebedeckung und damit einhergehender Auskühlung der unteren Luftschichten sowie Temperaturinversionen in niedriger Höhe mit eingeschränkter Durchmischung in der Atmosphäre, haben eine Anreicherung von Luftschadstoffen zur Folge. Mit der Andauer einer solchen Wetterlage steigt die Belastung mit Luftschadstoffen wie Feinstaub PM₁₀ und Stickstoffdioxid an.

In diesem Bericht werden vergleichende Betrachtungen der PM₁₀ Belastung und der massenrelevanten Inhaltsstoffe bei unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen über das Gesamtjahr 2006 sowie für ausgewählte Episoden des Jahres 2006 angestellt.

5.1 Datengrundlage und Auswerteverfahren

In einem früheren Bericht [LUBW, Bericht Nr. 61-08/2006] wurden die Auswirkungen der Inversionswetterlagen im Januar und Februar 2006 auf die Immissionssituationen ausführlich beschrieben.

Zur Beschreibung der meteorologischen Verhältnisse während der zwei austauscharmen Wetterlagen im Januar und zu Beginn des Februars 2006 wurden die in den von der LUBW betriebenen Messnetzen gemessenen meteorologischen Größen herangezogen. Dies sind vor allem Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Temperatur und Globalstrahlung. Darüber hinaus wurde auch der Luftdruck betrachtet. Die Radiosondenaufstiege der Station des Deutschen Wetterdienstes (DWD) in Stuttgart dienten zur Abschätzung der Inversionsuntergrenze (Mischungsschichthöhe) und damit zur Abschätzung des Volumens, das für den vertikalen Austausch und für die Durchmischung eines Schadstoffes in der Atmosphäre zur Verfügung steht. Die Höhe der Mischungsschicht ist als Obergrenze einer dem Boden aufliegenden Schicht mit vertikaler Durchmischung und annähernd trockenadiabatischem Temperaturgradienten definiert [HOLZWORTH 1974], [HELBIG et al. 1999].

Die Bestimmung der Mischungsschichthöhen um täglich 12 UTC (Universal Time Coordinated / Weltzeit) für das Gesamtjahr 2006 an den Stationen Stuttgart Am Neckartor, Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd erfolgte durch das meteorologische Institut der Universität Freiburg. Die Ergebnisse aus den Radiosondenaufstiegen der DWD-Station in Stuttgart beinhalteten die Profil-Messwerte für die „charakteristischen Höhen“ unter Angabe von Druckfläche, geopotentieller Höhe, Lufttemperatur, Taupunkt, relativer Feuchte, Wasserdampf-Mischungsverhältnis, Windrichtung und Windgeschwindigkeit sowie potentieller Temperatur, äquivalentpotentieller Temperatur und virtueller Temperatur. Aus den Radiosondenprofilen wurde die Mischungsschichthöhe H nach einem automatisierten Verfahren bestimmt, welches auf Marsik zurückgeht [MARSIK et al., 1995]. In diesem Verfahren wird aus den Profilen der potentiellen Temperatur θ eine „kritische Inversionsschicht“ bestimmt, welche die Obergrenze der Mischungsschicht markiert. Vergleichbare Verfahren zur Bestimmung von Mischungsschichthöhen H aus Profilmessungen [PIRINGER et al., 1998] unterscheiden sich in den gesetzten Grenzwerten für den Vertikalgradienten der potentiellen Temperatur und der Stärke der Inversion. Das erste von Piringer beschriebene Verfahren basiert auf dem dänischen meteorologischen Pre-Processor OML [OLESEN et al., 1992, zitiert in PIRINGER et al. 1998]. Zunächst wurden die H -Werte (Mischungsschichthöhen) unabhängig voneinander nach den drei Berechnungsverfahren bestimmt. Bei einer starken Inversion können die mit den drei Berechnungsmethoden ermittelten H -Werte differieren. Bisher gibt es jedoch kein einheitliches Verfahren, wie mit diesen unterschiedlichen H -Werten zu verfahren ist. Die mit den drei unterschiedlichen Grenzwerten bestimmten H -Werte wurden deshalb abschließend gemittelt.

Neben der Betrachtung des Gesamtjahres 2006 wurden zur Untersuchung der Schwebstaubzusammensetzung PM₁₀ bei verschiedenen meteorologischen Bedingungen 5 Kurzzeitepisoden anhand der Schwebstaubkonzentrationen, Mischungsschichthöhenprofile und Lufttemperaturen zu differenzierten Auswertungen ausgewählt. In den Abbil-

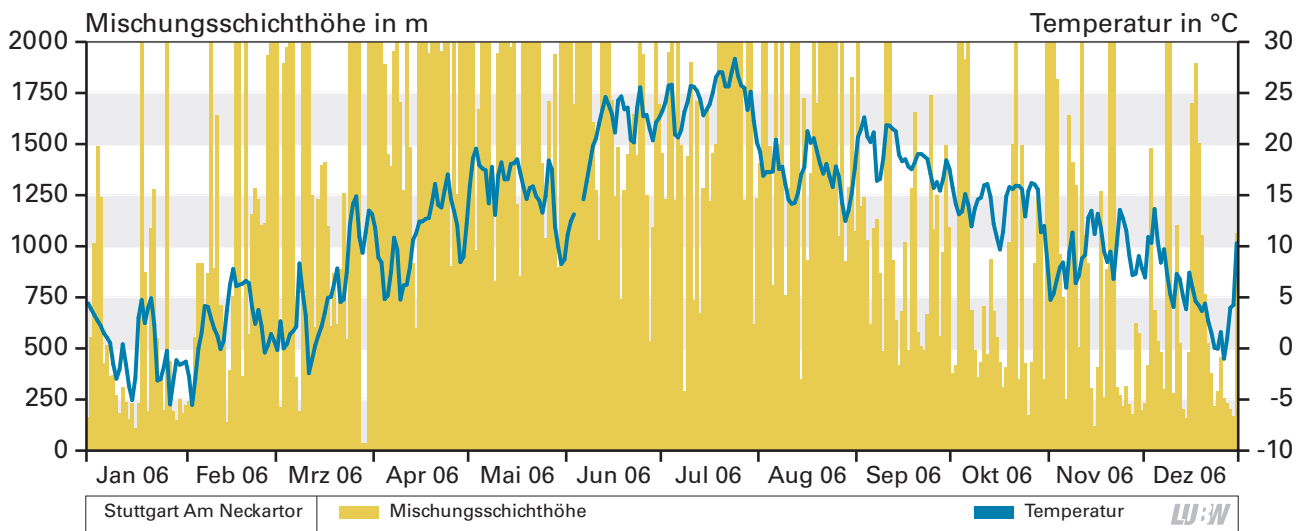


Abbildung 5.1.1: Mischungsschichthöhen und Temperaturverlauf Stuttgart Am Neckartor im Jahr 2006

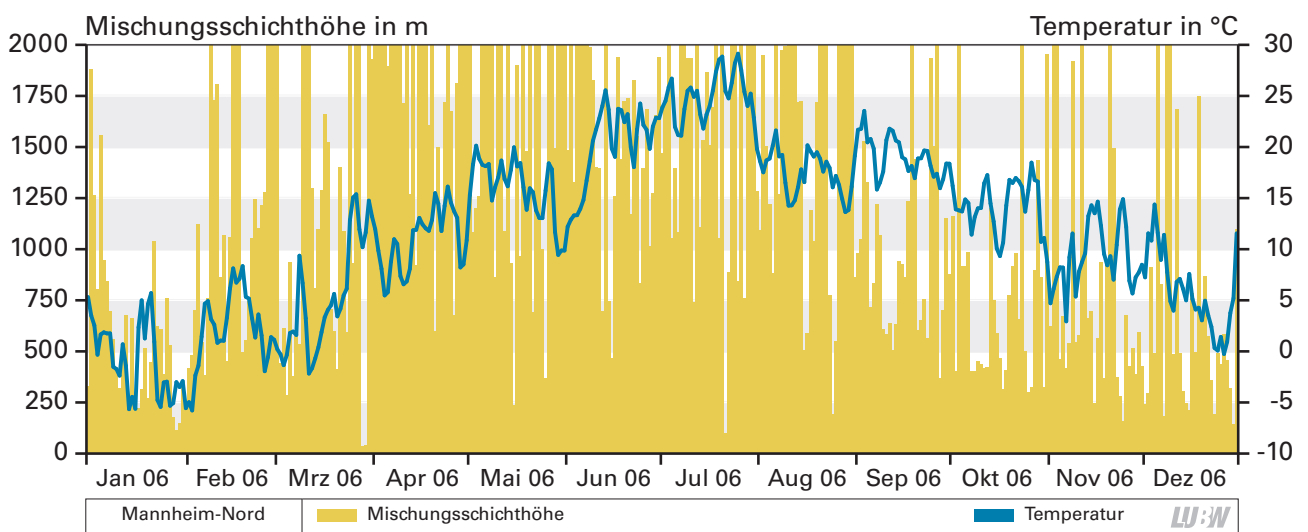


Abbildung 5.1.2: Mischungsschichthöhen und Temperaturverlauf Mannheim-Nord im Jahr 2006

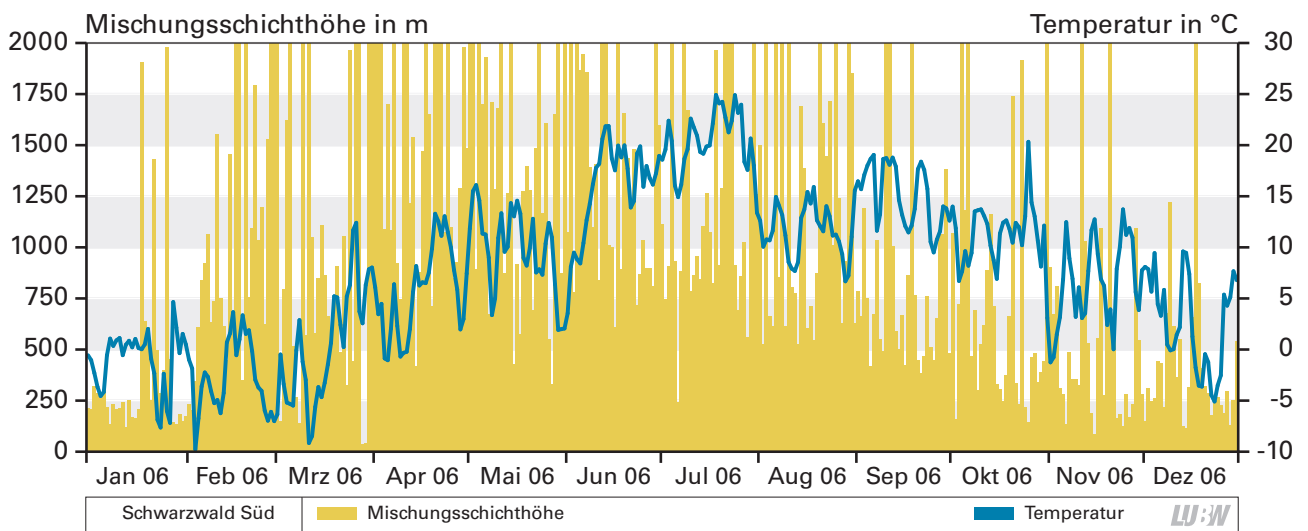


Abbildung 5.1.3: Mischungsschichthöhen und Temperaturverlauf Schwarzwald Süd im Jahr 2006

dungen 5.1.1 – 5.1.3 sind die Mischungsschichthöhen und Neckartor, Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd für das die Lufttemperaturen an den Stationen in Stuttgart Am Jahr 2006 dargestellt.

6 Betrachtung der Ergebnisse für das Gesamtjahr 2006

Aufgrund des umfangreichen Datenmaterials erfolgt die differenzierte Auswertung bezüglich der Staubzusammensetzung grundsätzlich anhand der Daten aus dem Jahr 2006. Zur Verdeutlichung einzelner Sachverhalte werden die Daten aus 2007 jeweils hinzu gezogen.

6.1 Schwebstaubkonzentration PM10

In Abbildung 6.1.1 sind die Schwebstaubkonzentrationen PM10 an den Stationen Stuttgart Am Neckartor, Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd für das Gesamtjahr 2006 als Übersicht dargestellt.

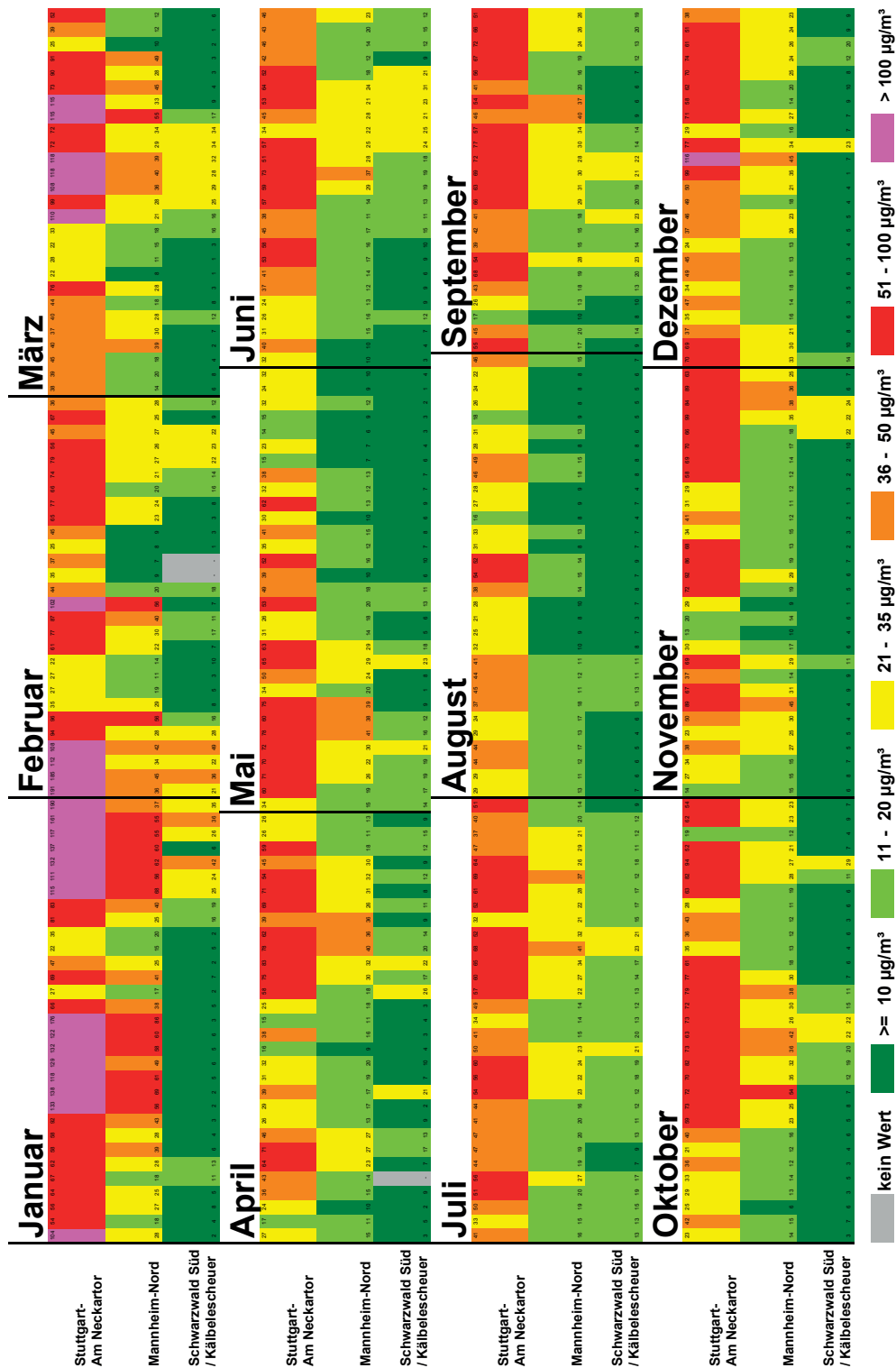


Abbildung 6.1.1: PM10 Schwebstaubkonzentrationen an den 3 Messstationen im Jahr 2006

Erwartungsgemäß wurden die höchsten Schwebstaubkonzentrationen an der Spot – Messstation mit direktem Verkehrseinfluss in Stuttgart Am Neckartor ermittelt. Die geltenden Immissionswerte der 22. BImSchV von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für das Jahresmittel sowie die maximale Häufigkeit von 35 Tagen mit Schwebstaubkonzentrationen PM_{10} von mehr als $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurden an dieser Station deutlich überschritten. An der Station Mannheim-Nord, im städtischen Hintergrund, betrug der Jahresmittelwert $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei 17 Überschreitungen des Immissionswertes für das Tagesmittel. An der Hintergrundmessstation Schwarzwald Süd wurde an keinem Tag des Jahres 2006 eine Schwebstaubkonzentration von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht. Der Jahresmittelwert betrug $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aus Abbildung 6.1.2 ist an allen drei Stationen ein ausgeprägter Jahresgang der Schwebstaubkonzentrationen zu erkennen. Die höchsten Schwebstaubkonzentrationen wurden in den Wintermonaten, bei schlechten Austauschbedingungen der Atmosphäre mit niedrigen Mischungsschichthöhen (vgl. auch Abbildung 5.1.1 – 5.1.3) und niedrigen Lufttemperaturen ermittelt. Besonders ausgeprägt sind die sehr hohen Werte während der zwei mehrtägig anhaltenden Inversionswetterlagen im Januar und Februar sowie im Zeitraum vom 13. – 24. März 2006.

Im Rahmen eines Messprogramms zur Untersuchung des Einflusses von Straßenreinigungsmassnahmen auf die PM_{10} -Immissionskonzentrationen am Stuttgarter Neckartor wurde im Zeitraum vom 15.11.2006 bis 15.03.2007 eine Messstation im Schlossgarten Stuttgart betrieben, um den städtischen Hintergrund ohne direkten Verkehrseinfluss zu erfassen. Die Messstation lag in der Nähe des Neckartors ca. 90 m von den verkehrsreichen Strassen entfernt.

In Abbildung 6.1.3 sind die Schwebstaubkonzentrationen PM_{10} für diesen Zeitraum an den Messstationen Stuttgart Am Neckartor und Stuttgart – Schlossgarten dargestellt.

Anhand der Abbildungen wird ersichtlich, dass die Schwebstaubkonzentrationen an den verschiedenen Messorten zwar auf unterschiedlichen Niveaus verlaufen, jedoch sowohl an der Verkehrsmessstation als auch im nahen sowie überregionalen städtischen und ländlichen Hintergrund den gleichen zeitlichen Verlauf bezüglich Konzentrationsspitzen und Konzentrationsminima aufweisen. Dies verdeutlicht, dass die Schwebstaubkonzentrationen PM_{10} , neben den örtlichen Emissionen, entscheidend von den meteorologischen Bedingungen wie Mischungsschichthöhe, Windgeschwindigkeit und Niederschlag abhängen.

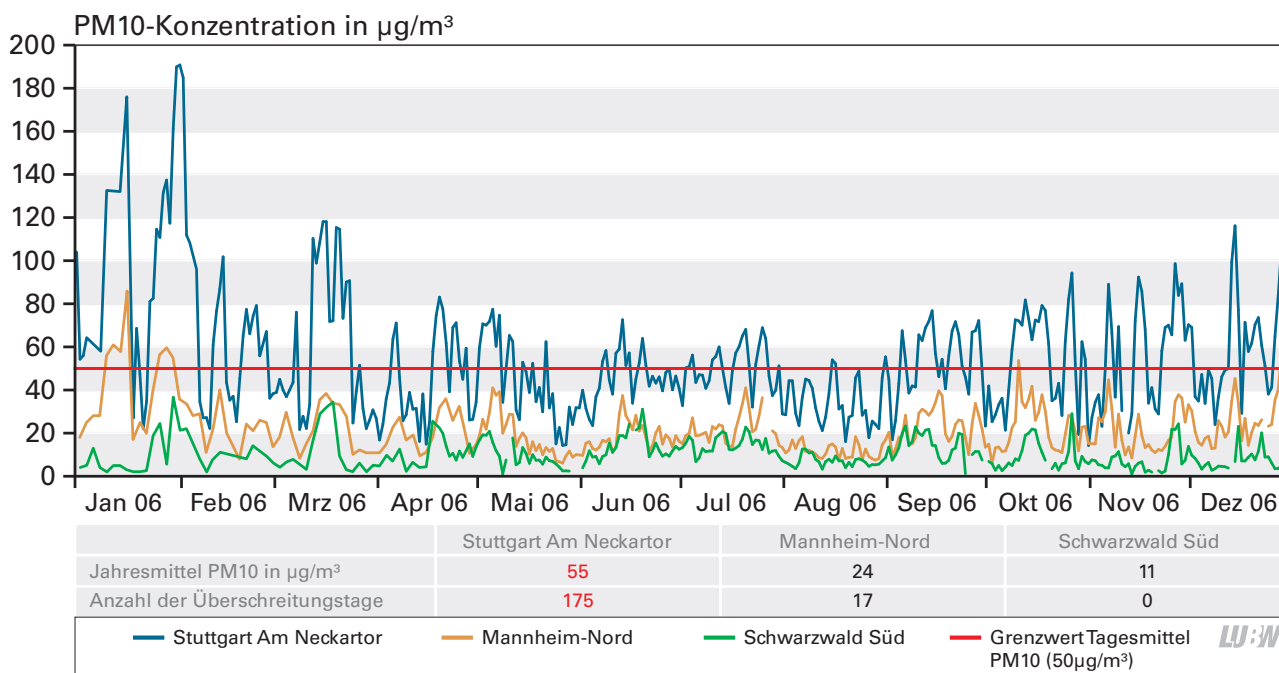


Abbildung 6.1.2: PM_{10} Schwebstaubkonzentrationen 2006 an den Stationen Stuttgart Am Neckartor, Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd

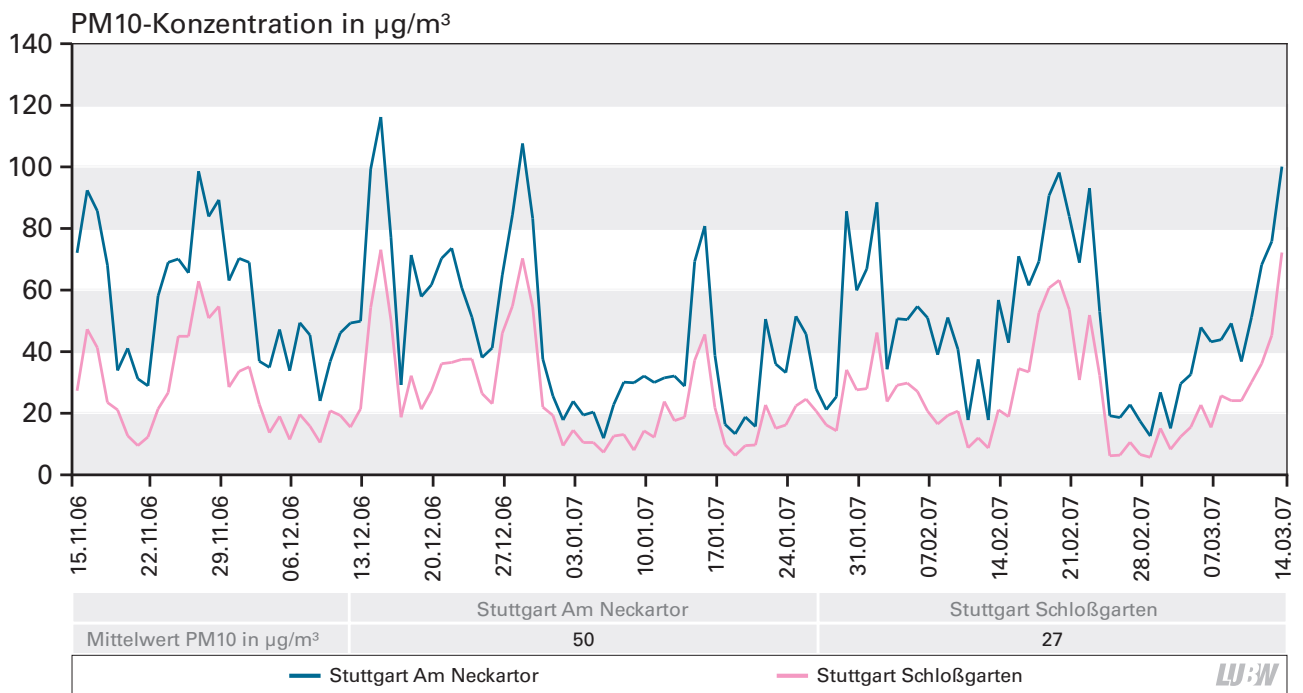


Abbildung 6.1.3: PM10 Schwebstaubkonzentrationen an den Stationen Stuttgart Am Neckartor und Stuttgart Schloßgarten

6.2 Konzentrationen und Anteile der massenrelevanten Inhaltsstoffe in Schwebstaub PM10

In Tabelle 6.2.1 sind die Jahresmittelwerte der massenrelevanten Inhaltsstoffe an den drei Messstationen im Jahr 2006 aufgeführt. Der Mineralstaub wurde aus der Summe der Oxide von Zink, Aluminium, Mangan Eisen, Kalzium, Magnesium, Kalium und Silizium berechnet. Wie in Kapitel 4.1 gezeigt wurde, liegen etwa 90% der Summe an Ca, Mg, Na und Kalium als wasserlösliche Verbindungen im Schwebstaub PM10 vor. Deshalb ist neben dem Mineralstaub die Summe der löslichen Kationen nochmals getrennt ausgewiesen. Auch Siliziumdioxid sowie Natrium sind nochmals getrennt aufgeführt.

Beim Vergleich der mittleren Konzentrationen der Inhaltsstoffe ergeben sich deutliche Unterschiede zwischen der

Verkehrsmessstation Stuttgart Am Neckartor und den Stationen im städtischen und ländlichen Hintergrund. Die EC- und OM-Konzentrationen in Stuttgart Am Neckartor verdeutlichen mit je etwa $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ den direkten Verkehrseinfluss. Auch die mittlere Mineralstaubkonzentration und die Konzentration löslicher Kationen liegt deutlich über denen an der städtischen Hintergrundstation Mannheim-Nord und der ländlichen Station Schwarzwald Süd. Es fällt auf, dass die Jahresmittelwerte der Ammoniumsalzkonzentrationen in Stuttgart Am Neckartor und Mannheim-Nord auf gleichem Niveau liegen, obwohl die mittlere Schwebstaubkonzentration in Stuttgart Am Neckartor mehr als doppelt so hoch ist wie in Mannheim-Nord. Aufgrund der unterschiedlich hohen Staubbelastungen an den drei Stationen lässt eine Betrachtung der Jahresmittelwerte der massenrelevanten Inhaltsstoffe keine direkte Aussage über die Schwebstaubzusammensetzung zu. Deshalb sind

Tabelle 6.2.1: Jahresmittelwerte PM10 und massenrelevanter Inhaltsstoffe 2006

Messstation	Jahresmittelwerte 2006									
	PM10 [µg/m³]	EC [µg/m³]	OM [µg/m³]	Ammonsalze [µg/m³]	Mineralstaub [µg/m³]	SiO ₂ [µg/m³]	Na, K, Ca, Mg [µg/m³]	Na [µg/m³]	Chlorid [µg/m³]	Rest [µg/m³]
Stuttgart Am Neckartor	55	13,3	12,7	9,9	12,7	2,1	2,6	0,8	1,7	3,8
Mannheim-Nord	24	2,8	4,3	9,4	3,3	1,4	0,9	0,3	0,9	1,0
Schwarzwald Süd	11	1,1	1,6	4,0	1,4	0,7	0,5	0,2	0,1	1,8

in den folgenden Abbildungen die Jahresverläufe bzw. die prozentualen Anteile der massenrelevanten Inhaltsstoffe am Schwebstaub PM10 an den drei Stationen für das Gesamtjahr 2006 dargestellt. In den Konzentrationsdiagrammen sind neben EC, OM, den Ammoniumsätzen und dem nicht bestimmbar (nicht analysier- oder berechenbaren) Rest sowohl Mineralstaub als Summe der Oxide von Zn, Mn, Al, Fe, Ca, Mg und K und Si als auch nochmals die Summe der (teilweise) löslichen Kationen Na, K, Ca und Mg eingezeichnet. In den Kuchendiagrammen sind die Oxide von Zn, Mn, Al, Fe, Ca, Mg und K sowie Siliziumoxid getrennt eingetragen. Der Mineralstaub ergibt sich aus der Summe dieser Anteile.

Die prozentualen Anteile der massenrelevanten Inhaltsstoffe in Schwebstaub PM10 weisen an der städtischen Hintergrundstation Mannheim-Nord und der Hintergrundstation Schwarzwald Süd eine weitgehende Übereinstimmung auf. An den Hintergrundstationen tragen die Ammoniumsalze im Jahresmittel mit etwa 40 % zur Schwebstaubmasse PM10 bei. Auch die prozentualen Anteile von elementarem Kohlenstoff, organischem Material und Mineralstaub liegen mit 13 %, 19 % und 15% in Mannheim-Nord bzw. 11 %, 14 % und 13 % in Schwarzwald Süd im Jahresmittel auf gleichem Anteilsniveau. An der Verkehrsmessstation Stuttgart Am Neckartor dominieren dagegen der elementare Kohlenstoff, organisches Material und Mineralstaub mit jeweils etwa 25 % Anteil an der PM10 Schwebstaubkonzentration.

Der unbekannte Rest wurde an den Stationen Stuttgart Am Neckartor zu 5%, Mannheim-Nord zu 3 % und Schwarzwald Süd zu 19 % ermittelt. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass an der Hintergrundstation Schwarzwald Süd an mehr als der Hälfte aller Tage die Schwebstaubkonzentrationen PM10 unter $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen. Daraus resultiert, dass bei vielen der untersuchten Filtern ein Teil der Inhaltsstoffe nicht nachgewiesen werden können und damit in den nicht bestimmbar Rest mit eingehen.

Nachfolgend werden die massenrelevanten Inhaltsstoffe an den drei Messstationen einzeln betrachtet.

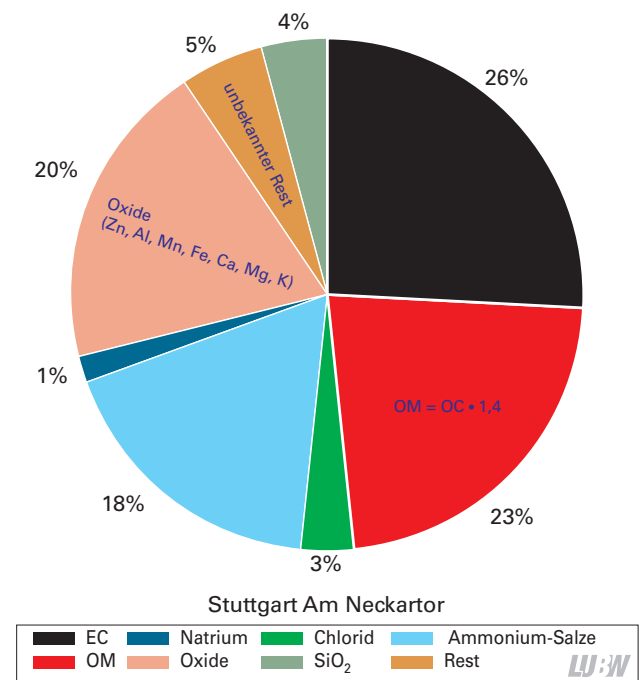


Abbildung 6.2.2: Prozentuale Anteile der massenrelevanten Inhaltsstoffe an PM10 2006 an der Station Stuttgart Am Neckartor

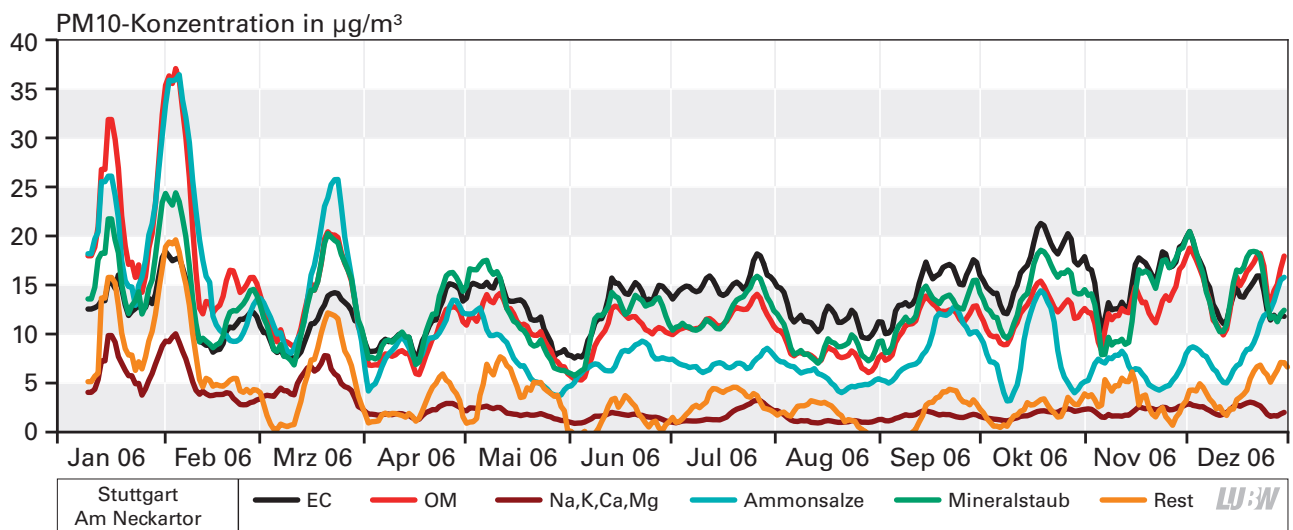


Abbildung 6.2.1: Konzentration der massenrelevanten Inhaltsstoffe im Schwebstaub PM10 2006 an der Station Stuttgart Am Neckartor (Trendlinien gleitender Mittelwert 10 Perioden)

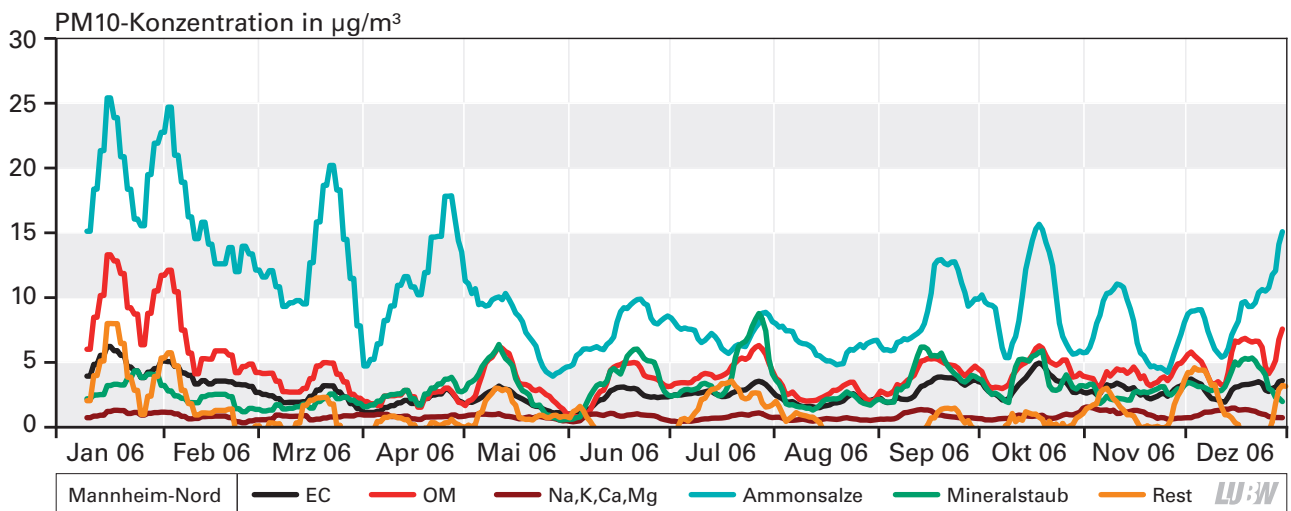


Abbildung 6.2.3: Konzentration der massenrelevanten Inhaltsstoffe im Schwebstaub PM10 2006 an der Station Mannheim-Nord (Trendlinien gleitender Mittelwert 10 Perioden)

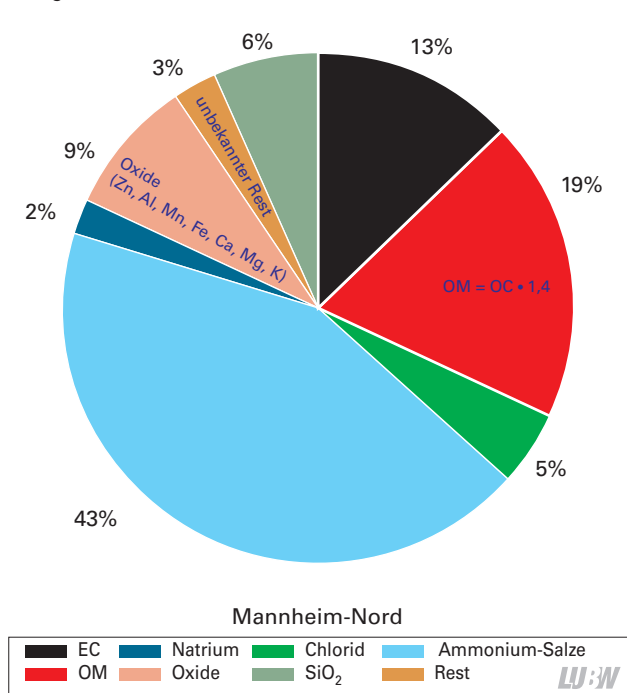


Abbildung 6.2.4: Prozentuale Anteile der massenrelevanten Inhaltsstoffe an PM10 2006 an der Station Mannheim-Nord

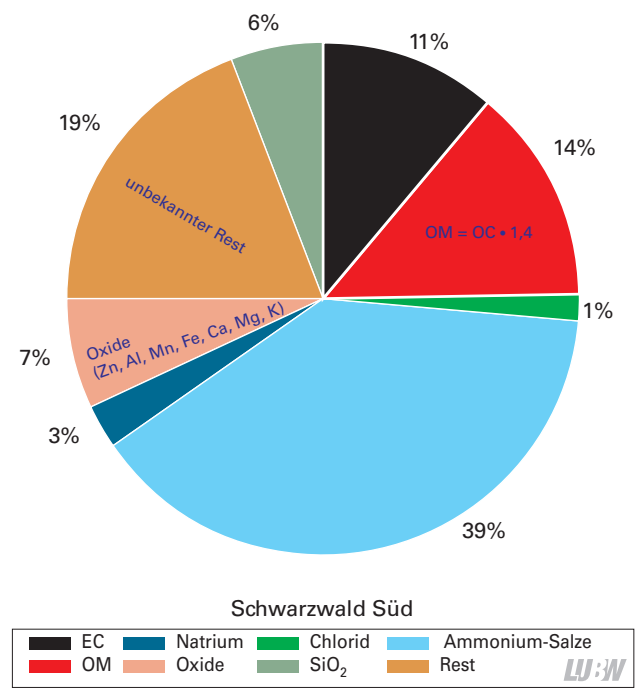


Abbildung 6.2.6: Prozentuale Anteile der massenrelevanten Inhaltsstoffe an PM10 2006 an der Station Schwarzwald Süd

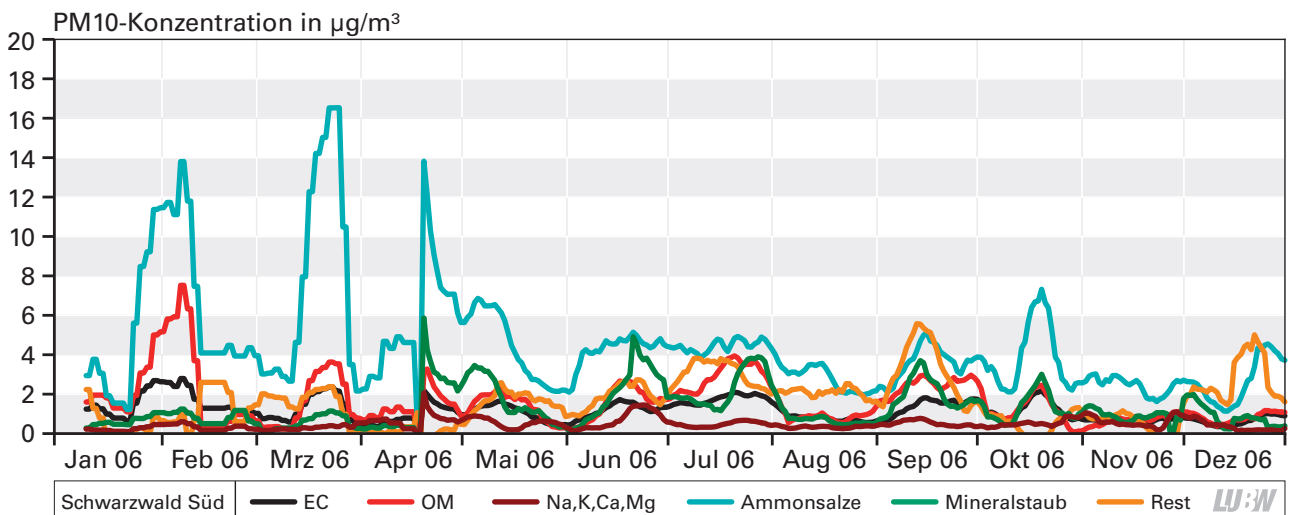


Abbildung 6.2.5: Konzentration der massenrelevanten Inhaltsstoffe im Schwebstaub PM10 2006 an der Station Schwarzwald Süd (Trendlinien gleitender Mittelwert 10 Perioden)

6.2.1 Ammonsalze

Die Bildung der Ammonsalze erfolgt in der Gasphase durch Neutralisation von gasförmiger Schwefelsäure und Salpetersäure mit Ammoniak. Die Konzentrationen und Phasenzustände der Aerosole sind abhängig von den Konzentrationen der Reaktionspartner, der Feuchte und der Temperatur. Die Konzentration an Schwefelsäure in der Gasphase ist aufgrund ihres geringen Dampfdruckes sehr niedrig. Die gebildete Schwefelsäure kondensiert sofort oder reagiert mit Ammoniak zu Ammoniumhydrogensulfat bzw. Ammoniumsulfat. Diese Reaktion ist irreversibel, d.h. das an das Sulfat gebundene Ammoniak verbleibt in der Aerosolphase. Das restliche zur Verfügung stehende Ammoniak reagiert mit Salpetersäure zu Ammoniumnitrat. Diese Reaktion ist reversibel.

In den nachfolgenden Abbildungen 6.2.1.1 – 6.2.1.3 sind die prozentualen Anteile der Ammonsalzkonzentrationen zusammen mit den Lufttemperaturen an den drei untersuchten Stationen dargestellt.

An allen drei Messorten ist mit steigender Lufttemperatur im Sommerhalbjahr ein Rückgang der Ammonsalzanteile im Schwebstaub zu beobachten. Im September steigen die Ammonsalzanteile zwar wieder an, erreichen aber bis zum Jahresende nicht mehr die Anteile wie im Januar bis März 2006. Der Ammoniumsulfatanteil ist allerdings nicht direkt proportional von der Temperatur abhängig. Ein starker Anstieg der Ammonsalzanteile, d.h. eine überdurchschnittliche Bildung während der Inversionswetterlagen kann an keinem der drei Messorte beobachtet werden.

Bei der Betrachtung der Nitrat/Sulfat-Verhältnisse (Abbildungen 6.2.1.4 – 6.2.1.6) ist an allen drei Messorten eine deutliche Abhängigkeit von der Lufttemperatur zu erkennen. Bei Temperaturen unter 10 °C ist das Nitrat/Sulfat-Verhältnis >1 und sinkt bei Temperaturen über 20 °C auf unter 0,5 ab. Es resultiert ein Absinken des Nitrat/Sulfat-Verhältnisses bei höheren Temperaturen bzw. ein Anstieg des Nitrat/Sulfat-Verhältnisses bei niedrigen Temperaturen.

Die Abbildungen 6.2.1.7 – 6.2.1.9 verdeutlichen diesen Zusammenhang. Der Sulfatanteil im Schwebstaub PM10 bleibt von Januar bis Oktober 2006 weitgehend konstant,

während der Nitratanteil mit steigenden Temperaturen in den Sommermonaten sinkt und ab Oktober wieder ansteigt.

In Abbildung 6.2.1.10 sind die Ammonsalzkonzentrationen an den Messstationen Stuttgart - Am Neckartor und der städtischen Hintergrundstation ohne direkten Verkehrseinfluss im Schlossgarten für den Zeitraum vom 15.11.2006 bis 14.03.2007 dargestellt.

Die Ammonsalzkonzentrationen verlaufen in Stuttgart Am Neckartor und im Schlossgarten annähernd gleich, obwohl die mittlere Schwebstaubkonzentration PM10 an der Verkehrsmessstation Stuttgart - Am Neckartor über den betrachteten Zeitraum mit 50 µg/m³ etwa doppelt so hoch ist wie im Schlossgarten mit 27 µg/m³ (siehe Abbildung 6.1.3). Die lokale Ammonsalzkonzentration wird offenbar nicht direkt durch den lokalen Verkehr beeinflusst, sondern entspricht auch in Strassennähe dem regionalen städtischen Hintergrund.

In Abbildung 6.2.1.11 sind die Ammonsalzkonzentrationen für das Gesamtjahr 2006 an den Messstationen Stuttgart Am Neckartor, Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd zur Betrachtung der weiträumigen Verteilung dargestellt. Trotz der großen Entfernungen zwischen den Stationen verlaufen die Ammonsalzkonzentrationen auch in Stuttgart Am Neckartor und Mannheim-Nord annähernd gleich. Dabei ist die mittlere Schwebstaubkonzentration PM10 an der Verkehrsmessstation Stuttgart - Am Neckartor mit 55 µg/m³ mehr als doppelt so hoch ist wie in Mannheim-Nord. Auch an der Hintergrundstation Schwarzwald Süd zeigen die Ammonsalzkonzentrationen, auf niedrigerem Niveau, den gleichen zeitlichen Verlauf. Auch dieser Befund bestätigt, dass die lokale Ammonsalzkonzentration offenbar nicht direkt durch den lokalen Verkehr beeinflusst wird, sondern auch in Strassennähe dem überregionalen städtischen Hintergrund entspricht.

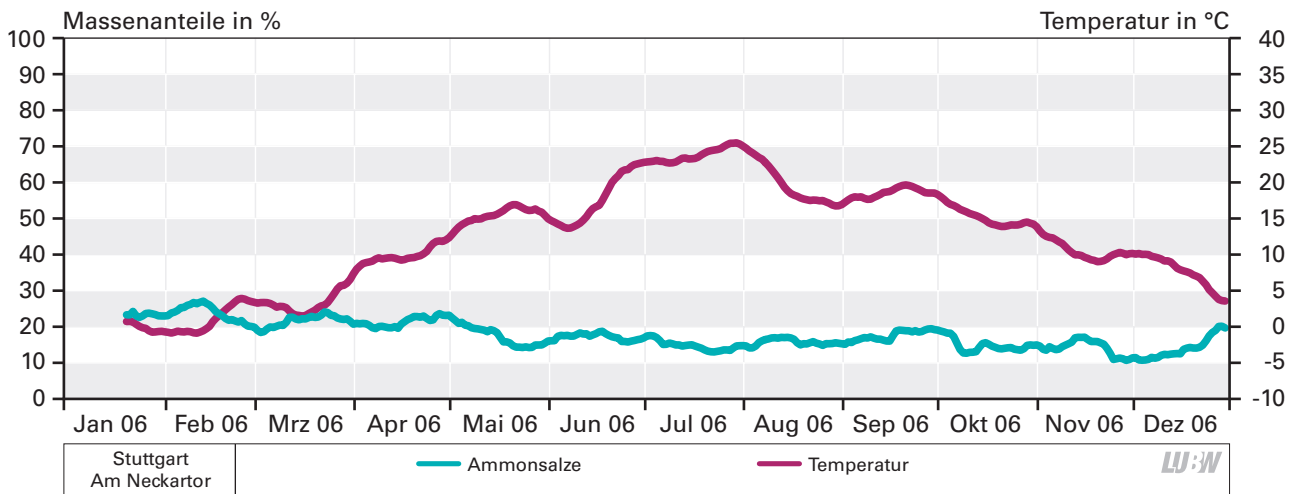


Abbildung 6.2.1.1: Jahresverlauf des Ammonsalzanteils im Schwebstaub PM10 an der Station Stuttgart Am Neckartor 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 20 Perioden)

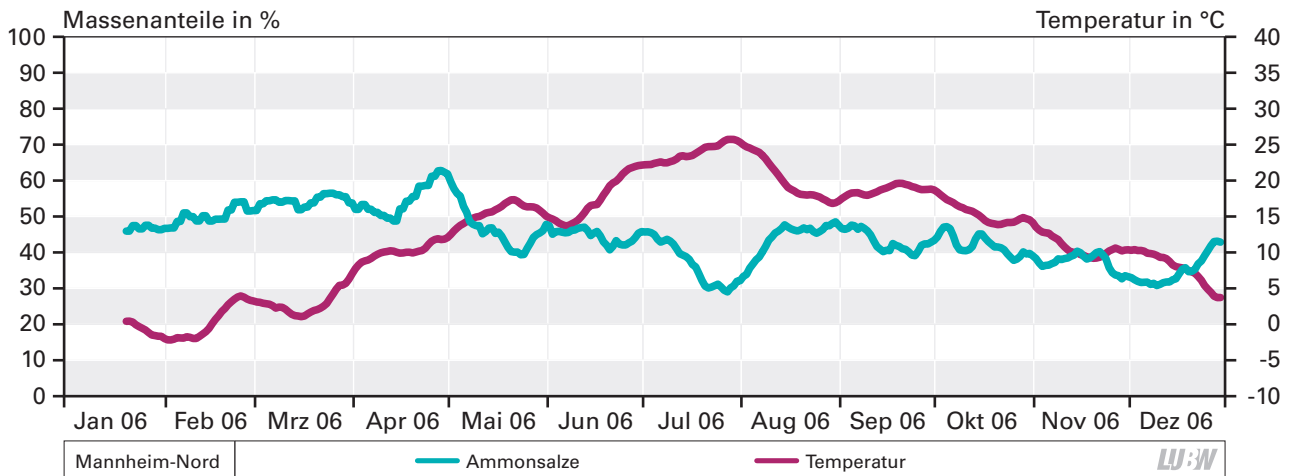


Abbildung 6.2.1.2: Jahresverlauf des Ammonsalzanteils im Schwebstaub PM10 an der Station Mannheim-Nord 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 20 Perioden)

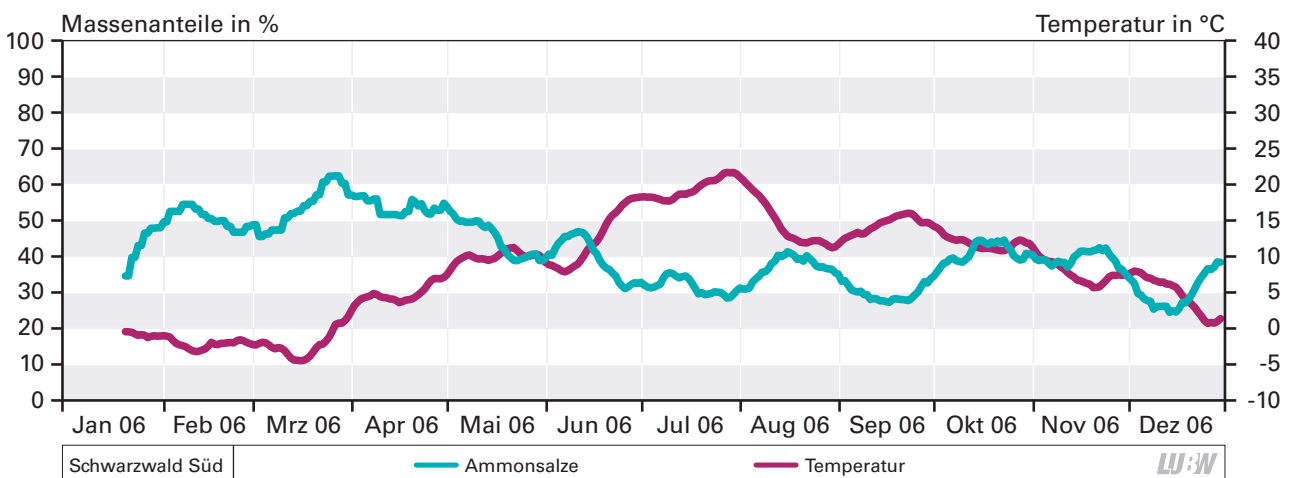


Abbildung 6.2.1.3: Jahresverlauf des Ammonsalzanteils im Schwebstaub PM10 an der Station Schwarzwald Süd 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 20 Perioden)

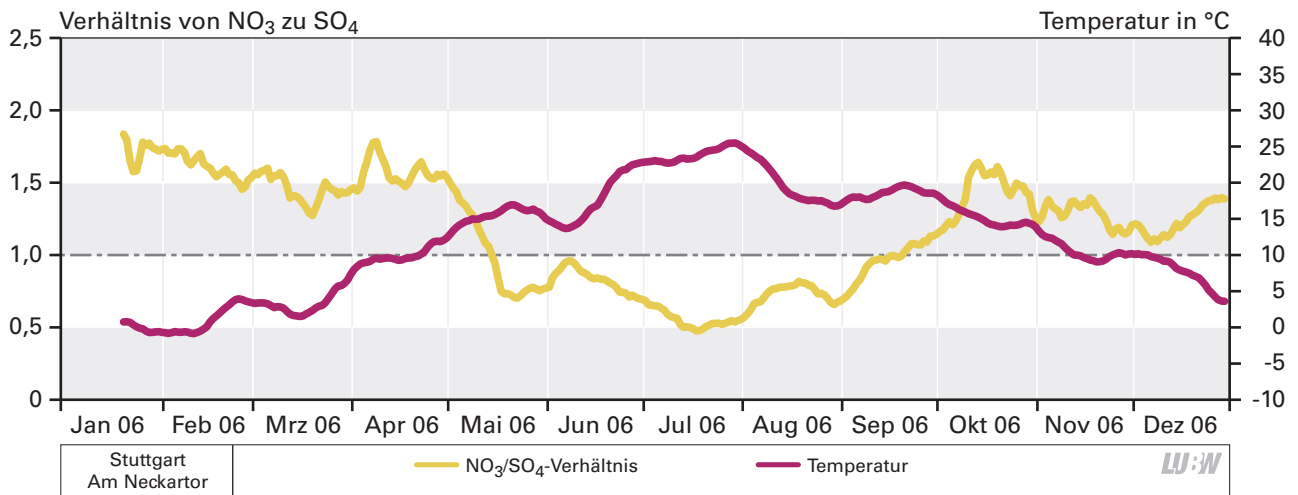


Abbildung 6.2.1.4: Jahresverlauf des Nitrat/Sulfat-Verhältnisses im Schwebstaub PM10 an der Station Stuttgart Am Neckartor 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 20 Perioden)

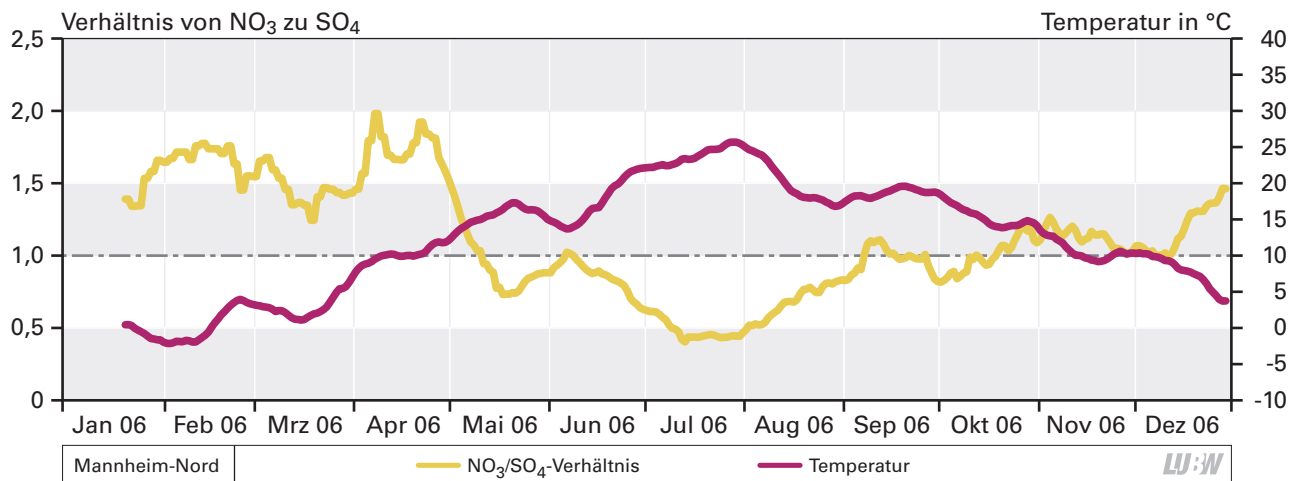


Abbildung 6.2.1.5: Jahresverlauf des Nitrat/Sulfat-Verhältnisses im Schwebstaub PM10 an der Station Mannheim-Nord 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 20 Perioden)

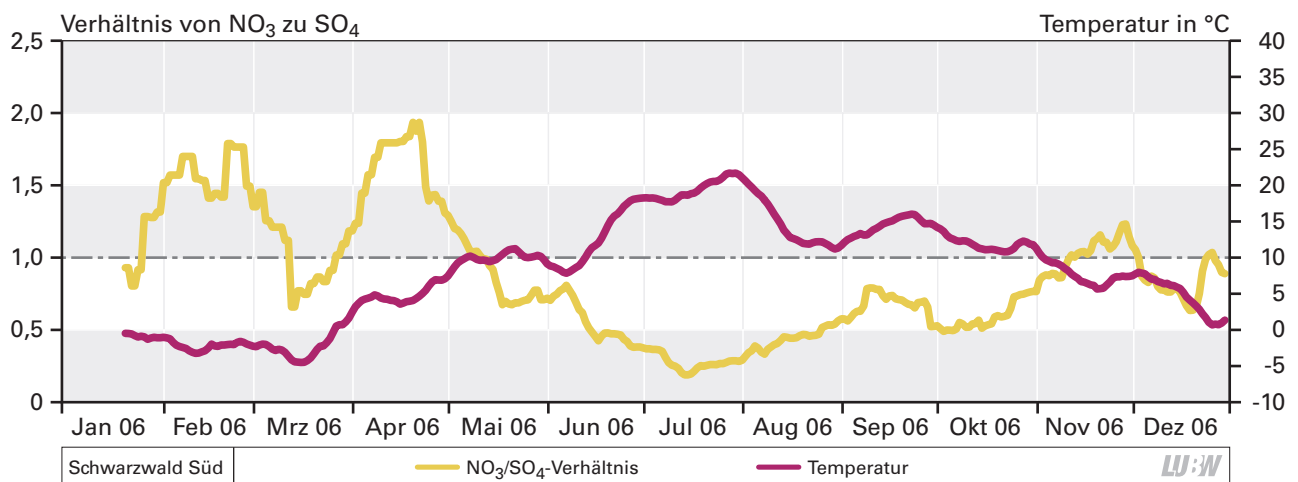


Abbildung 6.2.1.6: Jahresverlauf des Nitrat/Sulfat-Verhältnisses im Schwebstaub PM10 an der Station Schwarzwald Süd 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 20 Perioden)

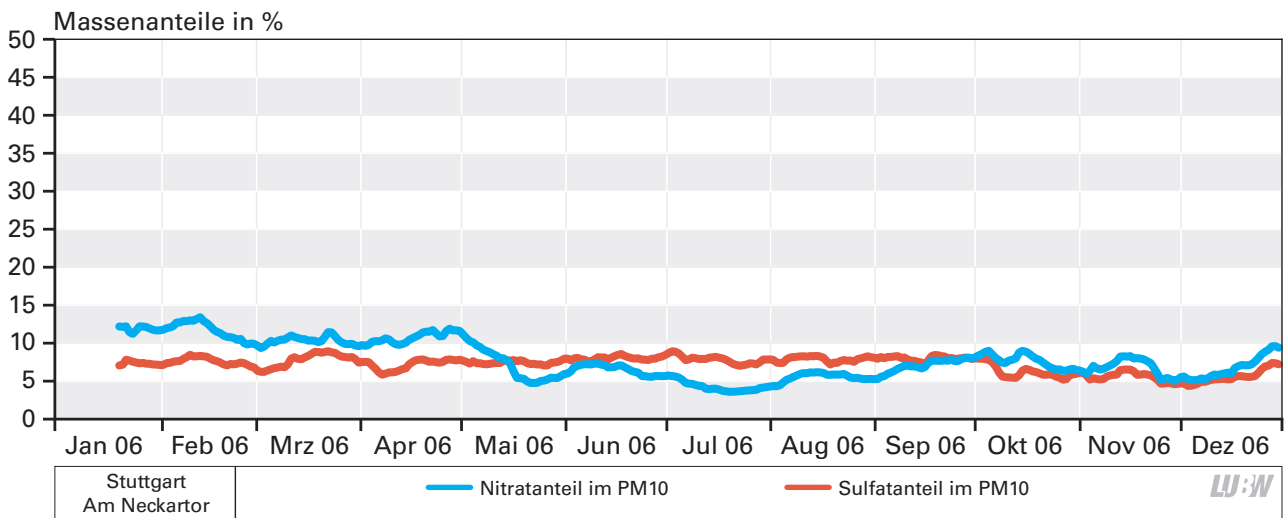


Abbildung 6.2.1.7: Jahresverlauf der Nitrat- und Sulfat-Anteile im Schwebstaub PM10 an der Station Stuttgart Am Neckartor 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 20 Perioden)

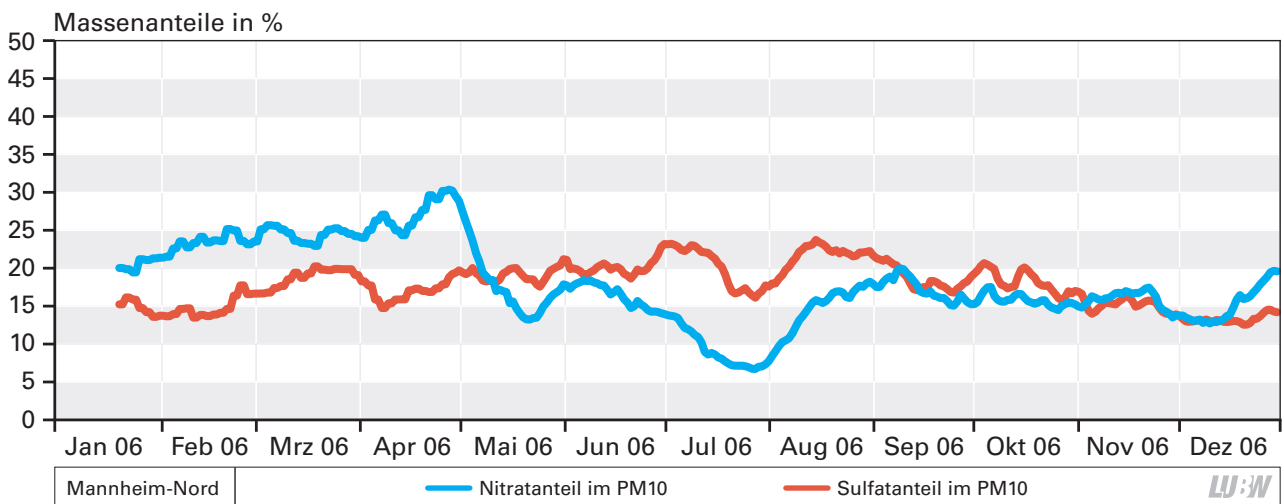


Abbildung 6.2.1.8: Jahresverlauf der Nitrat- und Sulfat-Anteile im Schwebstaub PM10 an der Station Mannheim-Nord 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 20 Perioden)

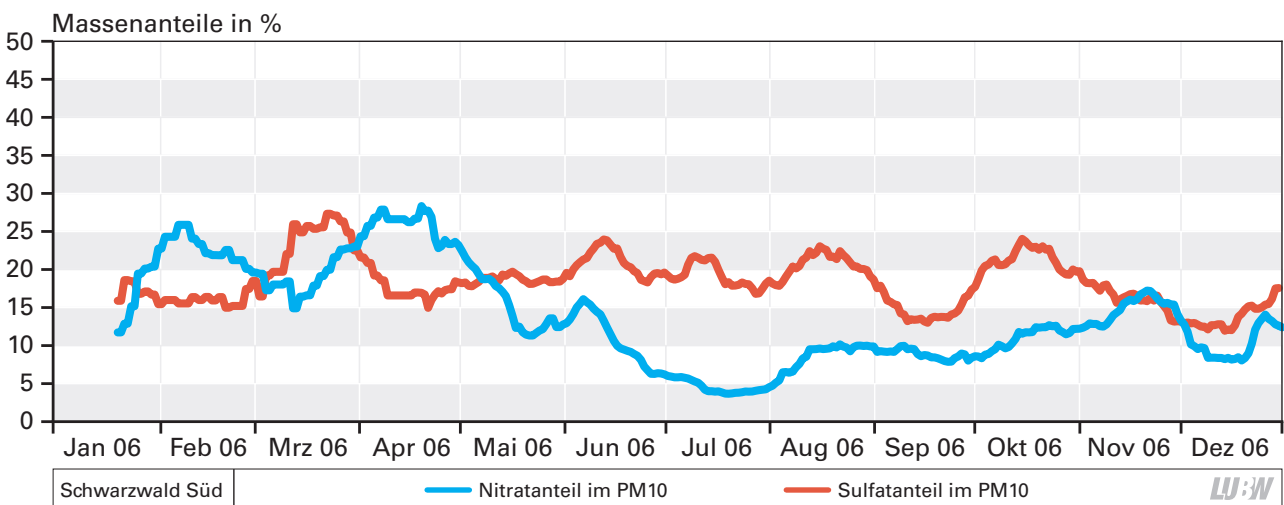


Abbildung 6.2.1.9: Jahresverlauf der Nitrat- und Sulfat-Anteile im Schwebstaub PM10 an der Station Schwarzwald Süd 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 20 Perioden)

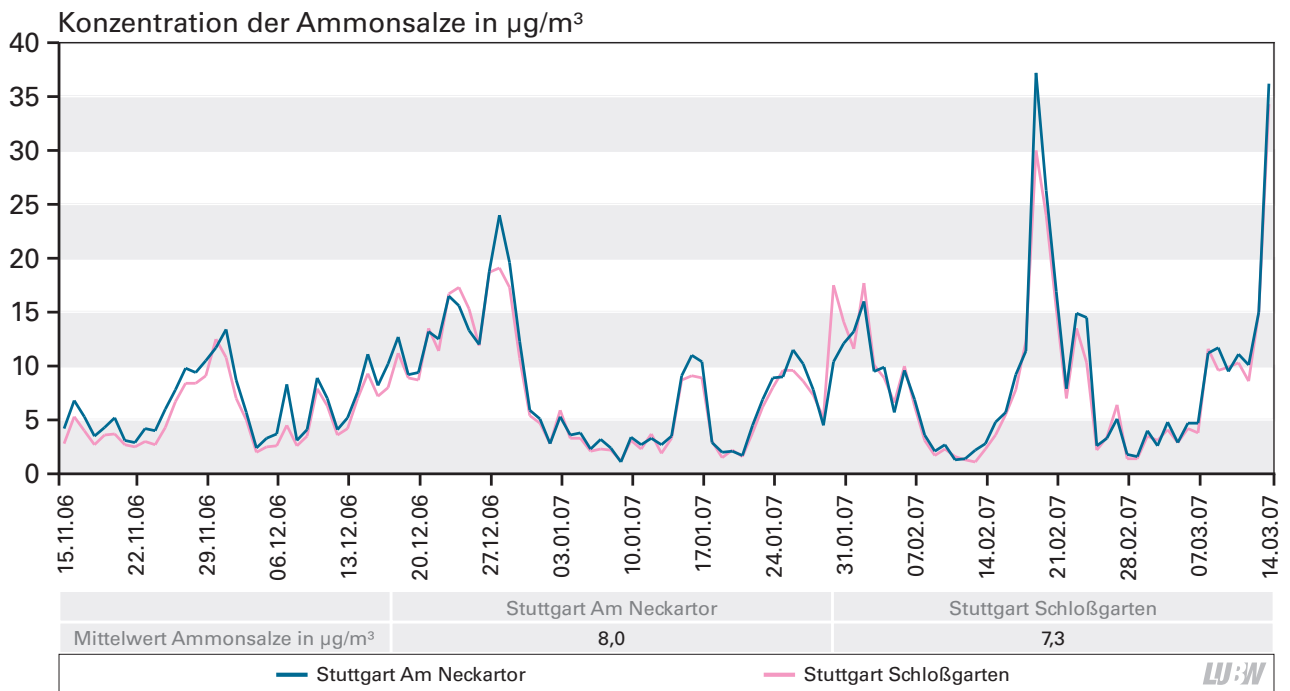


Abbildung 6.2.1.10: Ammonsalzkonzentrationen im Schwebstaub an den Stationen Stuttgart Am Neckartor und Stuttgart Schlossgarten vom 15.11.06 – 14.03.07

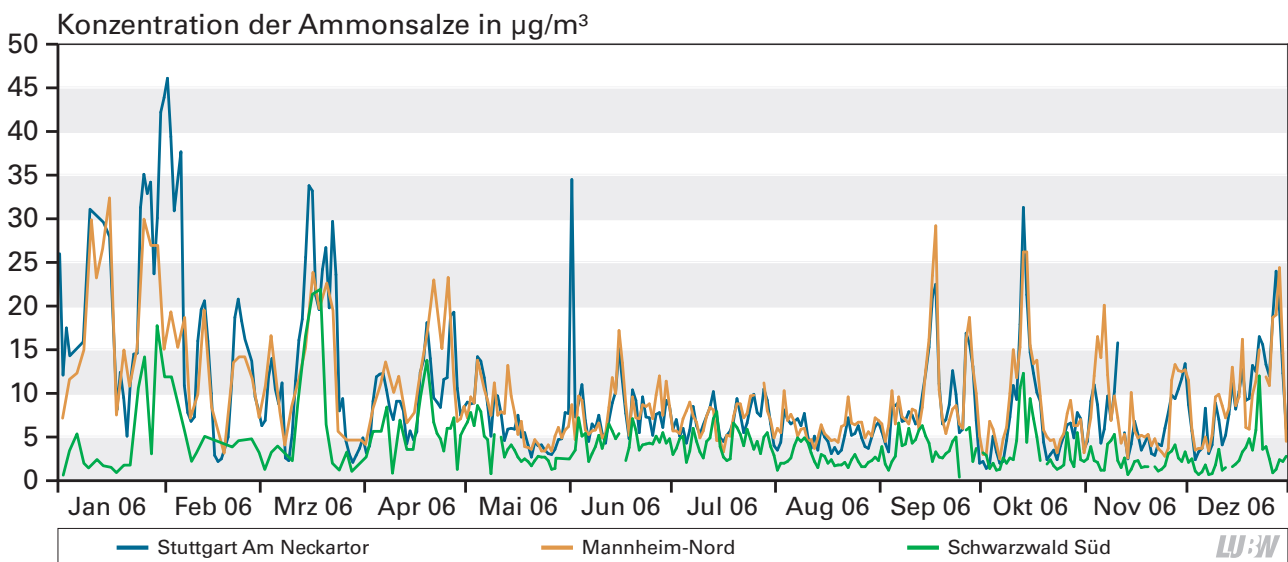


Abbildung 6.2.1.11: Ammonsalzkonzentrationen im Schwebstaub an den Stationen Stuttgart Am Neckartor, Mannheim und Schwarzwald Süd 2006

Tabelle 6.2.1.1: Ammonsalze, Jahresmittelwerte 2006 bei Verwendung aller bzw. zeitgleicher Datensätze

Messstation	Alle Datensätze		Zeitgleiche Datensätze
	Ammoniumsalze [µg/m³]	Ammonsalze Anteil	Ammoniumsalze [µg/m³]
Stuttgart Am Neckartor	9,9	18%	9,2
Mannheim-Nord	9,4	43%	9,3
Schwarzwald Süd	4,0	39%	4,0

In Tabelle 6.2.1.1 sind sowohl die Jahresmittelwerte der Ammonsalzkonzentrationen im Jahr 2006, berechnet aus allen Datensätzen sowie aus zeitgleichen Datensätzen, an den Stationen dargestellt.

An der Verkehrsmessstation Stuttgart Am Neckartor wurde seit Januar 2006 täglich Schwebstaub mit Quarzfaserfiltern beprobt, während in Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd die Probenahme auf Quarzfaserfiltern bis Ende April 2006 nur zweitägig erfolgte. Da von Januar bis März

Tabelle 6.2.1.2: Ammonsalze, Jahresmittelwerte 2007

Messstation	Jahresmittelwerte 2007	
	Ammoniumsalze [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Ammonsalze Anteil
Stuttgart Am Neckartor	8,8	19%
Mannheim-Nord	9,0	39%
Schwarzwald Süd	4,3	38%



2006, meteorologisch bedingt, die höchsten Schwebstaubkonzentrationen und damit auch Ammonsalzkonzentrationen auftraten, sind die Jahresmittelwerte in Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd gegenüber denen in Stuttgart Am Neckartor etwas unterschätzt und nicht direkt vergleichbar.

Bei Verwendung aller Datensätze zur Ermittlung der mittleren Konzentrationen, resultieren im Jahr 2006 Jahresmittelwerte für die Ammonsalze von $9,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an der Station Stuttgart Am Neckartor, $9,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Mannheim-Nord und $4,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Schwarzwald Süd. Bei Verwendung zeitgleicher Datensätze wird jedoch ersichtlich, daß, trotz der großen Distanz der beiden Messorte, nahezu identische mittlere Ammonsalzkonzentrationen in Stuttgart Am Neckartor und Mannheim-Nord resultieren.

Aus Tabelle 6.2.1.2 wird deutlich, dass auch im Jahr 2007, obwohl sich die meteorologischen Bedingungen in 2006 und 2007 deutlich unterscheiden, nahezu identische mittlere Ammonsalzkonzentrationen in Stuttgart Am Neckartor und Mannheim-Nord resultieren.

Auch der mittlere Ammonsalzanteil im Schwebstaub PM10 bleibt in den Jahren 2006 und 2007 annähernd gleich. An der Messstation im Schwarzwald Süd auf 1000m Höhe liegt die Ammonsalzkonzentration zwar – durch den Verdünnungseffekt - auf niedrigerem Niveau, trägt aber wie in Mannheim-Nord mit etwa 40 % zum Schwebstaubgehalt PM10 bei. An der Station Stuttgart Am Neckartor beträgt der Ammonsalzanteil dagegen nur etwa 20 %, wegen der höheren Konzentrationen an EC, OM und Mineralstaub durch den direkten Verkehrseinfluss.

6.2.2 Elementarer Kohlenstoff (EC) und Organisches Material (OM)

EC wird hauptsächlich bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe in Kraftfahrzeugen (Dieselruß), Kraftwerken und durch Hausbrand freigesetzt. Organische Kohlenstoffverbindungen entstehen zum größten Teil ebenfalls bei der unvollständigen Verbrennung der fossilen Brennstoffe. Daneben stellen biogene Kohlenstoffverbindungen, wie Pollen oder Sporen, sowie sekundär gebildete organische Ver-

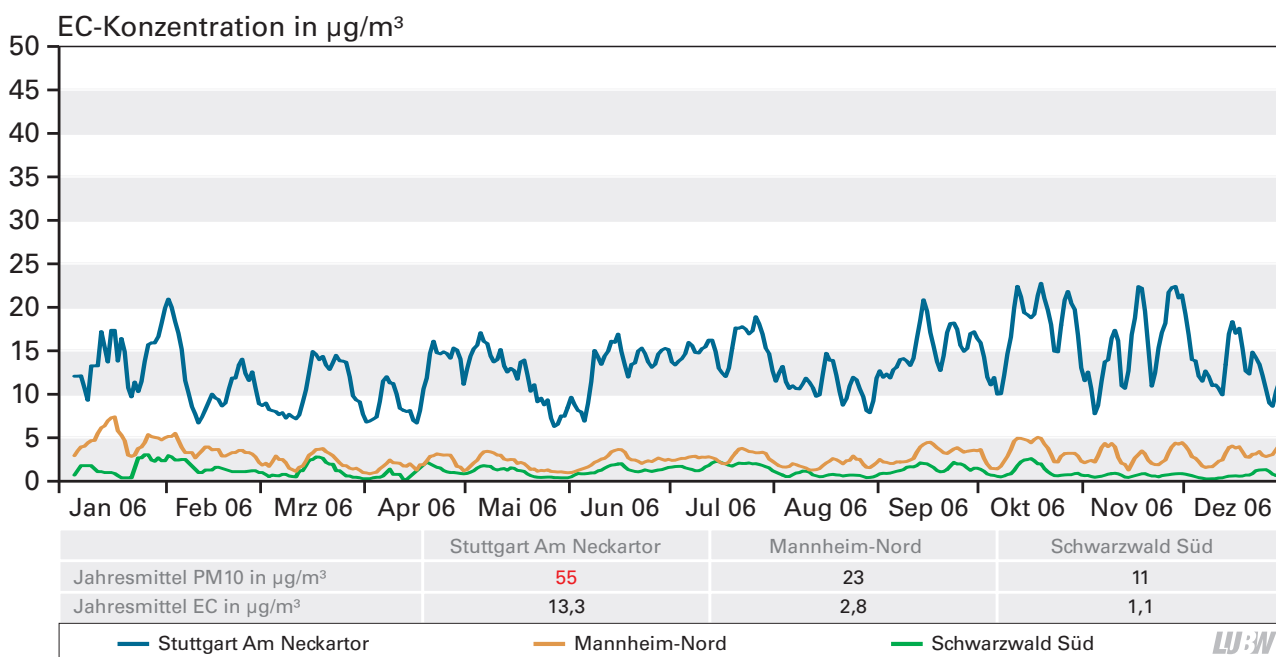


Abbildung 6.2.2.1: EC-Konzentrationen im Schwebstaub 2006 an den Stationen Stuttgart Am Neckartor, Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 5 Perioden)

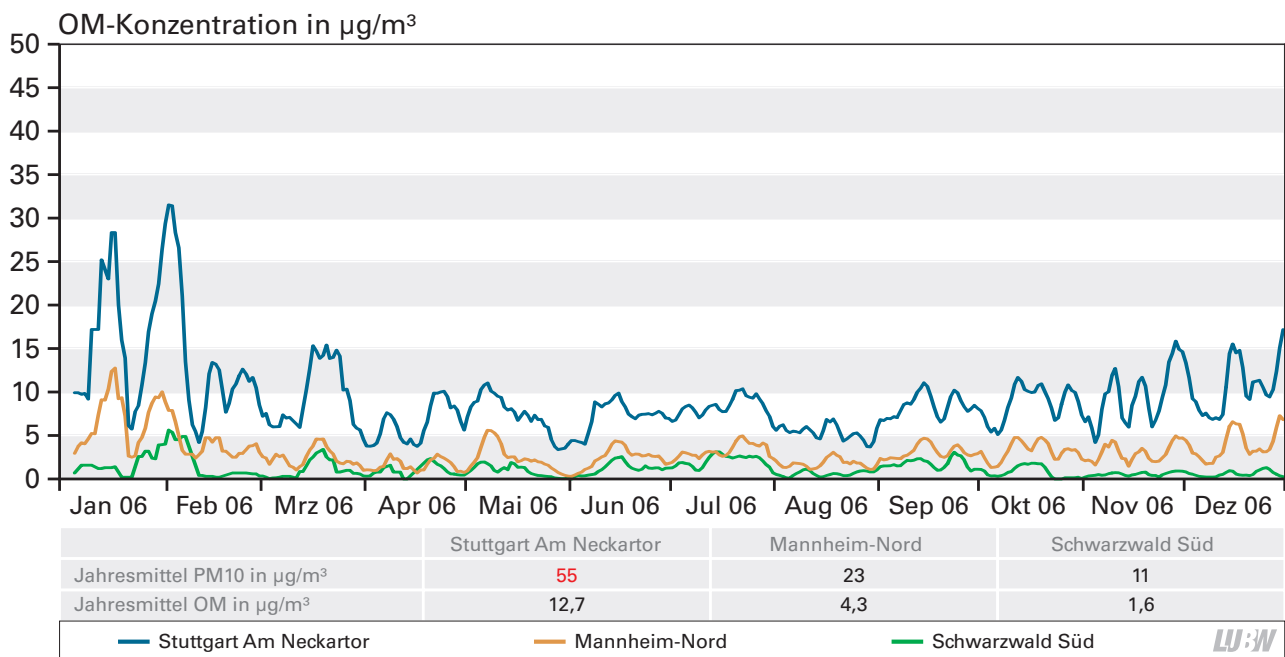


Abbildung 6.2.2.2: OM-Konzentrationen im Schwebstaub 2006 an den Stationen Stuttgart Am Neckartor, Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 5 Perioden)

bindungen aus Vorläufersubstanzen, wie Terpenen, weitere Quellen für organisches Material dar.

Wie in Kapitel 4.3 ausgeführt, ermöglicht das verwendete Analysenverfahren nicht die Bestimmung von Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff oder Schwefel in organischen Verbindungen. Die Abschätzung der Konzentrationen organischer Verbindungen (OM) erfolgt deshalb durch Multiplikation der Konzentration des organischen Kohlenstoffes (OC) mit dem Faktor 1,4.

In den Abbildungen 6.2.2.1 und 6.2.2.2 sind die EC-Konzentrationen und OM-Konzentrationen für das Gesamtjahr 2006 an den Messstationen Stuttgart Am Neckartor, Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd dargestellt.

Die EC- und OM-Konzentrationen in Stuttgart Am Neckartor verdeutlichen mit je etwa $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ den direkten Verkehrseinfluss auf die Schwebstaubkonzentration PM10. Die EC-Konzentrationen verlaufen an der Verkehrsmessstation in großen Amplituden, jedoch ohne ausgeprägten Jahresgang. Auch an der städtischen und ländlichen Hintergrundstation ist kein ausgeprägter Jahresgang zu erkennen.

Dagegen weisen die OM-Konzentrationen an der Verkehrsmessstation einen ähnlichen Jahresgang wie die Schwebstaubkonzentrationen PM10 auf. Während der In-

versionswetterlagen im Januar und Februar sowie im Zeitraum vom 13. – 24. März 2006 treten, wie bei den Ammonsalzen, ausgeprägte Maxima bei austauscharmen Bedingungen durch Verdichtung des Schwebstaubs in einem kleineren zur Durchmischung zur Verfügung stehendem Luftvolumen auf. Dies ist dadurch zu erklären, dass ein erheblicher Anteil des OM aus anderen Quellen als dem Fahrzeugverkehr kommt. Im Sommerhalbjahr gehen die OM-Konzentrationen insgesamt zurück und steigen ab Oktober wieder an.

In Abbildung 6.2.2.3 sind die EC- und OM-Konzentrationen in den Jahren 2006 und 2007 an der Verkehrsmessstation zusammen abgebildet.

Die EC-Konzentrationen werden während des ganzen Jahres zu einem erheblichen Anteil durch Kraftfahrzeuge direkt an der Verkehrsmessstation verursacht, die im Jahresverlauf eine annähernd konstante EC-Quelle darstellen. Auch bei austauscharmen Bedingungen mit schlechten Durchmischungsverhältnissen ist die EC-Konzentration direkt an der Straße wesentlich höher als in der Umgebung, wodurch auch während Inversionswetterlagen eine Verdünnung der EC-Konzentration stattfinden kann. Aus diesem Grund treten während den Inversionswetterlagen bei EC keine ausgeprägten Maxima auf. Dagegen steigen die OM-Konzentrationen in den Heizperioden deutlich an.

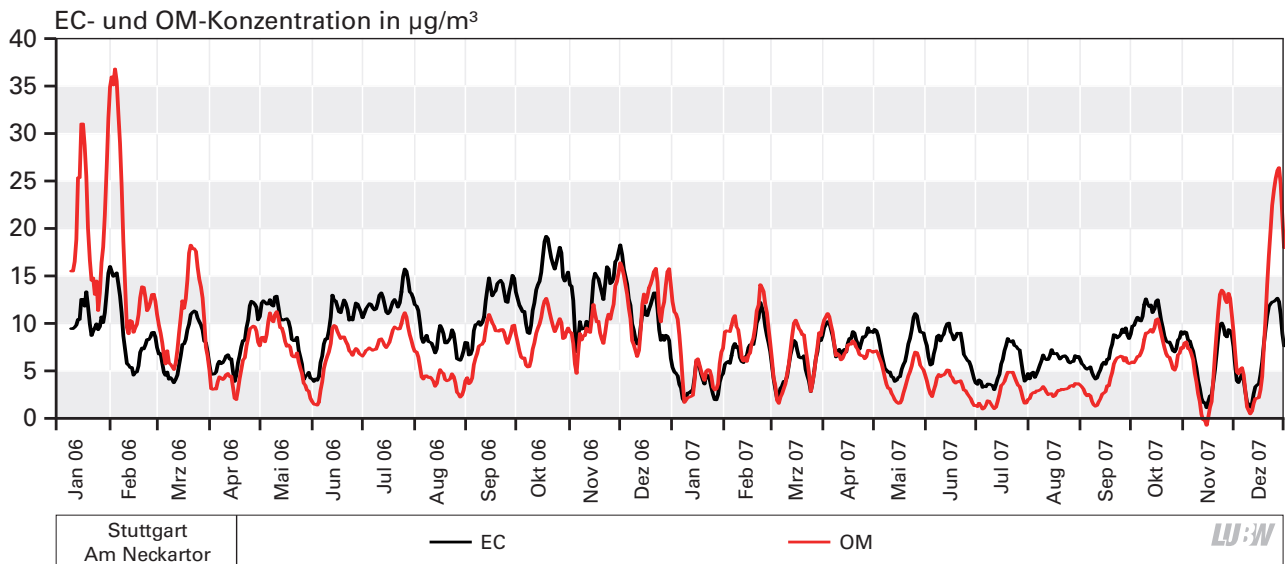


Abbildung 6.2.2.3: EC- und OM-Konzentrationen im Schwebstaub an der Station Stuttgart Am Neckartor 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 10 Perioden)

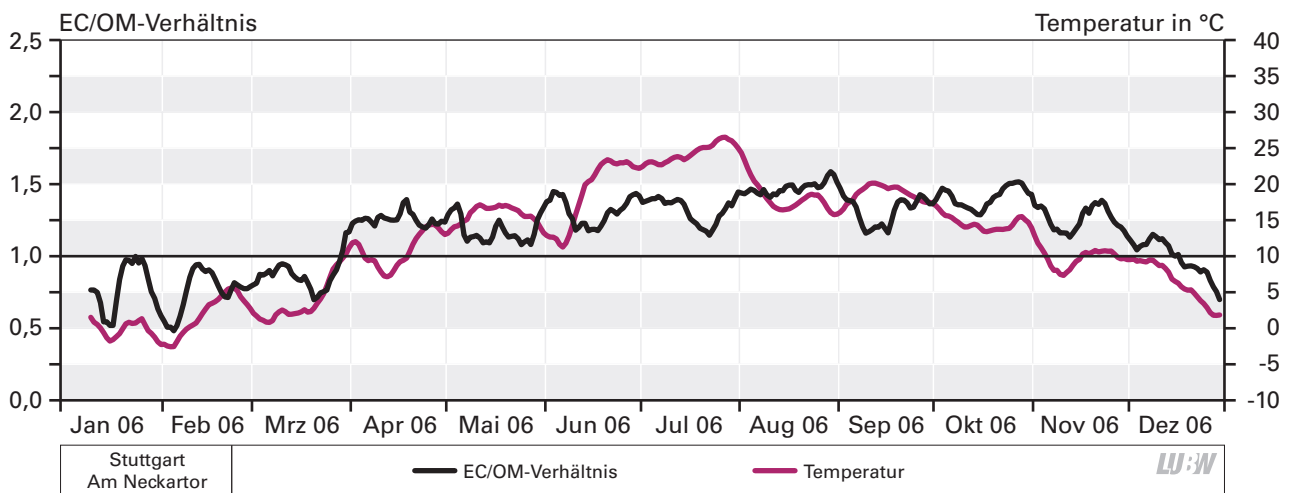


Abbildung 6.2.2.4: Jahresverlauf des EC/OM-Verhältnisses im Schwebstaub PM₁₀ an der Station Stuttgart Am Neckartor 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 10 Perioden)

Ab April bis Dezember verlaufen die OM-Konzentrationen weitgehend unterhalb der EC-Konzentrationen parallel zu diesen, da sie ursächlich aus dem Verkehr stammen. Der OM-Anteil während der Sommermonate kommt hier hauptsächlich aus der unvollständigen Verbrennung der Kraftstoffe des Fahrzeugverkehrs. Mit Beginn der Heizperioden steigen die OM-Konzentrationen wieder stärker an und übertreffen ab Dezember die EC-Konzentrationen. Ein Anteil der OM-Konzentrationen im Winterhalbjahr ist somit nicht dem direkten Verkehrseinfluss zuzuschreiben.

Dies wird auch durch Abbildung 6.2.2.4 verdeutlicht.

Während der Heizperiode, bei niedrigen Temperaturen, liegt das EC/OM-Verhältnis unterhalb von 1. Nach der

Heizperiode steigt das Verhältnis auf Werte zwischen 1 und 1,5 bei Durchschnittstemperaturen um 15 °C. Ein weiterer Anstieg ist auch bei höheren Temperaturen nicht feststellbar, sondern resultiert aus dem EC/OM-Verhältnis der Verbrennung der Kraftstoffe des Fahrzeugverkehrs.

Zur Abschätzung des nicht direkt durch den Verkehr verursachten OM-Anteils wurde das mittlere EC/OM – Verhältnis in den Sommermonaten auf die Heizperioden von Januar bis März 2006 und Dezember 2006 bis März 2007 sowie November bis Dezember 2007 angewandt und die Differenz als OM-Anteil durch Heizungsprozesse berechnet.

In Tabelle 6.2.2.1 sind die Monatsmittelwerte für Schwebstaub PM₁₀, EC, OM und der Temperatur für die Jahre 2006 und

2007 an der Verkehrsmessstation Stuttgart Am Neckartor dargestellt. In den Wintermonaten, während der Heizperiode, beträgt das EC/OM – Verhältnis zwischen 0,5 und 1, während der Sommermonate zwischen 1 und 1,5. Durch Berechnung der OM-Monatsmittelwerte auf „Sommerverhältnisse“ mit einem mittleren Faktor von 1,3 kann ein zusätzlicher OM-Anteil im Winter von etwa 10% der Schwebstaubkonzentration PM10 durch Heizprozesse abgeschätzt werden, der nicht dem Verkehr zuzuordnen ist.

Diese Abschätzung setzt voraus, dass das EC/OM-Verhältnis der Kraftstoffverbrennung bei kalten und warmen Außentemperaturen konstant bleibt. In wie weit dies zutrifft, und nicht durch verschieden lange Warmlaufphasen der Motoren bei kalten und warmen Lufttemperaturen beeinflusst wird, kann an dieser Stelle nicht gesagt werden.

Die Abbildungen 6.2.2.5 – 6.2.2.8 zeigen hingegen, dass im städtischen und ländlichen Hintergrund die EC- und OM-Konzentrationen nicht hauptsächlich durch den Fahrzeugverkehr beeinflusst werden. Zwar werden auch hier die

Tabelle 6.2.2.1: Abschätzung der OM-Anteile in Schwebstaub durch Heizung an der Verkehrsmessstation Stuttgart Am Neckartor in den Jahren 2006 und 2007 aus Monatsmittelwerten

Monat	PM10 [µg/m³]	EC [µg/m³]	OM [µg/m³]	EC/OM	T [°C]	OM Heizung [µg/m³]	OM Heizung Anteil
Monatsmittelwerte 2006							
Jan 06	95	14,3	23,0	0,6	0,0	11,9	12%
Feb 06	71	11,2	17,4	0,6	2,4	8,7	12%
Mrz 06	62	10,5	13,0	0,8	5,1	4,9	8%
Apr 06	45	11,1	9,1	1,2	10,9		
Mai 06	44	11,7	10,1	1,2	15,8		
Jun 06	47	13,8	10,6	1,3	20,3		
Jul 06	51	15,2	11,6	1,3	24,6		
Aug 06	34	10,9	7,4	1,5	17,1		
Sep 06	54	15,6	12,1	1,3	18,9		
Okt 06	54	17,0	12,1	1,4	14,3		
Nov 06	56	16,1	13,9	1,2	9,2		
Dez 06	59	13,0	15,2	0,9	5,6	5,2	9%
Monatsmittelwerte 2007							
Jan 07	34	7,1	7,9	0,9	6,8	2,5	7%
Feb 07	52	11,0	12,1	0,9	6,8	3,7	7%
Mrz 07	49	9,6	10,3	0,9	8,1	3,1	6%
Apr 07	52	11,5	10,6	1,1	15,1		
Mai 07	37	10,2	7,6	1,3	16,6		
Jun 07	35	10,4	6,9	1,5	19,7		
Jul 07	33	8,7	6,4	1,4	20,1		
Aug 07	37	9,9	7,0	1,4	19,7		
Sep 07	38	10,1	7,6	1,3	15,1		
Okt 07	58	13,2	11,3	1,2	11,4		
Nov 07	49	9,4	10,1	0,9	6,0	3,0	6%
Dez 07	57	9,8	13,5	0,7	3,4	6,1	11%

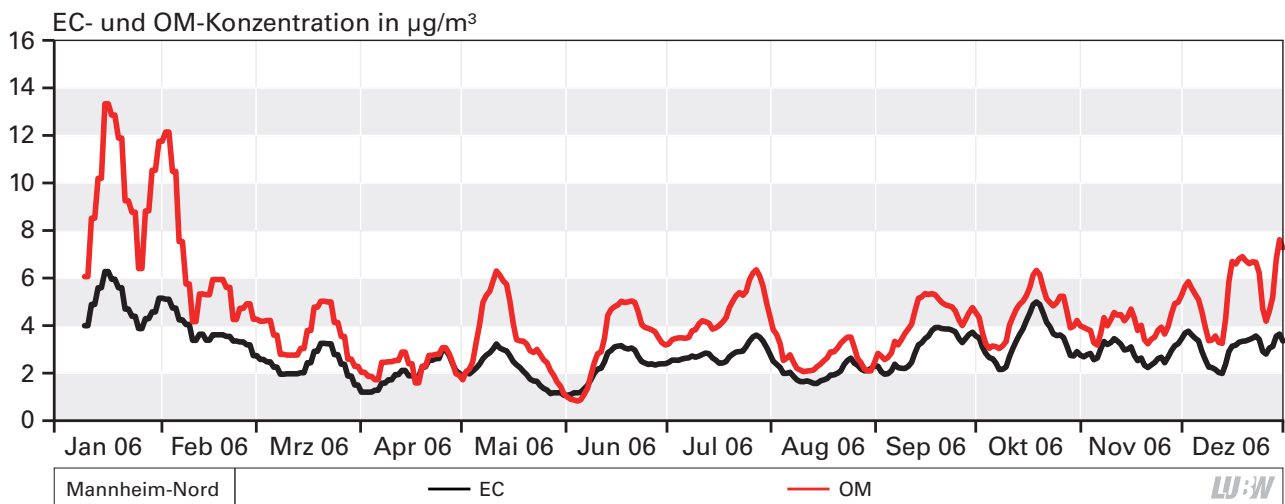


Abbildung 6.2.2.5: EC- und OM-Konzentrationen im Schwebstaub an der Station Mannheim-Nord 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 10 Perioden)

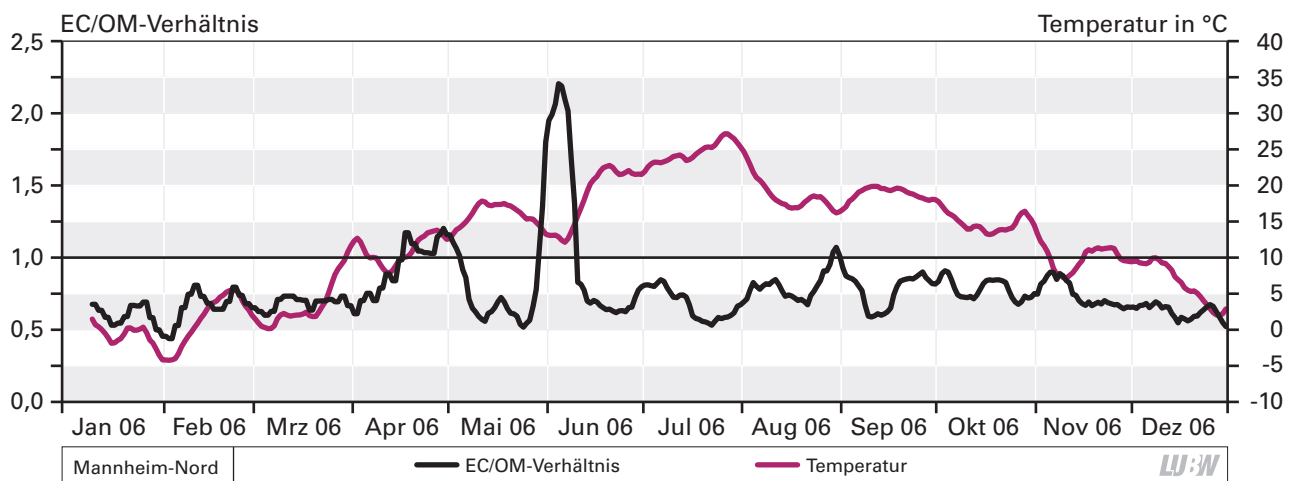


Abbildung 6.2.2.6: Jahresverlauf des EC/OM-Verhältnisses im Schwebstaub PM₁₀ an der Station Mannheim-Nord 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 10 Perioden)

Inversionswetterlagen während der Heizperioden durch die OM-Konzentrationen deutlich abgebildet, jedoch liegen die OM-Konzentrationen sowohl in Mannheim-Nord als auch Schwarzwald Süd fast ganzjährig über den EC-Konzentrationen.

Neben den fossilen Brennstoffen stellen biogene Kohlenstoffverbindungen wie Pollen oder Sporen, organische Säuren und Kohlenhydrate, Pflanzenreste sowie sekundär gebildete organische Verbindungen aus Vorläufersubstanzen wie Terpenen, Quellen für organisches Material dar. Eine Quantifizierung dieser Verbindungen ist mit den zur Verfügung stehenden Analyseverfahren jedoch nicht möglich.

Die EC/OM-Verhältnisse liegen im städtischen und ländlichen Hintergrund in der Regel zwischen 0,5 und 1. Bei der Bewertung der EC/OM-Verhältnisse an den Hinter-

grundstationen ist jedoch zu beachten, dass die EC- und insbesondere die OM-Konzentrationen teils auf sehr niedrigem Niveau liegen. Da viele Werte an der Nachweisgrenze liegen, resultieren bei der Bildung der EC/OM-Verhältnisse, besonders an der Hintergrundstation Schwarzwald, zum Teil Faktoren von 2 und größer, die jedoch mit hohen Messunsicherheiten behaftet sind.

6.2.3 Mineralstaub

Mit den zur Verfügung stehenden Analysemethoden ist eine vollständige Erfassung aller massenrelevanter Species in ihren Verbindungsformen nicht möglich. Erdkrustenmetalle, wie Silizium, Eisen, Mangan und Aluminium, liegen vorwiegend als Oxide vor, können jedoch nur als Elemente erfasst werden. Die Massenkorektur zur Ermittlung der Oxidkonzentrationen sind in Kapitel 4 beschrieben. Die Berechnung der Mineralstaubkonzentration erfolgt aus der

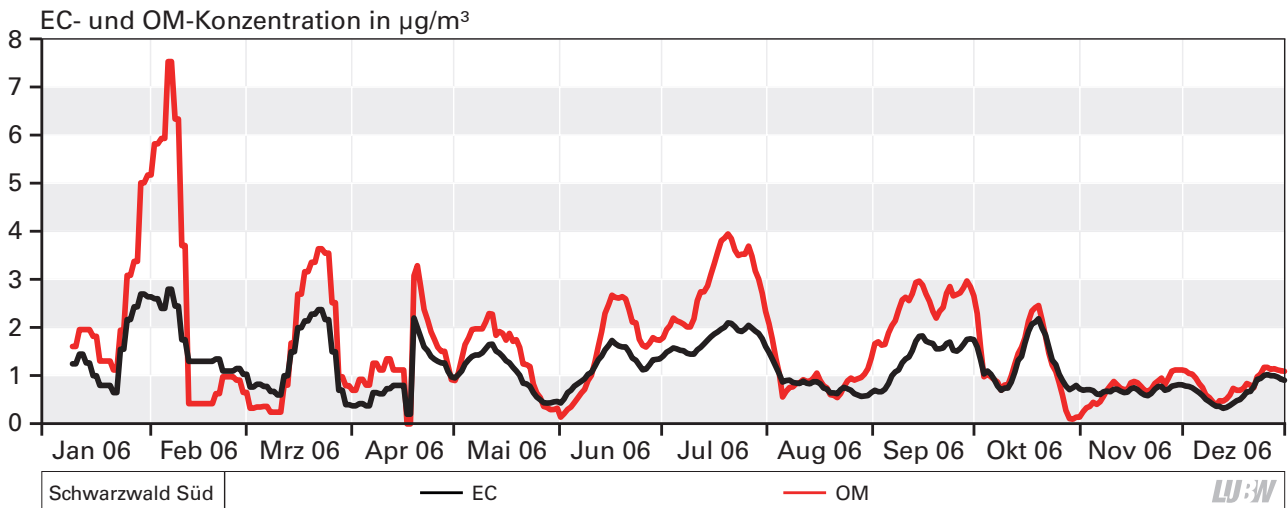


Abbildung 6.2.2.7: EC- und OM-Konzentrationen im Schwebstaub an der Station Schwarzwald Süd 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 10 Perioden)

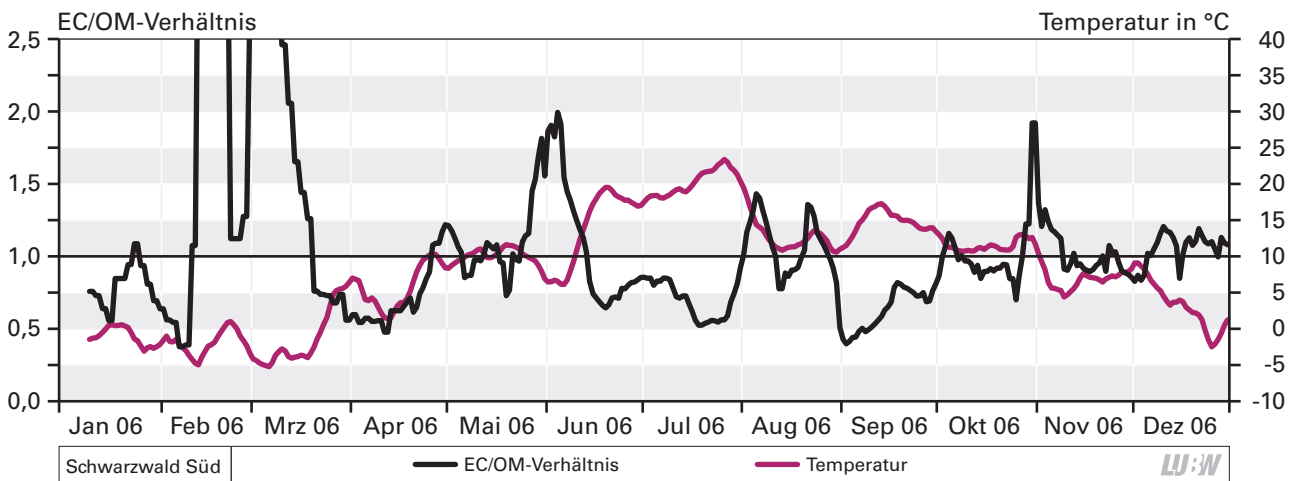


Abbildung 6.2.2.8: Jahresverlauf des EC/OM-Verhältnisses im Schwebstaub PM10 an der Station Schwarzwald Süd 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 10 Perioden)

Summierung der Elemente Zink, Aluminium, Silizium, Mangan, Eisen, Kalzium, Magnesium und Kalium in ihrer normalen Oxidform.

Während Natrium und Kalzium fast vollständig und Kalium zu etwa 75% - 90% als wasserlösliche Verbindungen vorliegen, liegt Magnesium zu etwa 40% - 50% in wasserunlöslicher gebundener Form vor. Gemäß seinem Löslichkeitsprodukt kann nur ein Teil des ermittelten löslichen Kalziums als Kalziumkarbonat (Kalk) im Schwebstaub PM10 vorliegen. Aufgrund dieser Sachverhalte können die Elemente Magnesium, Kalium und Kalzium weder eindeutig dem Mineralstaub als Oxide noch dem wasserlöslichen Salzanteil zugeordnet werden. Nachfolgend werden die Mineralstaubanteile dennoch unter Miteinbeziehung dieser Oxide in Schwebstaub PM10 betrachtet.

In Tabelle 6.2.3.1 sind die Mineralstaubanteile in Feinstaub PM10 an den drei Messstationen in den Jahren 2006 und 2007 dargestellt.

Die Mineralstaubanteile am Schwebstaub sind wie die Ammonsalzanteile an den drei Messorten in den Jahren 2006 und 2007 nahezu identisch.

Es fällt auf, dass die Mineralstäube an den nicht direkt verkehrsbeeinflussten Stationen Mannheim Nord und Schwarzwald Süd sowohl bezüglich der Zusammensetzung als auch bezüglich des Massenanteils im Schwebstaub PM10 weitgehend übereinstimmen. Einzig der Eisenoxidgehalt ist mit 3% in Mannheim-Nord an beiden Jahren signifikant höher als an der Station Schwarzwald Süd, trägt aber nur zu etwa einem Fünftel zur mittleren Konzentration des Mineralstaubes bei. Bei Betrachtung der prozentualen Anteile weist

Tabelle 6.2.3.1: Mineralstaubanteile (Jahresmittel aus Tageswerten) an Schwebstaub PM10 und deren Zusammensetzung

Messstation	ZnO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Mineralstaub Σ Oxide
	Anteil	Anteil	Anteil	Anteil	Anteil	Anteil	Anteil	Anteil	Anteil
Mineralstaub: Zusammensetzung / Anteile an PM10 im Jahr 2006									
Stuttgart Am Neckartor	0,3%	1,6%	4,1%	0,1%	13,4%	3,0%	0,6%	0,6%	24%
Mannheim-Nord	0,2%	1,9%	6,4%	0,1%	2,8%	1,7%	0,8%	1,2%	15%
Schwarzwald Süd	0,2%	1,9%	5,7%	0,04%	1,5%	1,8%	0,9%	1,1%	13%
Mineralstaub: Zusammensetzung / Anteile an PM10 im Jahr 2007									
Stuttgart Am Neckartor	0,3%	1,3%	4,3%	0,1%	14,3%	2,6%	0,7%	0,7%	24%
Mannheim-Nord	0,2%	1,6%	5,6%	0,1%	2,9%	1,6%	0,9%	1,2%	14%
Schwarzwald Süd	0,1%	1,5%	5,0%	0,03%	1,1%	1,3%	0,8%	1,0%	11%

LUBW

Tabelle 6.2.3.2: Verhältnis der Oxide im Mineralstaub normiert auf den Aluminiumanteil

Messstation	ZnO	Al ₂ O ₃ (=1)	SiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O
Mineralstaub: Zusammensetzung normiert auf Aluminium 2006								
Stuttgart Am Neckartor	0,2	1	-	0,07	8	2	0,4	0,4
Mannheim-Nord	0,1	1	-	0,03	1,4	1	0,4	0,6
Schwarzwald Süd	0,1	1	-	0,02	0,8	1	0,5	0,6
Mineralstaub: Zusammensetzung normiert auf Aluminium 2007								
Stuttgart Am Neckartor	0,2	1	-	0,09	11	2	0,5	0,6
Mannheim-Nord	0,1	1	-	0,03	2	1	0,5	0,7
Schwarzwald Süd	0,1	1	-	0,02	1	1	0,6	0,7

LUBW

auch der Mineralstaub an der Verkehrsmessstation Stuttgart - Am Neckartor bei den Oxiden von Zink, Aluminium, Mangan und Magnesium annähernd die gleiche Zusammensetzung auf wie die Mineralstäube an den Hintergrundstationen, während die Eisenoxidanteile um ein Vielfaches und die Kalziumanteile etwa doppelt so hoch sind. Um die einzelnen Oxidanteile in den Mineralstäuben untereinander vergleichen zu können, sind in Tabelle 6.2.3.2 die Anteile der einzelnen Oxide bezogen auf den Aluminiumanteil dargestellt. Siliziumoxid kann hier nicht betrachtet werden, da die Siliziumkonzentrationen aus den Aluminiumkonzentrationen berechnet wurden (siehe 4.1).

Die Mineralstaubzusammensetzung unterscheidet sich in beiden Jahren bezüglich der Anteile an Eisenoxid, Kalziumoxid und Zinkoxid an der Verkehrsmessstation deutlich von denen an den Hintergrundstationen. Manganoxid wird

aufgrund der sehr kleinen Konzentrationen hier nicht weiter betrachtet. Eine mögliche Quelle für Eisen ist der Abrieb der Bremscheiben bzw. Bremsstromeln sowie Emissionen aus den Motoren der Kraftfahrzeuge. Ob ein wesentlicher Anteil des Eisens im Schwebstaub PM10 in elementarer Form oder oxidisch vorliegt, kann mit den hier angewandten Analyseverfahren nicht bestimmt werden und wird hier deshalb weiter als Eisenoxid betrachtet. Der stark erhöhte Eisenoxidanteil in Stuttgart Am Neckartor kann eindeutig dem Verkehr zugeordnet werden. Auch an der städtischen Hintergrundstation in Mannheim Nord ist der indirekte Verkehrseinfluss anhand des Eisenoxidanteils noch zu sehen.

Sowohl die mittleren Konzentrationsanteile an Kalziumoxid und Zinkoxid als auch das Verhältnisse von Kalzium- und Zinkoxid zu Aluminiumoxid sind im Mineralstaub an

der Verkehrsmessstation etwa doppelt so hoch wie an den Hintergrundstationen. Dies deutet darauf hin, dass auch ein Teil des Kalziums und Zinks durch den Verkehr emittiert wird. Erhöhte Anteile der Oxide von Aluminium, Magnesium und Kalium an der Verkehrsmessstation gegenüber den Hintergrundstationen, wie sie durch mineralischem Straßenabrieb zu erwarten wären, sind jedoch nicht zu beobachten.

Anhand den Abbildungen 6.2.3.1 und 6.2.3.2 wird der direkte Verkehrseinfluss als Quelle für Eisen(oxid) nochmals verdeutlicht. Die Eisenoxidkonzentrationen verlaufen über die gesamten Jahre 2006 und 2007 synchron zu den Konzentrationen an elementarem Kohlenstoff (EC). Auch die Kalziumoxidkonzentrationen zeigen einen ähnlichen Verlauf und sind durch den Verkehr direkt beeinflusst. Jedoch

stammt ein wesentlicher Anteil des Kalzium(oxids) aus anderen Quellen. In den Sommermonaten bei insgesamt niedrigeren Schwebstaubkonzentrationen und besseren Durchmischungsverhältnissen folgt der Konzentrationsverlauf von Kalziumoxid den beiden anderen Verkehrsindekatoren nicht mehr so ausgeprägt.

In den Abbildungen 6.2.3.3 und 6.2.3.4 sind die Eisen- und Kalziumkonzentrationen im Schwebstaub PM10 für das Gesamtjahr 2006 an den Messstationen Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd dargestellt. An der städtischen Hintergrundstation Mannheim-Nord lässt sich bis April 2006 noch einen Einfluss durch Verkehrsemissionen auf die Eisen- und Kalziumkonzentrationen erkennen. Die Konzentrationen verlaufen auf wesentlich niedrigerem Niveau ähnlich wie an der Verkehrsmessstation Stuttgart Am

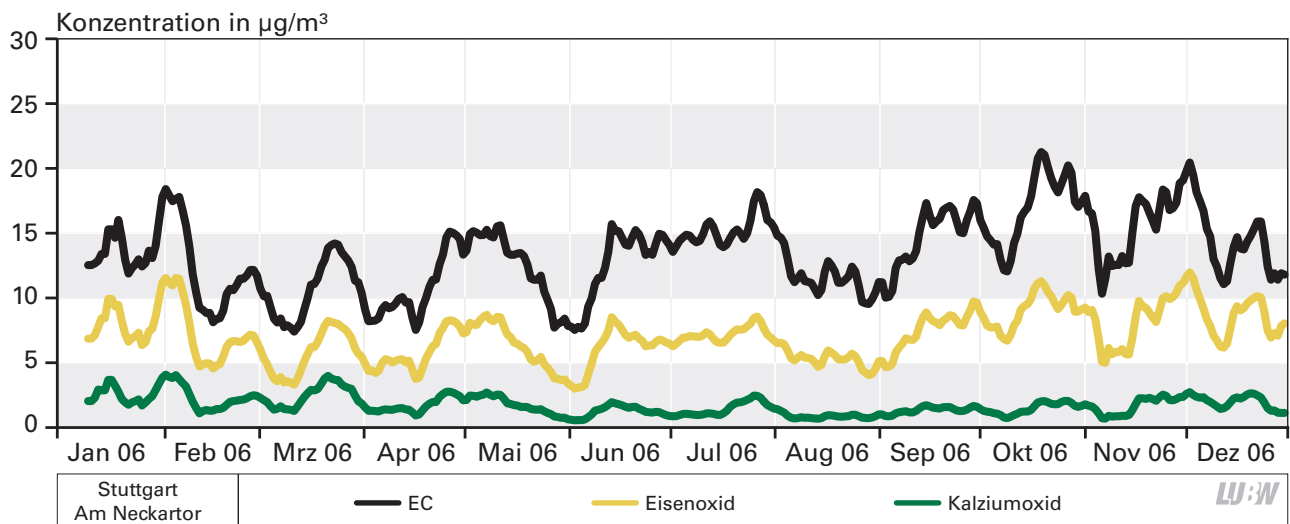


Abbildung 6.2.3.1: Jahresverlauf der EC-, Eisenoxid- und Kalziumoxidkonzentration im Schwebstaub PM10 an der Station Stuttgart Am Neckartor 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 10 Perioden)

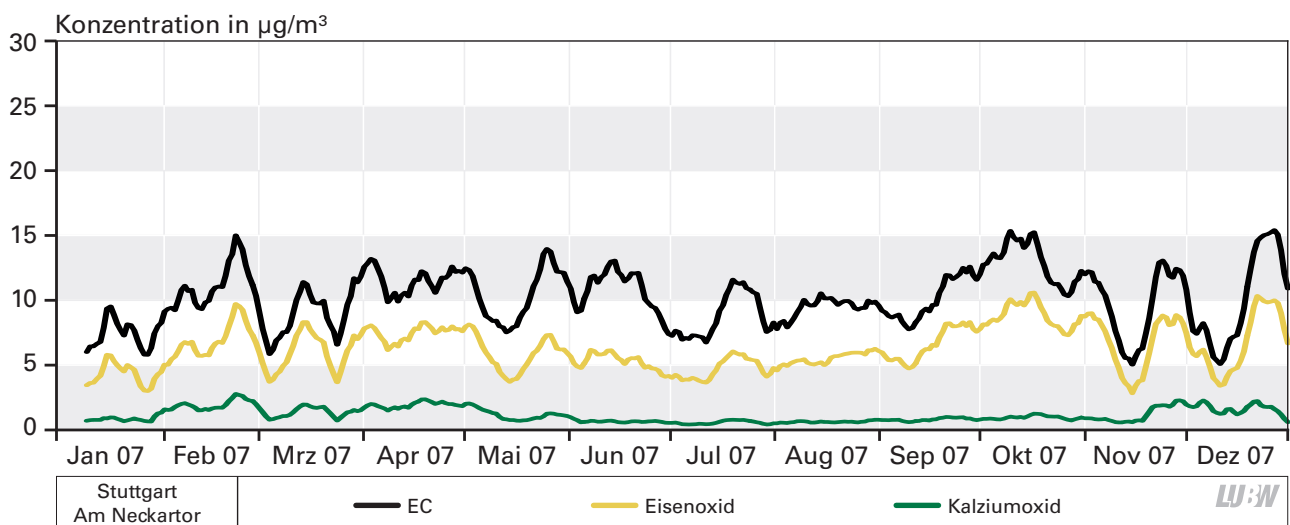


Abbildung 6.2.3.2: Jahresverlauf der EC-, Eisenoxid- und Kalziumoxidkonzentration im Schwebstaub PM10 an der Station Stuttgart Am Neckartor 2007 (Trendlinien gleitender Mittelwert 10 Perioden)

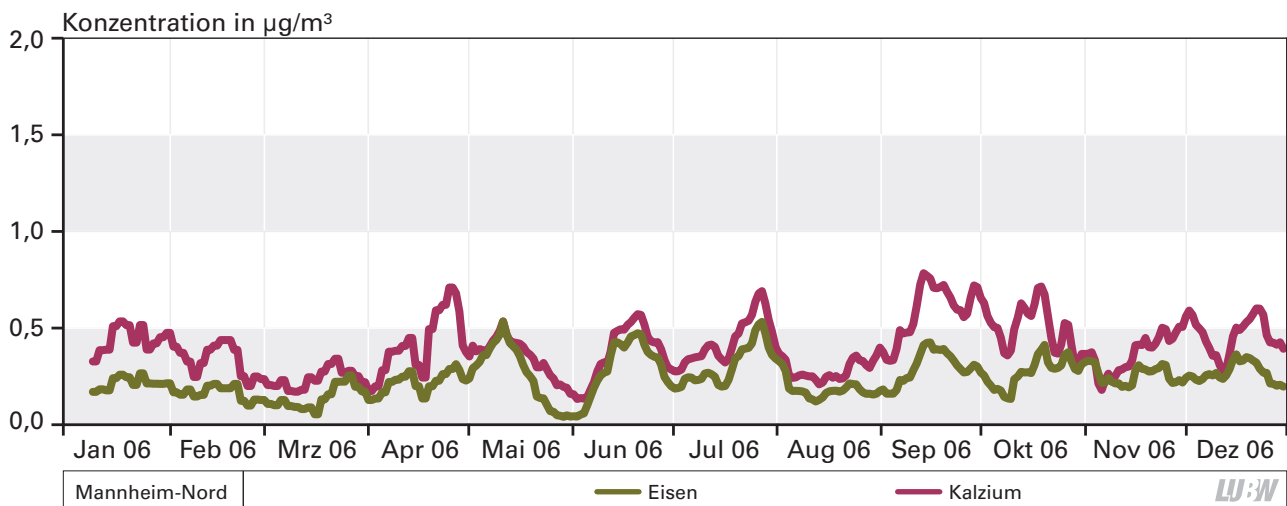


Abbildung 6.2.3.3: Jahresverlauf der Eisen- und Kalziumkonzentration im Schwebstaub PM10 an der Station Mannheim-Nord 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 10 Perioden)

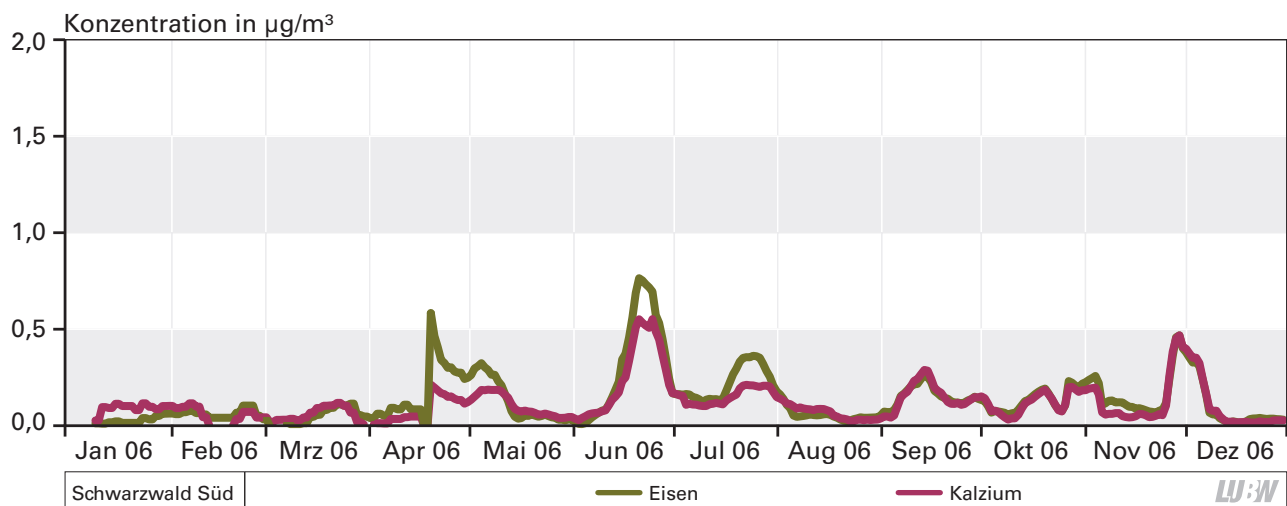


Abbildung 6.2.3.4: Jahresverlauf der Eisen- und Kalziumkonzentration im Schwebstaub PM10 an der Station Schwarzwald Süd 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 10 Perioden)

Neckartor. Jedoch treten in den Sommermonaten deutlich höhere Konzentrationen auf als bei den Inversionswetterlagen mit niedrigen Windgeschwindigkeiten und schlechten Durchmischungsverhältnissen.

An der Hintergrundstation Schwarzwald Süd wird der Verkehrseinfluss auf die Eisen- und Kalziumkonzentrationen nicht mehr abgebildet. Die höchsten Konzentrationen werden ebenfalls in den Sommermonaten bei guter Durchmischung und höheren Windgeschwindigkeiten erreicht.

6.2.4 Nicht bestimmbarer Rest

Wie schon mehrfach ausgeführt, ermöglichen die zur Verfügung stehenden Analyseverfahren keine direkte Bestimmung von Oxiden, des gebundenen Wassers oder or-

ganischer Einzelspezies im Schwebstaub PM10. Die Ermittlung des organischen Materials und der Mineralstaubkonzentrationen erfolgt durch Multiplikation des organischen Kohlenstoffes bzw. der Elementkonzentrationen mit angenommenen Faktoren. An der Verkehrsmessstation stellt Eisen den Hauptanteil, wahrscheinlich aus Bremsabrieb, an dem berechneten Mineralstaub dar. Ob ein wesentlicher Anteil des Eisens im Schwebstaub PM10 an der Verkehrsmessstation in elementarer Form oder oxidisch vorliegt, kann mit den hier angewandten Analyseverfahren nicht bestimmt werden.

Bei der Bildung der Massenbilanz resultiert aus diesen Gründen ein nicht bestimmbarer Rest, der sowohl den Wassergehalt als auch die Unsicherheiten bei den Annah-

men zu den Berechnungsfaktoren und die Messunsicherheiten der analytischen Bestimmungsverfahren beinhaltet.

In den Abbildungen 6.2.4.1 – 6.2.4.3 sind die Schwebstaubkonzentrationen PM₁₀ und der nicht bestimmbare Rest an den drei Messstationen dargestellt. An der Verkehrsmessstation Stuttgart Am Neckartor gehen die höchsten Restkonzentrationen weitgehend mit den höchsten Schwebstaubkonzentrationen einher.

An den Stationen im städtischen und ländlichen Hintergrund lässt sich diese Übereinstimmung aufgrund der sehr geringen Konzentrationen aus den vorliegenden Darstellungen nicht mehr direkt ablesen. Die Schwebstaubkonzentrationen PM₁₀ sind, insbesondere an der Hintergrundstation Schwarzwald Süd, so gering, dass bei vielen der untersuchten Filtern ein Teil der Inhaltsstoffe nicht nachgewiesen werden können und damit in den nicht bestimmbaren Rest mit eingehen.

In Tabelle 6.2.4.1 sind die Jahresmittelwerte und der mittlere prozentuale Anteil des nicht bestimmbaren Restes an der Schwebstaubkonzentration PM₁₀ für das Jahr 2006 an den drei Messstationen dargestellt.

An der Verkehrsmessstation wurde ein mittlerer nicht bestimmbarer Rest von 4 µg/m³ mit 5 % Anteil an Schwebstaub PM₁₀ ermittelt. An der städtischen Hintergrundstation beträgt der mittlere Anteil 3 % entsprechend 1 µg/m³. Die Hintergrundstation Schwarzwald Süd wird aufgrund der großen Unsicherheiten bei der Ermittlung des nicht bestimmbaren Restes hier nicht weiter betrachtet.

Schwebstaubpartikel können, in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte, variierende Wassergehalte aufweisen.

Tabelle. 6.2.4.1: Nicht bestimmbarer Rest (Jahresmittel 2006 und mittlerer Anteil an Schwebstaub PM₁₀)

Messstation	Nicht bestimmbarer Rest Jahresmittel 2006 [µg/m ³]	Nicht bestimmbarer Rest Mittlerer Anteil an PM ₁₀ 2006 Anteil
Stuttgart Am Neckartor	4	5%
Mannheim-Nord	1	3%
Schwarzwald Süd	(2)	(19%)

Untersuchungen an Einzelpartikel zeigten, dass Aerosole bei niedriger relativer Luftfeuchte leicht mit gelösten Salzen wie Ammoniumsulfat übersättigen, bevor diese auskristallisieren. Auch polare organische Verbindungen im Schwebstaub, wie z.B. Dicarbonsäuren, haben ein nicht zu vernachlässigbares Wasseraufnahmevermögen.

In den Abbildungen 6.2.4.4 und 6.2.4.5 wurden die Konzentrationen des nicht bestimmbaren Restes, der Ammonsalze und des organischen Materials nach aufsteigender PM₁₀ Schwebstaubkonzentration der analysierten Filter aufgetragen. Zum Vergleich wurde der elementare Kohlenstoff (EC), der kein Wasseraufnahmevermögen aufweist, mit dargestellt.

Sowohl an der Verkehrsmessstation als auch an der städtischen Hintergrundstation steigen die Ammonsalz-, OM- und Restkonzentrationen mit höheren Schwebstaubkonzentrationen in ähnlicher Weise an, während die EC-Konzentrationen diesem Verlauf nur eingeschränkt folgen. Die Ammonsalzkonzentrationen verlaufen an den Stationen Stuttgart Am Neckartor und Mannheim-Nord auf gleichem Niveau, während die mittlere OM-Konzentration an der Verkehrsmessstation mit 13 µg/m³ im Jahresmittel etwa dreimal so hoch ist als im städtischen Hintergrund in Mannheim-Nord mit 4 µg/m³ (vgl. Kapitel 6.2.1 und 6.2.2). Dennoch verlaufen im Bereich von Schwebstaubkonzentrationen PM₁₀ größer 70 µg/m³ an der Verkehrsmessstation und größer 30 µg/m³ an der städtischen Hintergrundstation die OM-Konzentrationen und der nicht bestimmbarer Rest annähernd parallel. Dies deutet darauf hin, dass der Wassergehalt im Schwebstaub stärker mit dem Gehalt an organischen Verbindungen als mit dem Ammonsalzgehalt korreliert.

Kalzium, Magnesium, Kalium und Eisen wurden bei den hier durchgeführten Auswertungen als Oxide berechnet und dem Mineralstaub zugerechnet. Da der Hauptanteil an Kalzium, Magnesium und Kalium jedoch in wasserlöslicher Form und Eisen an der Verkehrsmessstation aus Bremsabrieb zum Teil elementar im Schwebstaub PM₁₀ vorliegen kann, wird der nicht bestimmbarer Rest und damit der Wassergehalt eher unterschätzt. Der mittlere Wassergehalt an den Stationen Stuttgart und Mannheim-Nord kann mit etwa 5 % - 10 % grob abgeschätzt werden.

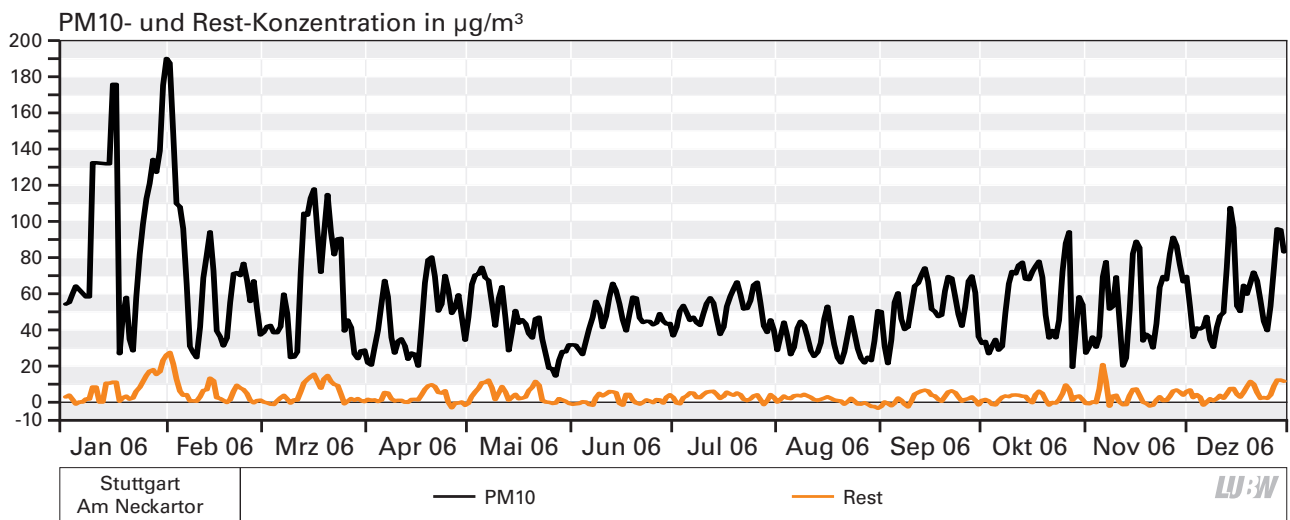


Abbildung 6.2.4.1: Jahresverlauf der Konzentrationen von Schwebstaub PM10 und des nicht bestimmaren Rests an der Station Stuttgart Am Neckartor 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 10 Perioden)

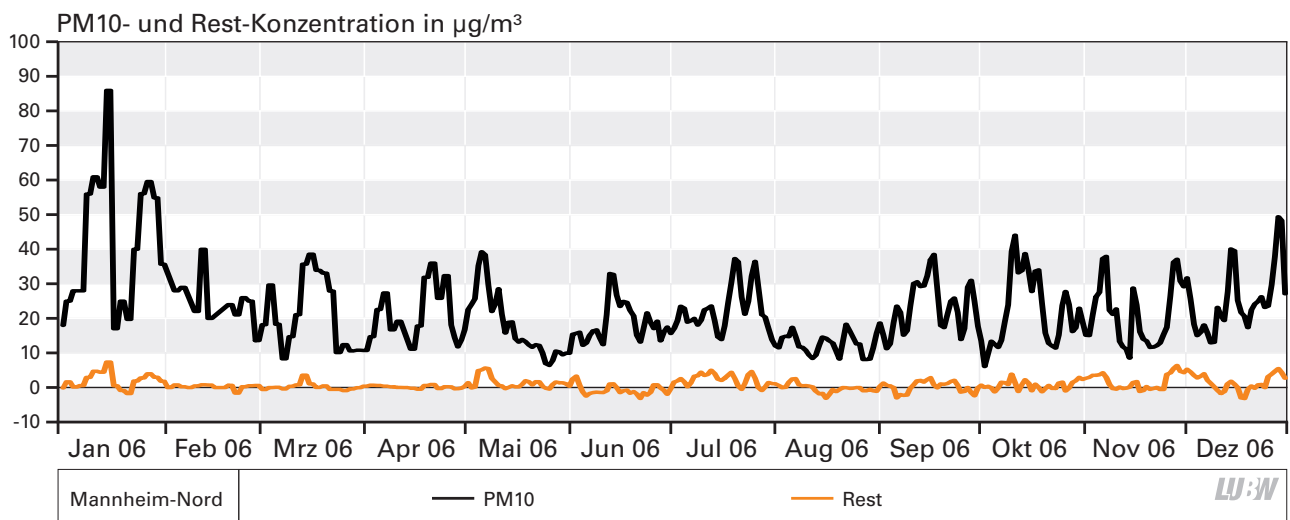


Abbildung 6.2.4.2: Jahresverlauf der Konzentrationen von Schwebstaub PM10 und des nicht bestimmaren Rests an der Station Mannheim-Nord 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 10 Perioden)

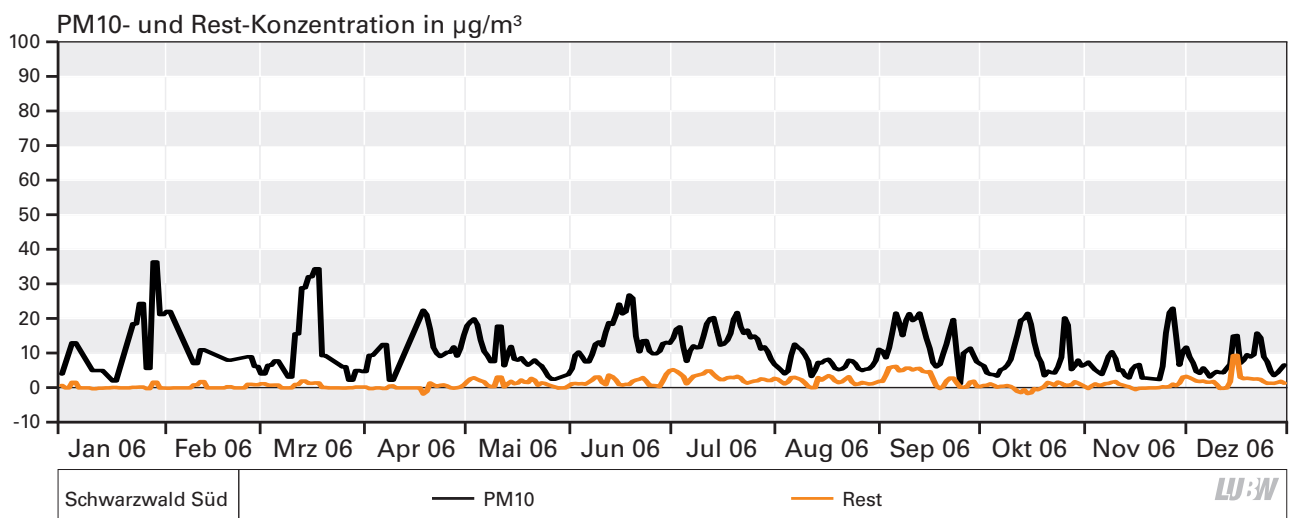


Abbildung 6.2.4.3: Jahresverlauf der Konzentrationen von Schwebstaub PM10 und des nicht bestimmaren Rests an der Station Schwarzwald Süd 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 10 Perioden)

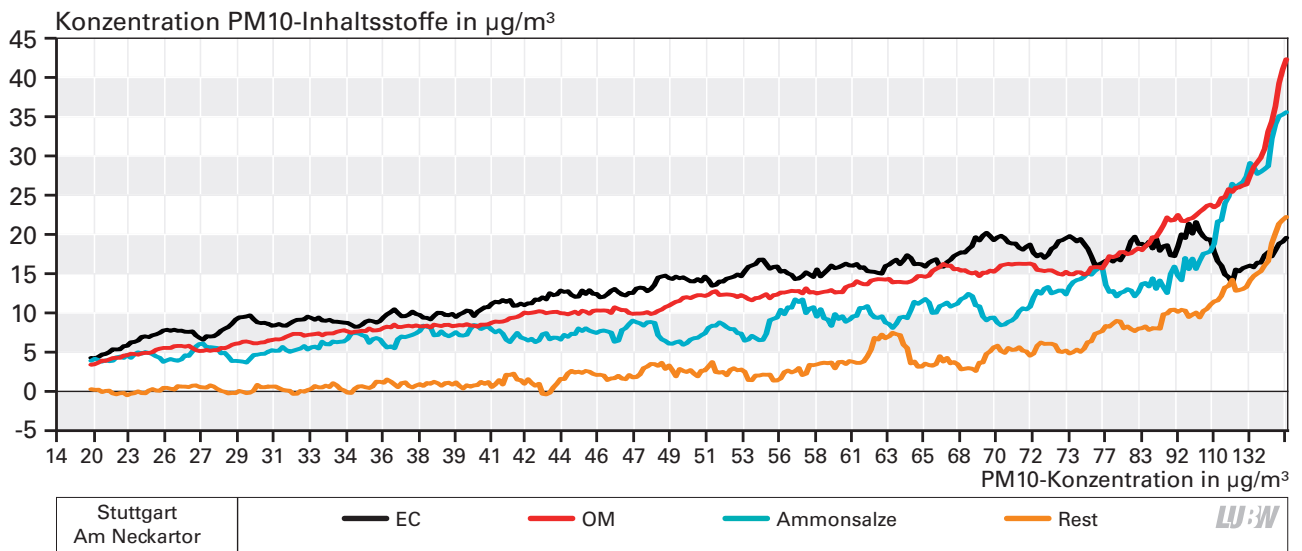


Abbildung 6.2.4.4: Nicht bestimmbarer Rest, EC, OM und Ammonsalze sortiert nach aufsteigender PM10 Schwebstaubkonzentration der untersuchten Filter an der Station Stuttgart Am Neckartor 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 10 Perioden)

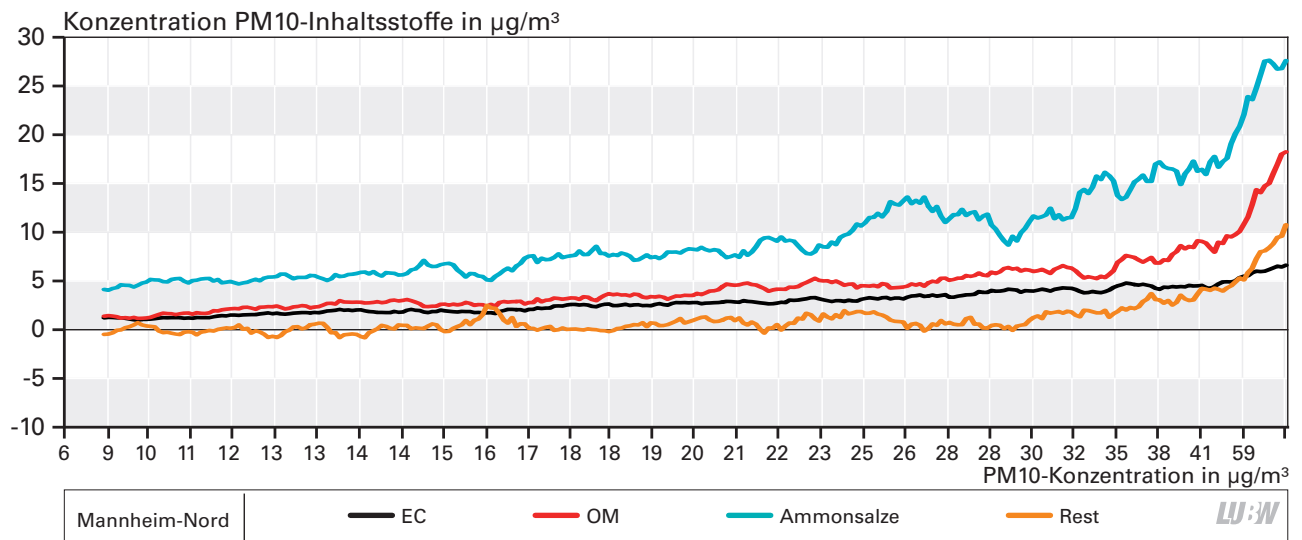


Abbildung 6.2.4.5: Nicht bestimmbarer Rest, EC, OM und Ammonsalze sortiert nach aufsteigender PM10 Schwebstaubkonzentration der untersuchten Filter an der Station Mannheim-Nord 2006 (Trendlinien gleitender Mittelwert 10 Perioden)

7 Betrachtung der Ergebnisse für ausgewählte Episoden im Jahr 2006

7.1 Auswahl einzelner Episoden zur Auswertung im Jahr 2006

Zur Untersuchung der Schwebstaubzusammensetzung PM₁₀ bei verschiedenen meteorologischen Bedingungen wurden fünf Kurzzeitepisoden anhand der Schwebstaubkonzentrationen, Mischungsschichthöhenprofile (siehe Kapitel 5.1) und Lufttemperaturen zu differenzierten Betrachtung ausgewählt.

Episode 1: 20. Januar bis 04. Februar 2006

Am 22. Januar verstärkte sich ein ausgeprägtes Hochdruckgebiet über Mitteleuropa, das von Spanien bis nach Nordrussland reichte. Auf seiner Südseite wurde mit einer Ostströmung wolkenarme und sehr kalte arktische Luft herangebracht. Die Tagesmitteltemperaturen gingen stark zurück. Zusätzlich war die Mischungsschichthöhe am 24.01. auf etwa 400 Meter und auch die Windgeschwindigkeit niedrig. Mit dem Durchzug eines Tiefdruckgebietes am 25./26.01. wurde der Einfluss des Hochdruckgebietes im Norden Baden-Württembergs leicht abgeschwächt. Es kam zu Niederschlägen (Schneefall), gebietsweise etwas höheren Windgeschwindigkeiten und zur Auflösung der Inversion. In den Folgetagen stieg der Luftdruck an. Durch Warmluftzufuhr in der Höhe und Absinkbewegung im Hochdruckgebiet kam es zur Ausbildung einer markanten Inversion. So war es beispielsweise am 27.01. an der Station Schwarzwald Süd (920 m Höhenlage) über 10 Grad wärmer als im tiefer gelegenen Freiburg. Die Mischungsschichthöhe betrug zwischen 200 und 300 Meter. In den folgenden Tagen nahmen die Windgeschwindigkeiten weiter ab. Dem gegenüber waren in den östlichen, südlichen und zentralen Landesteilen bis zum 31.01. die Windgeschwindigkeiten noch vergleichsweise hoch. Mitteleuropa gelangte mehr in eines der Zentren des Hochdruckgebietes. Dabei schwächte sich das Hochdruckgebiet etwas ab. Die Luftdruckgegensätze über Deutschland waren gering. Vom 01.02. bis 06.02. waren die Windgeschwindigkeiten allgemein auf niedrigem Niveau. Durch schwachen Störungseinfluss wurde die Inversion am 03./04.02. angehoben. Die Trajektorien zeigten insbesondere für den Zeitraum ab dem 31.01.2006 für den süddeutschen Raum kurze

Wege. Der Wind kam meist aus östlicher bis südöstlicher Richtung. Doch häufig gab es auch Windstillen. So wurden während der zweiten Hochdruckphase in Isny im Osten Baden-Württembergs in 34,9 % der Zeit Windstillen beobachtet. In Bernhausen waren es 19,8 %. Dies bedeutet, dass die Luftmassen sich nur langsam bewegten und es zu einer Ansammlung der Schadstoffe kommen konnte. An der Spot - Messstation Stuttgart Am Neckartor wurden im betrachteten Zeitraum Schwebstaubkonzentrationen PM₁₀ von über 190 µg/m³ (01.02.2006) bei einer mittleren Konzentration von 114 µg/m³, an der Station Mannheim-Nord 59 µg/m³ (28.01.06) bei einer mittleren Konzentration von 42 µg/m³ und an der Hintergrundstation Schwarzwald Süd 36 µg/m³ (30.01.06) bei einer mittleren Konzentration von 21 µg/m³ erreicht. Die Durchschnittstemperaturen an den drei Stationen lagen zwischen - 1 °C in Stuttgart Am Neckartor und - 3 °C in Mannheim-Nord. In LUBW-Bericht Nr. 61-08/2006 sind die Inversionswetterlagen im Januar/Februar 2006 ausführlich beschrieben.

Episode 2: 13. März bis 24. März 2006

Auch der Zeitraum von 13. bis 24. März 2006 zeichnete sich durch hohe Schwebstaub PM₁₀-Konzentrationen aus. An der Station Stuttgart Am Neckartor wurden Schwebstaubkonzentrationen PM₁₀ von bis zu 115 µg/m³ (20.03.2006) bei einer mittleren Konzentration von 99 µg/m³, an der Station Mannheim-Nord 39 µg/m³ (17.03.06) bei einer mittleren Konzentration von 32 µg/m³ und an der Hintergrundstation Schwarzwald Süd 34 µg/m³ (19.03.06) bei einer mittleren Konzentration von 24 µg/m³ erreicht. Die Durchschnittstemperaturen lagen zwischen - 1 °C an der Station Schwarzwald Süd und 4 °C in Stuttgart. Die Mischungsschichthöhen bewegten sich in Bereichen von 600 m bis 1400 m an der Station Stuttgart Am Neckartor, 400 m - 1600 m in Mannheim-Nord und 350 m - 1100 m an der Station Schwarzwald Süd. Die mittleren Windgeschwindigkeiten lagen mit 1,4 m/s (Stuttgart Am Neckartor) bis 2,4 m/s in Mannheim-Nord auf ähnlich niedrigem Niveau wie in der 1. Episode. In der Zeit von 13. - 21.03. fielen an allen drei Messorten kaum Niederschläge. Die mittleren Niederschlagsmengen über den betrachteten

Zeitraum beliefen sich auf $0,3 \text{ l/m}^2$ in Mannheim-Nord bis $1,7 \text{ l/m}^2$ an der Station Schwarzwald Süd.

Episode 3: 19. Mai bis 1. Juni 2006

Der Zeitraum von 19. Mai bis 01. Juni 2006 zeichnete sich durch niedrige Schwebstaub PM10-Konzentrationen aus. An der Spot – Messstation Stuttgart Am Neckartor wurde im betrachteten Zeitraum der Immissionswert PM10 für das Tagesmittel nur einmal mit $62 \mu\text{g/m}^3$ (22.05.2006) überschritten, an der Station Mannheim-Nord lagen alle Konzentrationen unter $15 \mu\text{g/m}^3$ und an der Hintergrundstation Schwarzwald Süd unter $10 \mu\text{g/m}^3$. Die Durchschnittstemperaturen lagen zwischen $8 \text{ }^\circ\text{C}$ in Schwarzwald Süd und $14 \text{ }^\circ\text{C}$ in Stuttgart Am Neckartor. Die mittleren Windgeschwindigkeiten lagen etwa auf doppeltem Niveau im Vergleich zu den ersten beiden Episoden. Auch die mittleren Niederschlagsmengen waren im Vergleich zu den beiden Episoden im Januar und März mit $2,5 \text{ l/m}^3$ in Mannheim-Nord bis $6,8 \text{ l/m}^3$ in Schwarzwald Süd deutlich höher.

Episode 4: 1. August bis 12. August 2006

Der Zeitraum von 1. August bis 12. August 2006 zeichnete sich ebenfalls durch niedrige Schwebstaub PM10-Konzentrationen aus. An der Spot – Messstation Stuttgart Am Neckartor wurde im betrachteten Zeitraum bei einer mittleren Schwebstaubkonzentration von $35 \mu\text{g/m}^3$ der Immissionswert PM10 für das Tagesmittel an allen Tagen unterschritten, an der Station Mannheim-Nord lagen die mittlere Konzentration bei $13 \mu\text{g/m}^3$ und an der Hintergrundstation Schwarzwald Süd bei $8 \mu\text{g/m}^3$. Die Durchschnittstemperaturen an den drei Stationen lagen zwischen $12 \text{ }^\circ\text{C}$ in Schwarzwald Süd und $18 \text{ }^\circ\text{C}$ in Mannheim-Nord. Die mittleren Windgeschwindigkeiten lagen auf dem gleichen Niveau wie in der zweiten Episode im März. Im betrachteten Zeitraum kam es zu teilweise heftigen Regenfällen. Die mittleren Niederschlagsmengen lagen im Bereich von 4 l/m^3 in Stuttgart Am Neckartor und 8 l/m^3 bzw. 9 l/m^3 in Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd.

Episode 5: 23. November bis 8. Dezember 2006

Der Zeitraum von 23. November bis 8. Dezember 2006 zeichnete im Vergleich zu den beiden Episoden im Sommerhalbjahr wieder durch erhöhte Schwebstaub PM10-Konzentrationen aus. An der Station Stuttgart Am Neckartor wurde im betrachteten Zeitraum bei einer mittleren

Schwebstaubkonzentration von $62 \mu\text{g/m}^3$ der Immissionswert PM10 für das Tagesmittel vom 23.11. – 2.12. an allen Tagen überschritten, an der Station Mannheim-Nord lagen die mittlere Konzentration mit $22 \mu\text{g/m}^3$ auf doppeltem Niveau gegenüber der Episode im August. An der Hintergrundstation Schwarzwald Süd lagen die Mischungsschicht Höhen im Zeitraum vom 23.11. bis 28.11. ununterbrochen bei unter 300 m. Dies führte in Verbindung mit niedrigen Windgeschwindigkeiten zu einem Anstieg der PM10 Schwebstaubkonzentrationen von über $20 \mu\text{g/m}^3$ vom 26. November bis zum 28. November. Die mittlere Schwebstaubkonzentration in dieser Episode lag an der Station Schwarzwald Süd bei $10 \mu\text{g/m}^3$. Auch an den Stationen Stuttgart Am Neckartor und Mannheim-Nord bewirkten niedrige Mischungsschicht Höhen in Verbindung mit niedrigen Windgeschwindigkeiten einen Anstieg der PM10-Konzentrationen bis zum 29. November. Die Durchschnittstemperaturen an den drei Stationen bewegten sich mit $8 \text{ }^\circ\text{C}$ in Schwarzwald Süd bis $10 \text{ }^\circ\text{C}$ in Mannheim-Nord auf höherem Niveau als im betrachteten Zeitraum im März. Während in Mannheim-Nord und Stuttgart Am Neckartor kaum Niederschlag fiel, kam es an der Station Schwarzwald Süd am 04.12., 06.12. und 08.12. zu teils heftigen Regenfällen. Die mittleren Windgeschwindigkeiten lagen mit $1,4 \text{ m/s}$ (Stuttgart Am Neckartor) bis $2,4 \text{ m/s}$ in Mannheim-Nord auf ähnlich niedrigem Niveau wie in der 1. Episode.

7.2 Schwebstaubkonzentration PM10

In den Abbildungen 7.2.1 – 7.2.3 sind die Schwebstaub PM10-Konzentrationen und die Mischungsschicht Höhen zusammen mit den mittleren Lufttemperaturen an den drei Messorten während der ausgewählten Episoden dargestellt. Die Staubsammler an den Messstationen Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd wurden erst ab Ende April täglich mit Quarzfaserfiltern bestückt, weshalb an diesen Stationen während der ersten und zweiten Episode ein kleineres Datenkollektiv vorliegt.

Die Abbildungen sowie die Beschreibung der fünf Episoden in Kapitel 7.1 verdeutlichen die starke Abhängigkeit der Schwebstaubkonzentration PM10 von den meteorologischen Bedingungen. Mehrere Tage andauernde Inversionswetterlagen im Winterhalbjahr durch stabile Hochdruckwetterlagen bei niedrigen Temperaturen und geringen

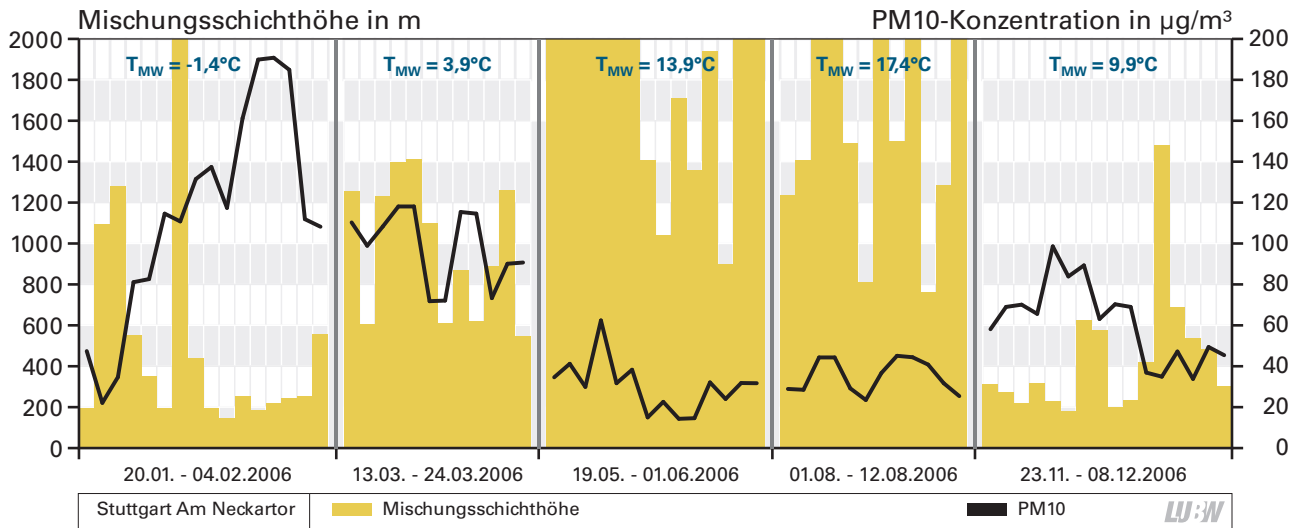


Abbildung 7.2.1: Mischungsschichthöhen und PM10 Konzentration an ausgesuchten Episoden an der Station Stuttgart Am Neckartor 2006

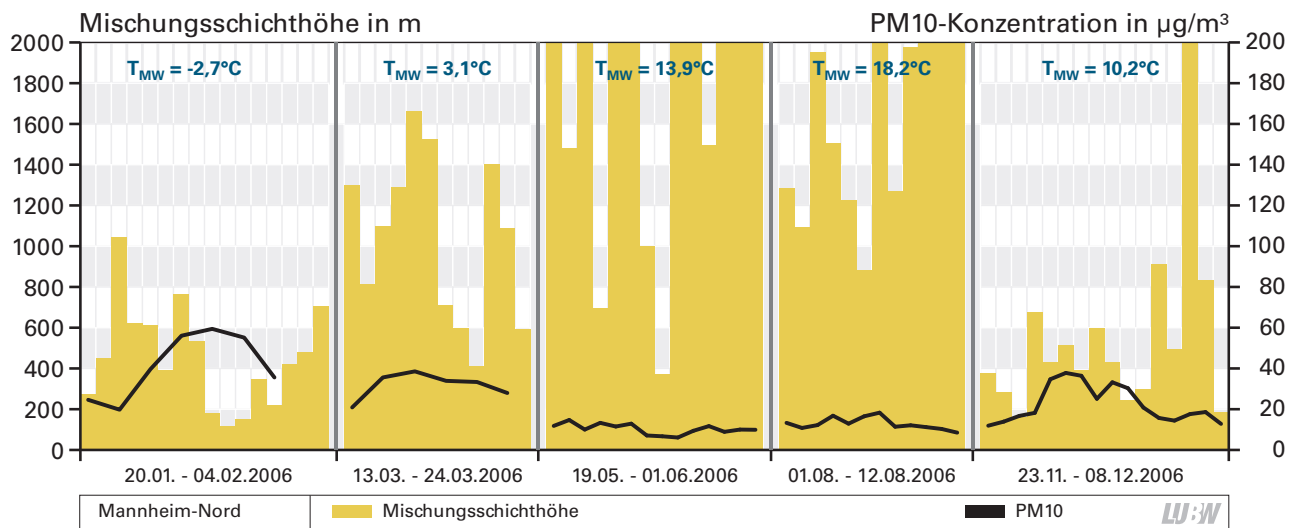


Abbildung 7.2.2: Mischungsschichthöhen und PM10 Konzentration an ausgesuchten Episoden in Mannheim-Nord 2006

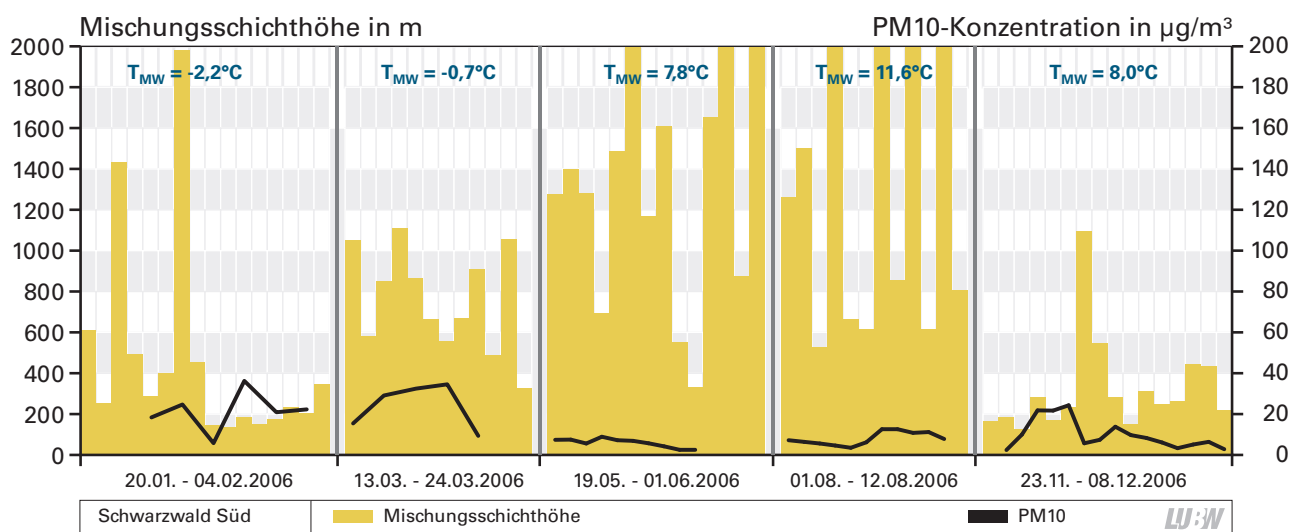


Abbildung 7.2.3: Mischungsschichthöhen und PM10 Konzentration an ausgesuchten Episoden an der Station Schwarzwald Süd 2006

Windgeschwindigkeiten führen großräumig zu einer Anreicherung von Luftschadstoffen und damit zu hohen Feinstaubkonzentrationen PM10. In Phasen mit guter Durchmischung, höheren Windgeschwindigkeiten und Niederschlägen während des Sommerhalbjahres liegen die Schwebstaubkonzentrationen auf deutlich niedrigerem Niveau.

7.3 Konzentrationen und Anteile massenrelevanter Inhaltsstoffe im Schwebstaub PM10

In den nachfolgenden Auswertungen sind jeweils die Konzentrationen an Schwebstaub PM10 den massenrelevanten Inhaltsstoffen und deren prozentualen Anteilen an den drei Stationen in den ausgewählten Episoden 2006 gegenübergestellt. An der Verkehrsmessstation Stuttgart Am Neckartor wurden routinemäßig täglich die Inhaltsstoffe in Schwebstaub analysiert, während in Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd die Probenahme auf Quarzfaserfiltern nur zweitägig erfolgte. Im Rahmen der Auswertungen zu den besonderen Immissionsituationen während der Inversionswetterlagen im Januar und Februar 2006 (LUBW Bericht 61-08/2006) wurde jedoch festgestellt, dass die Schwebstaubkonzentrationen und die Konzentrationen der Inhaltsstoffe über mehrere Tage stetig ansteigen oder auch von Tag zu Tag starken Schwankungen unterworfen sein können. Dies ist bei den nachfolgenden Auswertungen

zu berücksichtigen. Deshalb wurden an den Stationen Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd ab Ende April täglich Quarzfaserfilter zur Probenahme des Schwebstaubes und Analyse der Inhaltsstoffe eingesetzt.

7.3.1 Ammonsalze

In den folgenden Abbildungen und Tabellen sind die Ammonsalzkonzentrationen in Schwebstaub PM10 an den drei Messorten an den ausgewählten Episoden des Jahres 2006 dargestellt.

In den letzten drei betrachteten Episoden wurden die Ammonsalze an allen Stationen täglich analysiert. Aus den Tabellen 7.3.1.1 und 7.3.1.2 wird deutlich, dass bei Verwendung zeitgleicher Datensätze identische mittlere Ammonsalzkonzentrationen an den Stationen Stuttgart Am Neckartor und Mannheim-Nord resultieren (vgl. auch Kapitel

Tabelle 7.3.1.1: Schwebstaub PM10, mittlere Ammonsalzkonzentrationen und deren Anteile Stuttgart Am Neckartor

Stuttgart Am Neckartor	PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Ammonsalze [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Ammonsalze Anteil
20.01. – 04.02.06	114	28	25%
18.03. – 24.03.06	98	24	25%
19.05. – 01.06.06	30	4,5	17%
01.08. – 12.08.06	35	5,8	17%
23.11. – 08.12.06	62	7,0	11%

LUBW

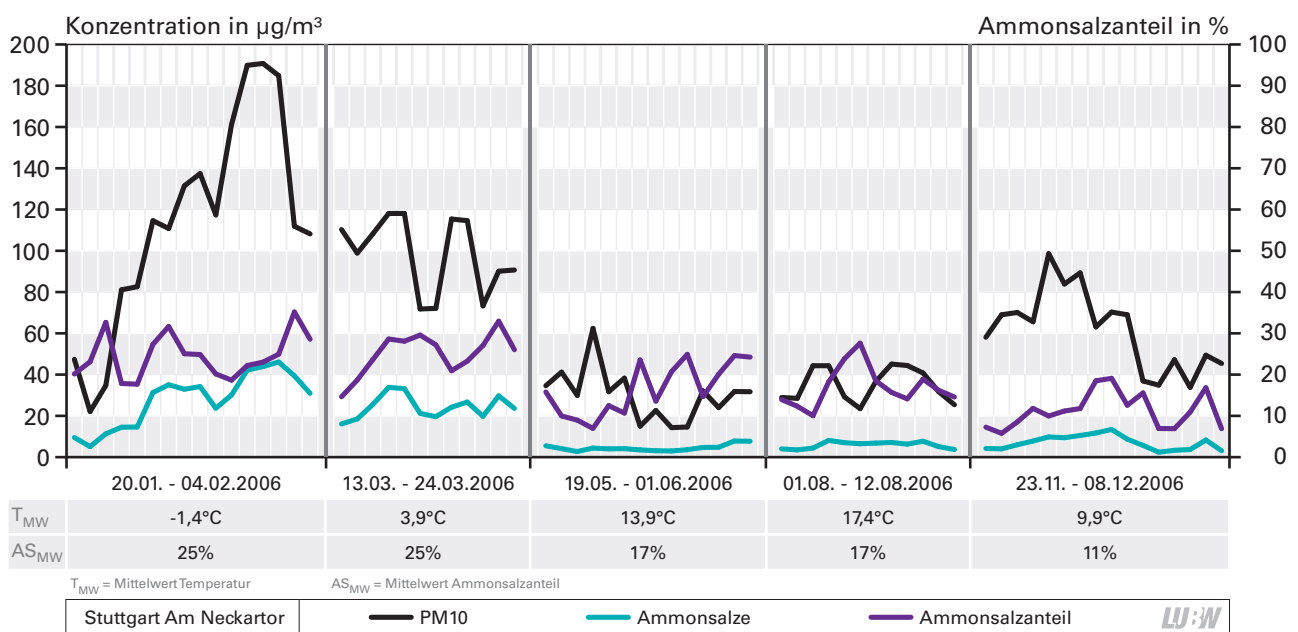


Abbildung 7.3.1.1: Ammonsalz- und PM10 Konzentration an ausgesuchten Episoden an der Station Stuttgart Am Neckartor 2006

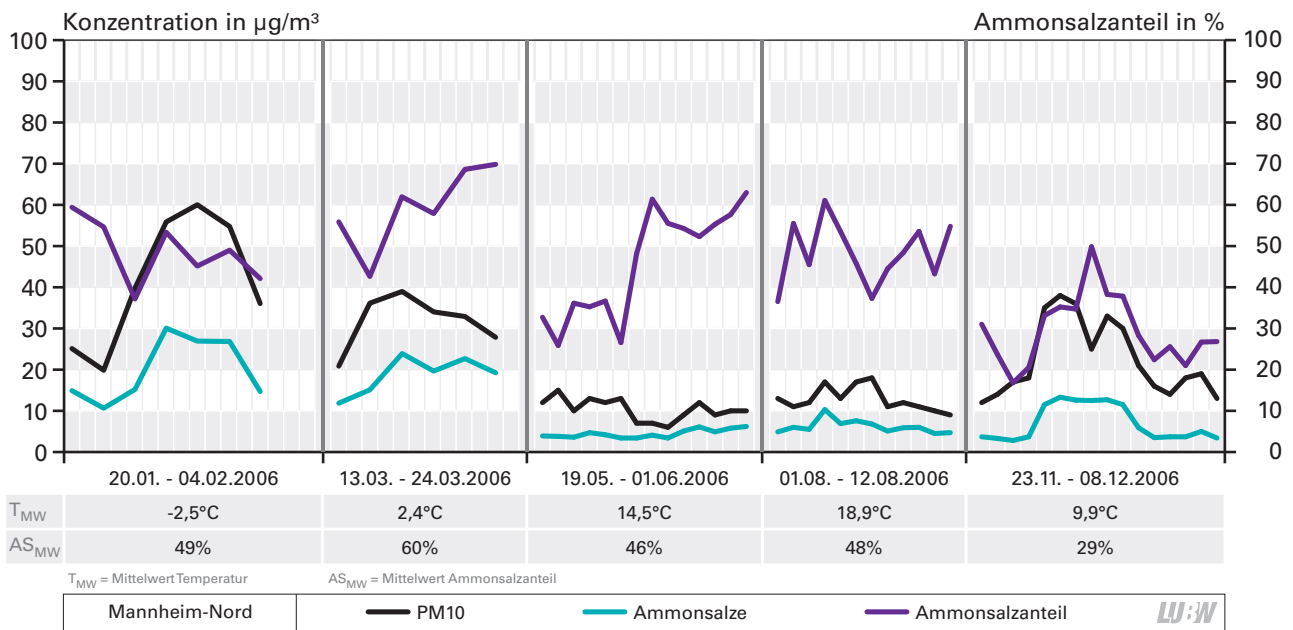


Abbildung 7.3.1.2: Ammonsalz- und PM10 Konzentration an ausgesuchten Episoden in Mannheim-Nord 2006

Tabelle 7.3.1.2: Schwebstaub PM10, Ammonsalzkonzentrationen und deren Anteile Mannheim-Nord

Mannheim-Nord	PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Ammonsalze [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Ammonsalze Anteil
20.01. – 04.02.06	42	20	49%
18.03. – 24.03.06	32	20	60%
19.05. – 01.06.06	10	4,5	46%
01.08. – 12.08.06	13	6,2	48%
23.11. – 08.12.06	22	7,1	29%

Tabelle 7.3.1.3: Schwebstaub PM10, Ammonsalzkonzentrationen und deren Anteile Schwarzwald Süd

Schwarzwald Süd	PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Ammonsalze [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Ammonsalze Anteil
20.01. – 04.02.06	21	12	55%
18.03. – 24.03.06	24	15	63%
19.05. – 01.06.06	5,8	2,2	41%
01.08. – 12.08.06	8,0	3,2	41%
23.11. – 08.12.06	9,9	2,1	26%

LUBW

LUBW

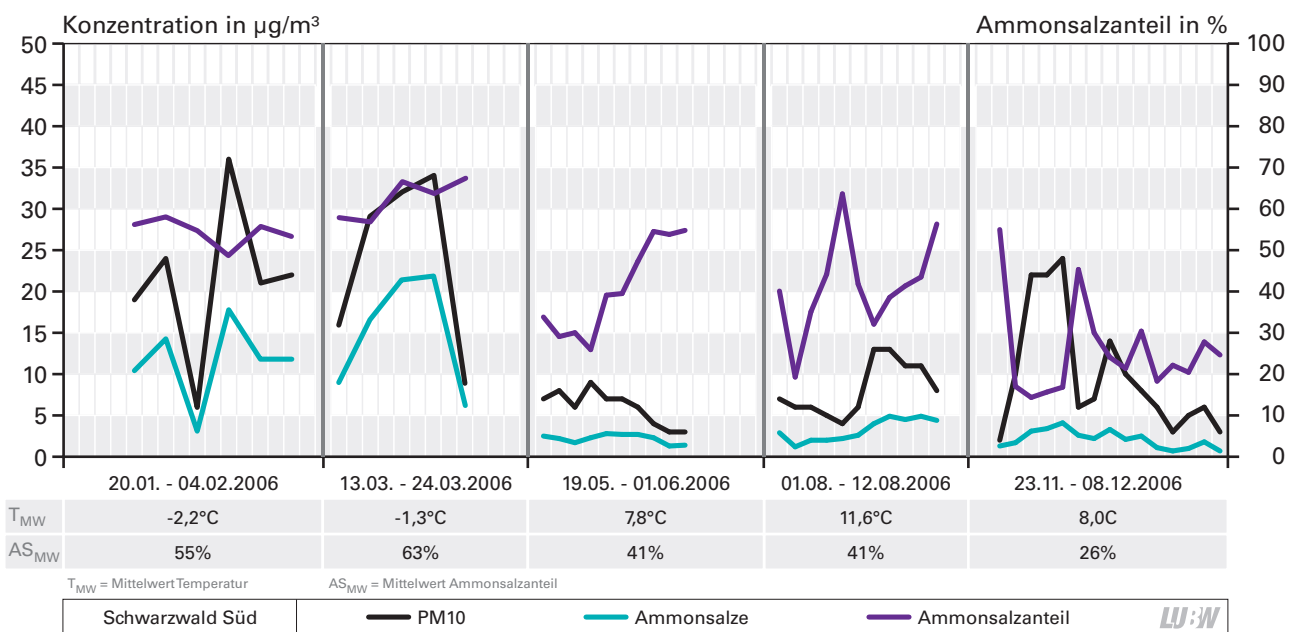


Abbildung 7.3.1.3: Ammonsalz- und PM10 Konzentration an ausgesuchten Episoden In Schwarzwald Süd 2006

6.2.1), obwohl die mittlere Schwebstaubkonzentration in Stuttgart Am Neckartor mehr als doppelt so hoch ist wie in Mannheim-Nord. Die lokale Ammonsalzkonzentration wird nicht direkt durch den Verkehr beeinflusst, sondern stellt den großräumigen städtischen Hintergrund dar.

Weiterhin fällt auf, dass die Schwebstäube PM10 im städtischen und ländlichen Hintergrund gleiche prozentuale Ammonsalzanteile aufweisen, obwohl die Schwebstaubkonzentrationen PM10 an der Messstation Schwarzwald Süd (Tabelle 7.3.1.3) auf deutlich niedrigerem Niveau liegen.

Die prozentualen Anteile der Ammonsalzkonzentrationen im Schwebstaub unterliegen an allen Messorten starken täglichen Schwankungen. Dies ist jedoch in erster Linie auf die Schwankungen der Schwebstaubkonzentrationen PM10 zurückzuführen. In den Sommerepisoden bei guter Durchmischung verlaufen die Ammonsalzkonzentrationen aufgrund der großräumigen Gleichverteilung annähernd konstant, während die Schwebstaubgesamtkonzentrationen PM10 durch unterschiedliche örtliche Quellen oder Antransport stark variieren können.

An den Stationen Stuttgart Am Neckartor und Mannheim-Nord liegen die Ammonsalzkonzentrationen in der Episode vom 23.11. – 08.12.06 auf etwa gleichem Niveau wie an den betrachteten Episoden im Mai und August, während die Schwebstaubkonzentrationen etwa zweifach höher sind. In Kapitel 6.2.1 wurde gezeigt, dass bei Betrachtung des Gesamtjahres 2006 an allen drei Messorten mit steigender Lufttemperatur ein Rückgang der Ammonsalze im Schwebstaub zu beobachten ist. Die Auswertung der hier ausgewählten Einzelepisoden zeigt jedoch nochmals deutlich, dass der Ammonsalzanteil im Schwebstaub nicht proportional von der Lufttemperatur abhängig ist.

An keinem der drei Messorte ist während der betrachteten Episoden eine überproportionale Neubildung der Ammonsalze zu erkennen. Die starken Anstiege der Ammonsalzkonzentrationen Ende Januar und Mitte März sind auf die Anreicherung des Schwebstaubes während der Inversionswetterlagen zurückzuführen. Dies wird besonders aus Abbildung 7.3.1.3 deutlich. Mit dem Durchzug eines Tiefdruckgebietes wurde Ende Januar der Einfluss des Hochdruckgebietes kurzzeitig leicht abgeschwächt. Es kam zu Niederschlägen

(Schneefall), gebietsweise etwas höheren Windgeschwindigkeiten, und zur Auflösung der Inversion. Die Mischungsschichthöhe an der Station Schwarzwald Süd stieg von 400m auf etwa 2000m an. Die Schwebstaubkonzentration PM10 ging von 24 µg/m³ am 26.01. auf 6 µg/m³ am 28.01. zurück. Die Ammonsalzkonzentration ging im gleichen Ausmaß zurück, der prozentuale Anteil im Schwebstaub PM10 blieb nahezu gleich. Dies verdeutlicht auch, dass die Betrachtung der Schwebstaubzusammensetzung an Einzeltagen des Jahres zu beträchtlichen Fehlinterpretationen führen kann.

7.3.2 Elementarer Kohlenstoff (EC) und Organisches Material (OM)

In Tabelle 7.3.2.1 sind die mittleren Schwebstaubkonzentrationen PM10, die EC- und OM-Konzentrationen sowie deren Anteile am Schwebstaub aufgelistet, in den Abbildungen 7.3.2.1 – 7.3.2.6 die ausgewählten Episoden graphisch dargestellt.

Abbildung 7.3.2.1 verdeutlicht den direkten Verkehrseinfluss als fast konstante Quelle für den elementaren Kohlenstoff

Tabelle 7.3.2.1: Schwebstaub PM10, EC- und OM-Konzentrationen und deren Anteile an den drei Messstationen

Messstation	PM10 [µg/m³]	EC [µg/m³]	EC Anteil	OM [µg/m³]	OM Anteil
Stuttgart Am Neckartor					
20.01. – 04.02.06	114	15	14%	27	23%
18.03. – 24.03.06	98	14	15%	19	20%
19.05. – 01.06.06	30	8,3	28%	7,5	23%
01.08. – 12.08.06	35	11	31%	8,1	22%
23.11. – 08.12.06	62	17	28%	15	25%
Mannheim-Nord					
20.01. – 04.02.06	42	4,5	12%	9,5	22%
18.03. – 24.03.06	32	3,1	10%	4,7	14%
19.05. – 01.06.06	10	1,1	11%	1,6	15%
01.08. – 12.08.06	13	1,6	12%	2,0	16%
23.11. – 08.12.06	22	3,0	13%	4,6	21%
Schwarzwald Süd					
20.01. – 04.02.06	21	2,6	14%	5,5	25%
18.03. – 24.03.06	24	2,3	10%	3,4	14%
19.05. – 01.06.06	5,8	0,4	9%	0,4	6%
01.08. – 12.08.06	8,0	0,8	10%	0,8	8%
23.11. – 08.12.06	9,9	0,6	8%	0,8	9%

(EC) auf die Schwebstaubkonzentration PM10. Die EC-Konzentrationen liegen an den betrachteten Episoden auf annähernd gleichem Niveau. Nur die Phasen im Mai und August 2006 mit höheren Windgeschwindigkeiten weisen etwas niedrigere EC-Konzentrationen bei jedoch deutlich niedrigeren Schwebstaubkonzentrationen auf. Dagegen sind die prozentualen während der Inversionswetterlagen bei sehr hohen Schwebstaubkonzentrationen PM10 am niedrigsten, da auch bei diesen Bedingungen eine Verdünnung der EC-Konzentrationen an der Verkehrsmessstation stattfindet.

Gleichzeitig ist in den Winterphasen eine erhöhte Konzentration an organischem Material zu beobachten. In den Sommerphasen sinkt die Konzentration an organischem Material unter der des EC.

Wie in Kapitel 6.2.2 ausgeführt, lässt dies auf zusätzliche OM-Anteile durch Hausbrand während der Heizperiode schließen.

Die Stationen Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd unterliegen nicht dem direkten Verkehrseinfluss. Der prozentuale Anteil an EC im Schwebstaub PM10 liegt an beiden

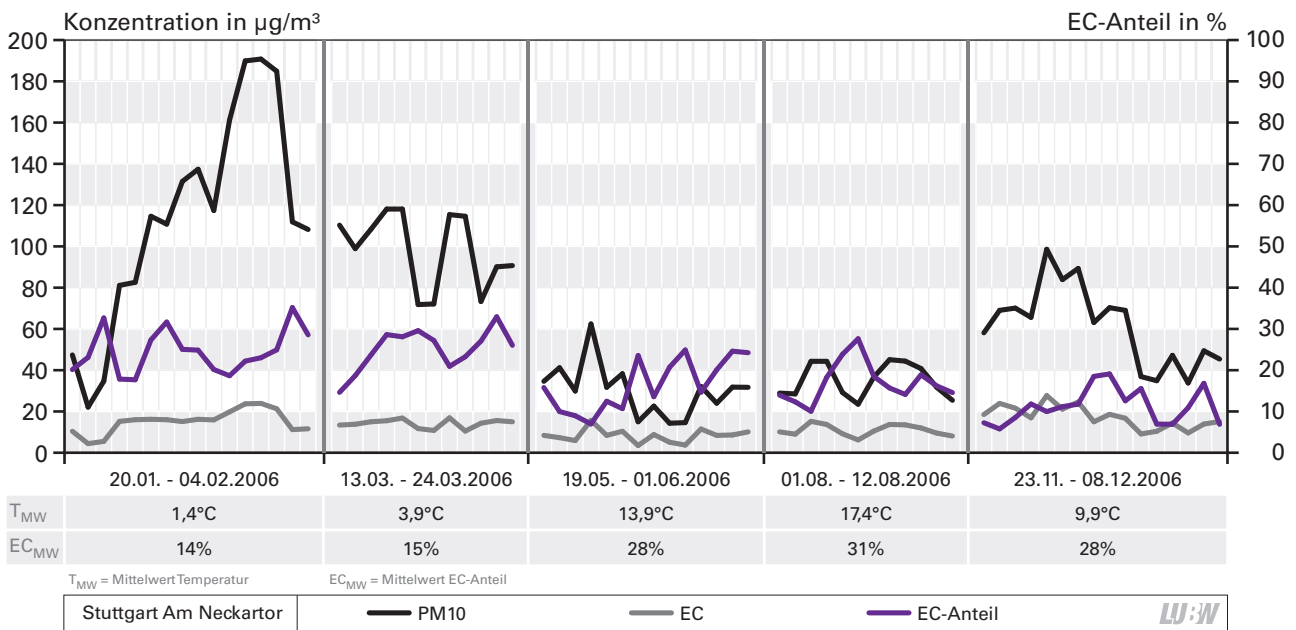


Abbildung 7.3.2.1 EC- und PM10 Konzentration an ausgesuchten Episoden Stuttgart Am Neckartor 2006

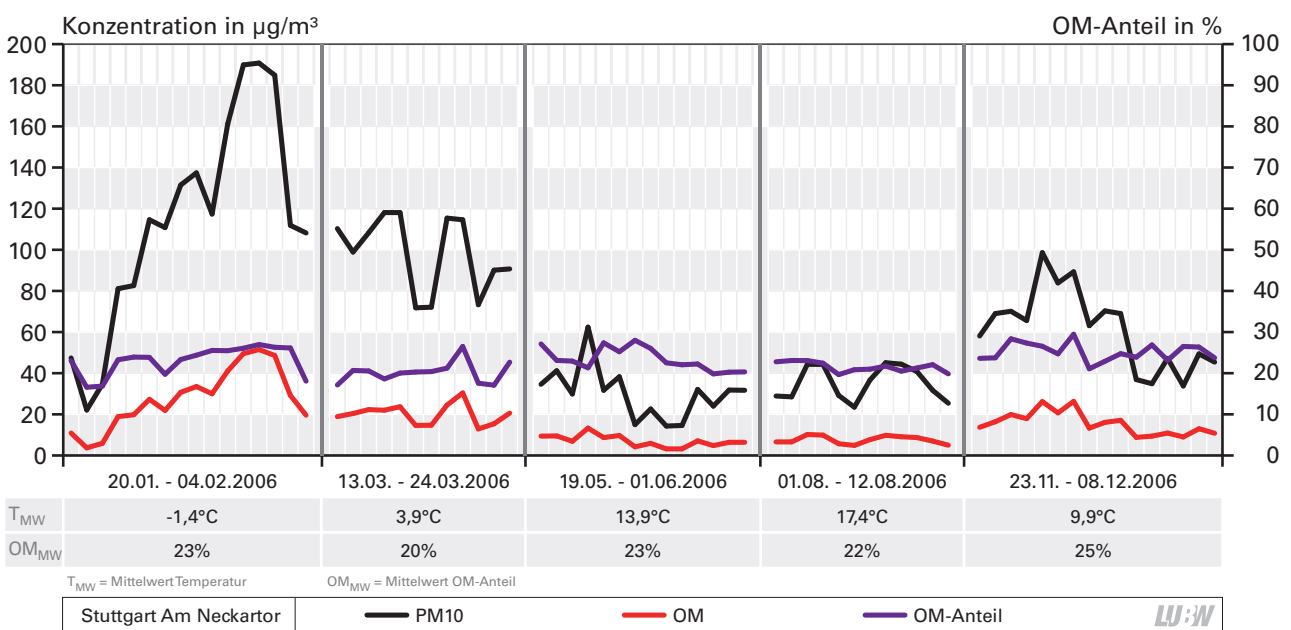


Abbildung 7.3.2.2 OM- und PM10 Konzentration an ausgesuchten Episoden Stuttgart Am Neckartor 2006

Stationen auf gleichem Niveau bei etwa 10 % - 12 %. Der EC-Anteil wird hier durch Antransport geprägt.

Auch an den Stationen im städtischen und ländlichen Hintergrund ist an den Episoden im Januar und März mit niedrigen Lufttemperaturen ein deutlich erhöhter Anteil an organischem Material zu beobachten.

Im November 2006 herrschten vergleichsweise milde Temperaturen. In Mannheim-Nord ist der Beginn der Heizperiode

in der Episode vom 23.11. – 08.12. anhand der erhöhten OM-Anteile schon zu beobachten, während der Anteil an organischem Material an der Hintergrundstation Schwarzwald Süd noch auf vergleichbarem Niveau liegt wie in den Sommermonaten. Auch dies deutet darauf hin, dass der Anstieg der OM-Konzentrationen im Winterhalbjahr durch den Hausbrand beeinflusst wird. Wesentliche Anteile durch Pollen, Pflanzenteile oder durch aus Vorläufersubstanzen gebildete organische Verbindungen im Schwebstaub PM10 im Frühling und Sommer sind dagegen nicht feststellbar.

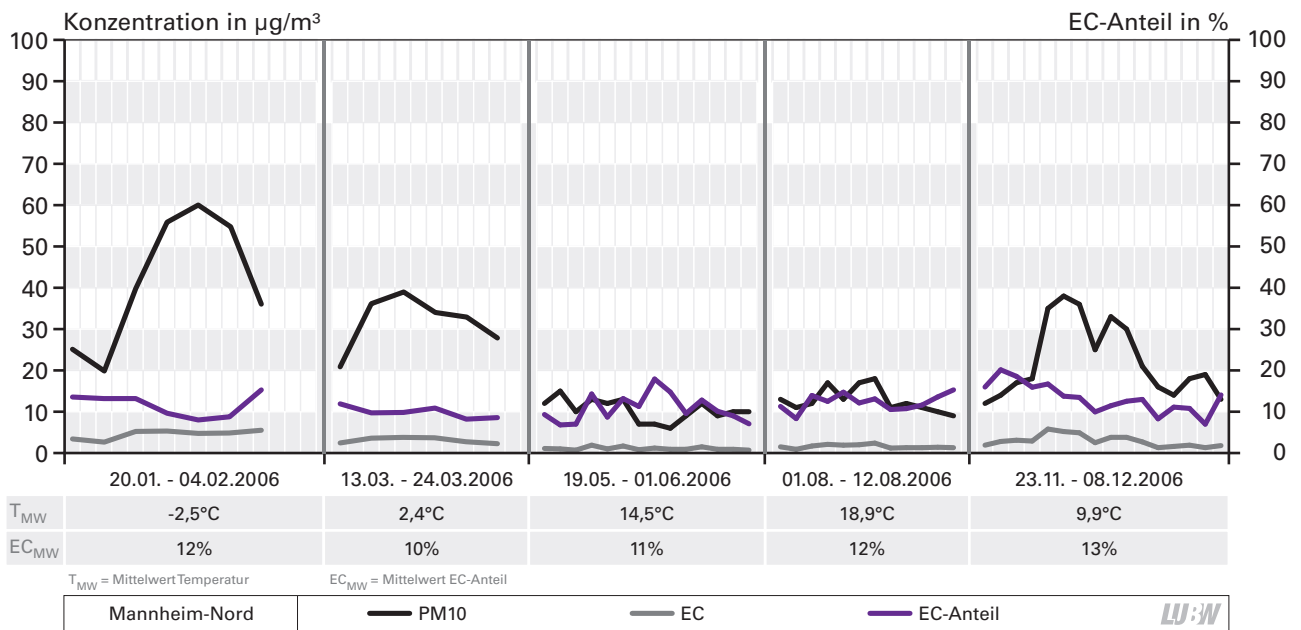


Abbildung 7.3.2.3 EC- und PM10 Konzentration an ausgesuchten Episoden in Mannheim-Nord 2006

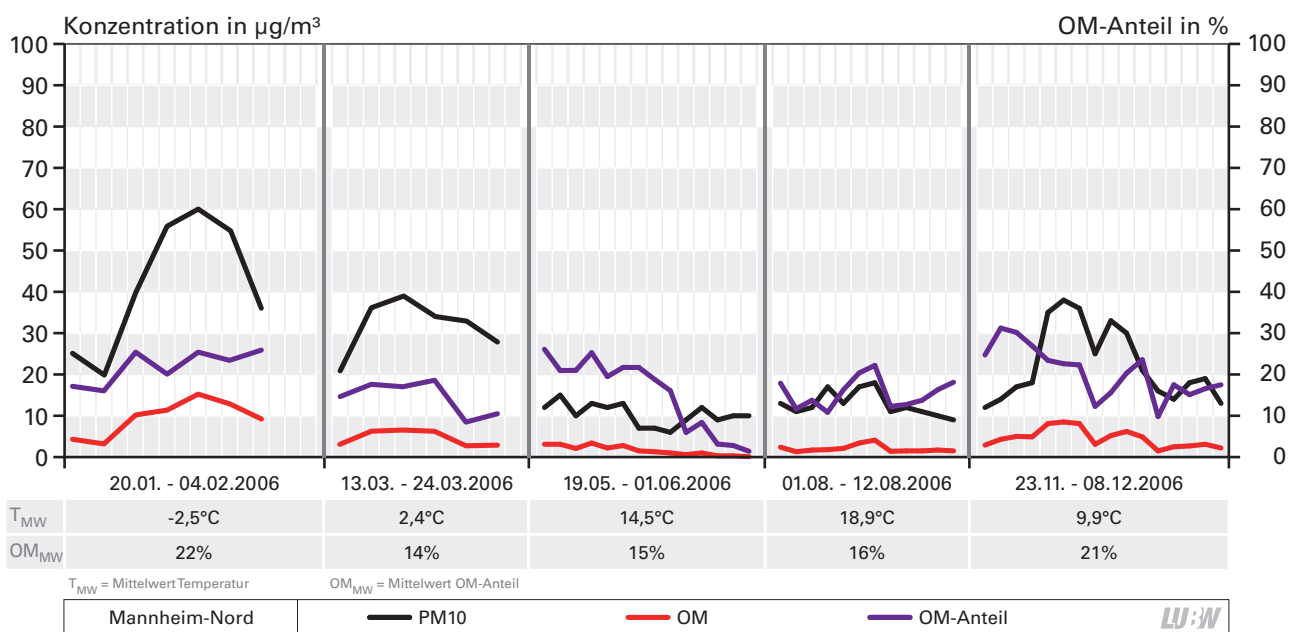


Abbildung 7.3.2.4 OM- und PM10 Konzentration an ausgesuchten Episoden in Mannheim-Nord 2006

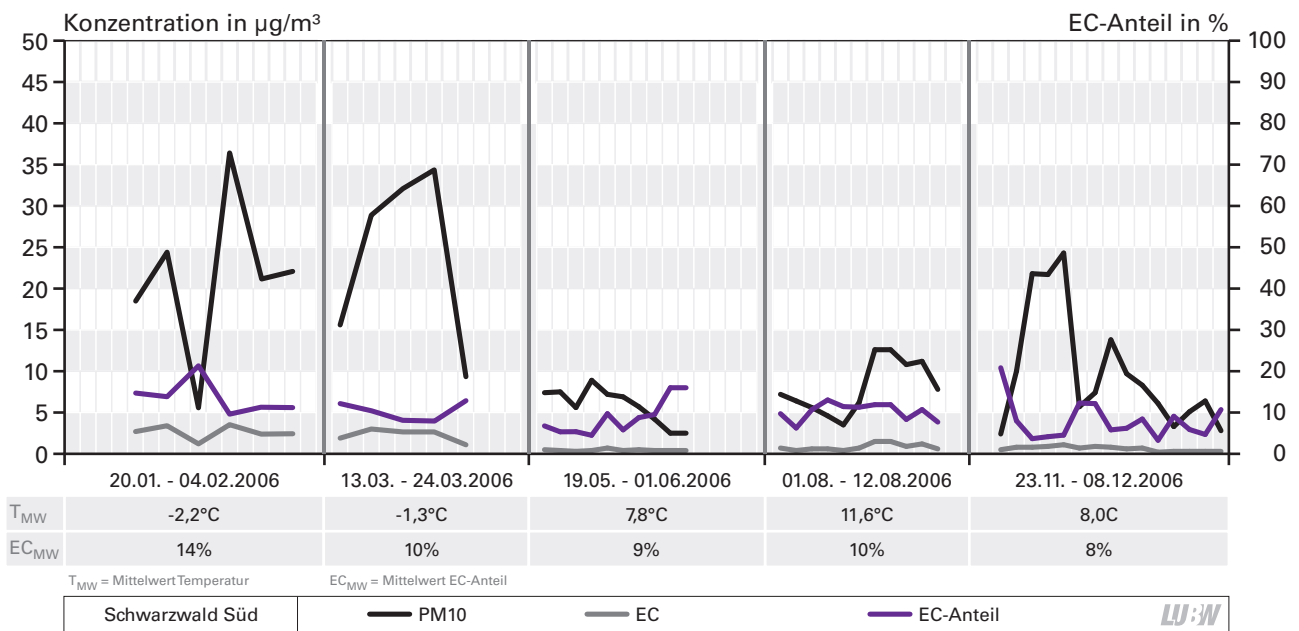


Abbildung 7.3.2.5 EC- und PM10 Konzentration an ausgesuchten Episoden In Schwarzwald Süd 2006

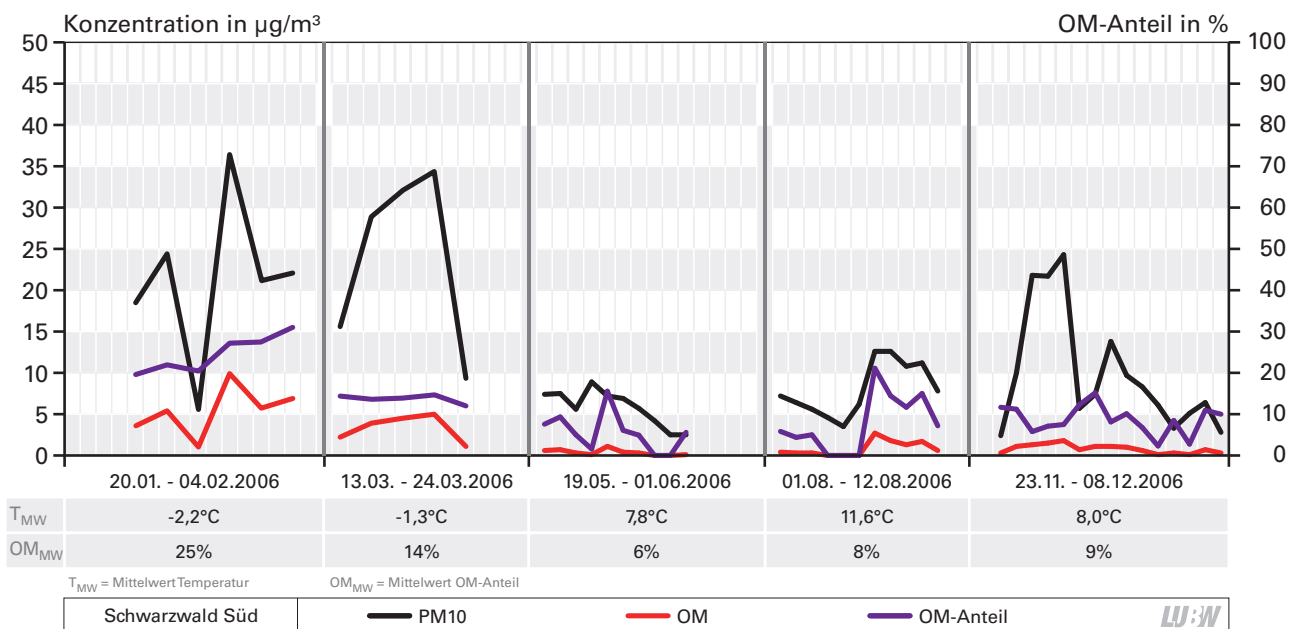


Abbildung 7.3.2.6 OM- und PM10 Konzentration an ausgesuchten Episoden In Schwarzwald Süd 2006

7.3.3 Mineralstaub

Die Berechnung der Mineralstaubkonzentration erfolgt aus der Summierung der Elemente Zink, Aluminium, Silizium, Mangan, Eisen, Kalzium, Magnesium und Kalium in ihren Oxidformen.

Jedoch liegen etwa 90% der Summe an Ca, Mg, Na und Kalium als wasserlösliche Verbindungen im Schwebstaub PM10 vor. In Kapitel 6.2.3 wurde gezeigt, dass die Mineralstäube an der Verkehrsmessstation sowie der städtischen und ländlichen Hintergrundstationen sowohl bezüglich der Zusammensetzung als auch bezüglich des Massenanteils im

Schwebstaub PM10 weitgehend übereinstimmen. Nur der Eisenoxidgehalt ist mit 13 % an der Verkehrsmessstation deutlich höher als in Mannheim-Nord mit 3% und an der Station Schwarzwald Süd mit 1,5 %. Daraus kann geschlossen werden, dass die Eisenanteile im Schwebstaub PM10 an der Station Stuttgart Am Neckartor zum größten Teil aus dem Verkehr stammen. Da die Eisenkonzentrationen an der Verkehrsmessstation weitgehend aus Bremsabrieb stammen, kann ein Anteil des Eisens im Schwebstaub PM10 in elementarer Form vorliegen. Auch der mittlere Konzentrationsanteil von Kalziumoxid (siehe Tabelle 6.2.3.1) ist im Mineral-

Tabelle 7.3.3.1: Schwebstaub PM10, Mineralstaub-, Eisen und Kalziumkonzentrationen und deren Anteile an den drei Messstationen

Messstation	PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Mineralstaub [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Mineralstaub Anteil	Fe [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Fe Anteil	Ca [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Ca Anteil
Stuttgart Am Neckartor							
20.01. – 04.02.06	114	20	17%	6,5	6%	2,3	2%
18.03. – 24.03.06	98	20	20%	5,7	6%	2,8	3%
19.05. – 01.06.06	30	6,6	22%	2,6	9%	0,6	2%
01.08. – 12.08.06	35	7,6	20%	3,6	10%	0,5	1%
23.11. – 08.12.06	62	17	27%	6,9	11%	1,6	3%
Mannheim-Nord							
20.01. – 04.02.06	42	3,7	11%	0,4	1%	0,2	0,5%
18.03. – 24.03.06	32	2,4	8%	0,3	1%	0,2	0,6%
19.05. – 01.06.06	10	2,8	8%	0,2	2%	0,1	0,5%
01.08. – 12.08.06	13	1,5	12%	0,2	2%	0,2	1%
23.11. – 08.12.06	22	3,1	14%	0,5	2%	0,3	1%
Schwarzwald Süd							
20.01. – 04.02.06	21	1,1	6%	0,1	1%	0,1	0,4%
18.03. – 24.03.06	24	1,0	4%	0,1	0,4%	0,1	0,4%
19.05. – 01.06.06	5,8	0,5	7%	0,04	1%	0,03	0,5%
01.08. – 12.08.06	8,0	0,8	9%	0,1	1%	0,1	1%
23.11. – 08.12.06	9,9	4,3	24%	0,2	2%	0,2	2%

LU:W

staub über das Gesamtjahr 2006 an der Verkehrsmessstation etwa doppelt so hoch wie an den Hintergrundstationen und somit zum Teil dem Verkehr zuzuordnen.

In Tabelle 7.3.3.1 sind die Konzentrationen und Anteile des Mineralstaubs als Summe der Oxide sowie Eisen und Kalzium an den drei Messstationen dargestellt.

Die Eisenkonzentrationen im Schwebstaub PM10 sind an allen betrachteten Episoden mit $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an der Verkehrsmessstation gegenüber der städtischen und ländlichen Hintergrundstation deutlich erhöht. Der Konzentrationsverlauf in Abbildung 7.3.3.1 ähnelt dem des elementaren Kohlenstoffes (EC).

In den folgenden Abbildungen sind die Schwebstaubkonzentrationen PM10, die Mineralstaubkonzentrationen sowie deren Anteile an den drei Messstationen dargestellt. Auf eine graphische Darstellung der Kalziumkonzentrationen wird aufgrund der geringen Massenrelevanz an dieser Stelle verzichtet.

Die Mineralstaubanteile zeigen in den ersten vier Episoden an allen Messstationen jeweils einen weitgehend konstanten Verlauf. Es fällt jedoch auf, dass in der Phase vom 25.11. – 03.12.06 der Mineralstaubanteil an der Hintergrundstation Schwarzwald Süd stark ansteigt. An diesen Tagen weist der Schwebstaub erhöhte Konzentrationen an Aluminium, Kalzium, Magnesium und Eisen auf. Dies weist auf einen erhöhten Anteil antransportierten mineralischen Staubes hin. Am 04.12. kam es zu starken Niederschlägen, wodurch die Schwebstaubkonzentrationen PM10 und die Mineralstaubkonzentrationen stark zurückgingen. Aus Abbildung 7.3.3.4 wird deutlich, dass die Betrachtung von Einzeltagen zu beträchtlichen Fehlinterpretationen der mittleren jährlichen Schwebstaubzusammensetzung führen kann.

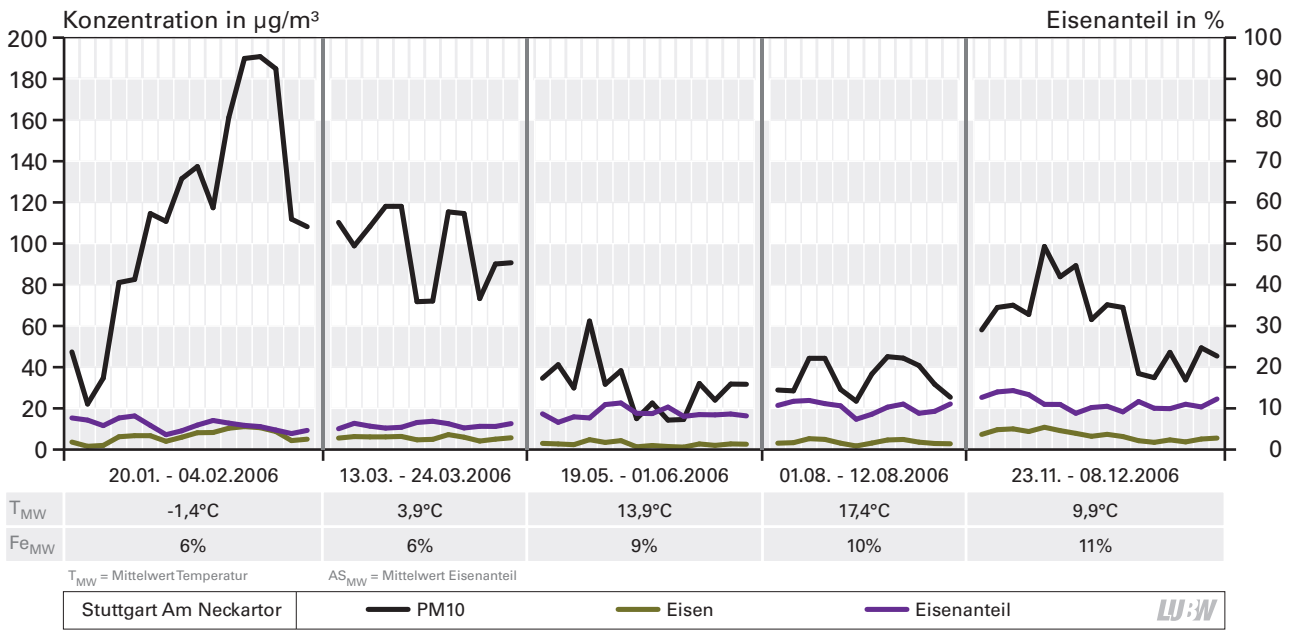


Abbildung 7.3.3.1 Schwebstaub PM10 und Eisen an ausgesuchten Episoden an der Station Stuttgart Am Neckartor

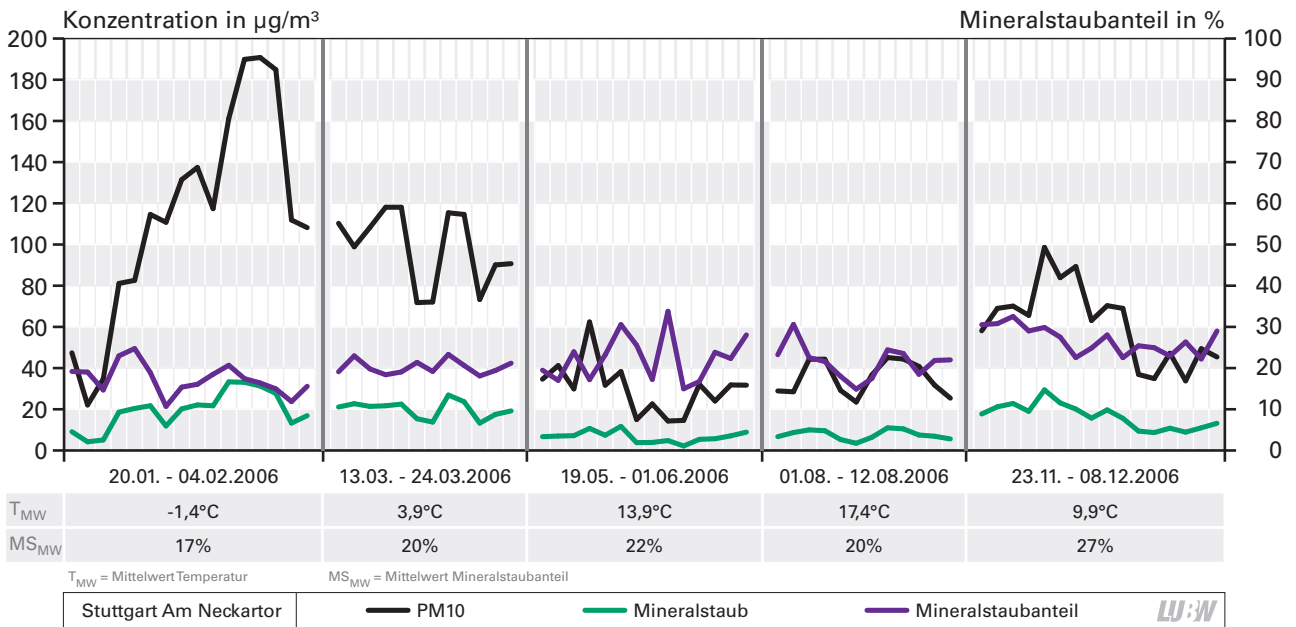


Abbildung 7.3.3.2: Schwebstaub PM10 und Mineralstaub an ausgesuchten Episoden an der Station Stuttgart Am Neckartor 2006

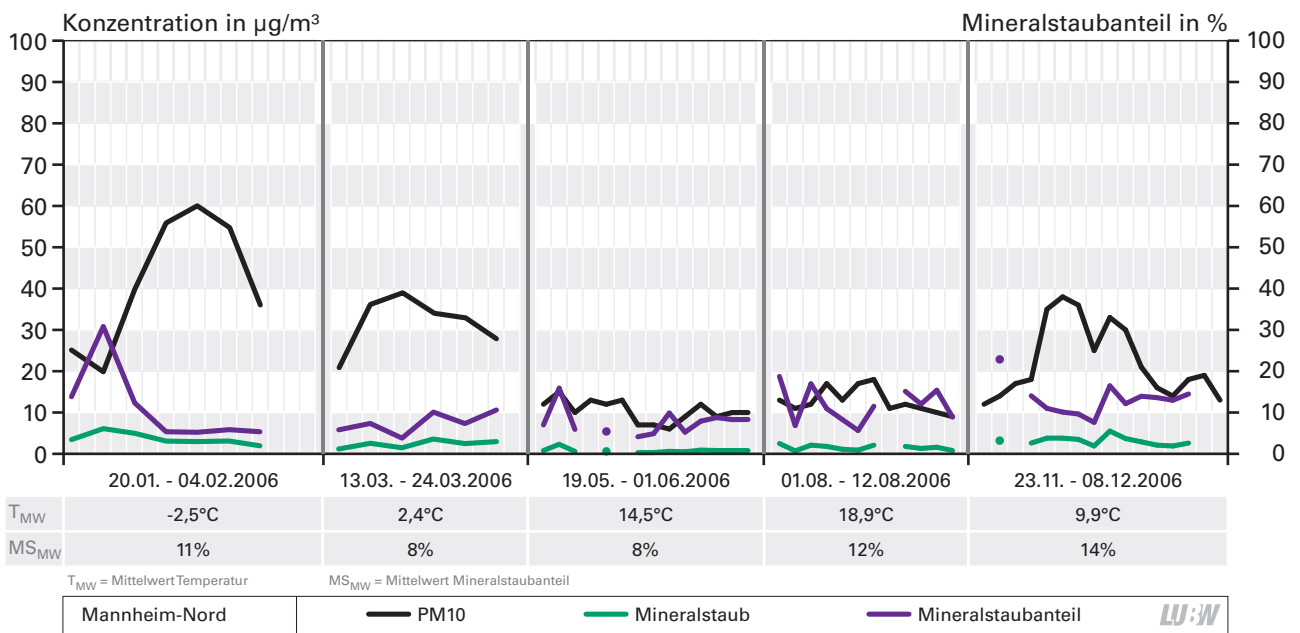


Abbildung 7.3.3.3: Schwebstaub PM10 und Mineralstaub an ausgesuchten Episoden an der Station Mannheim-Nord 2006

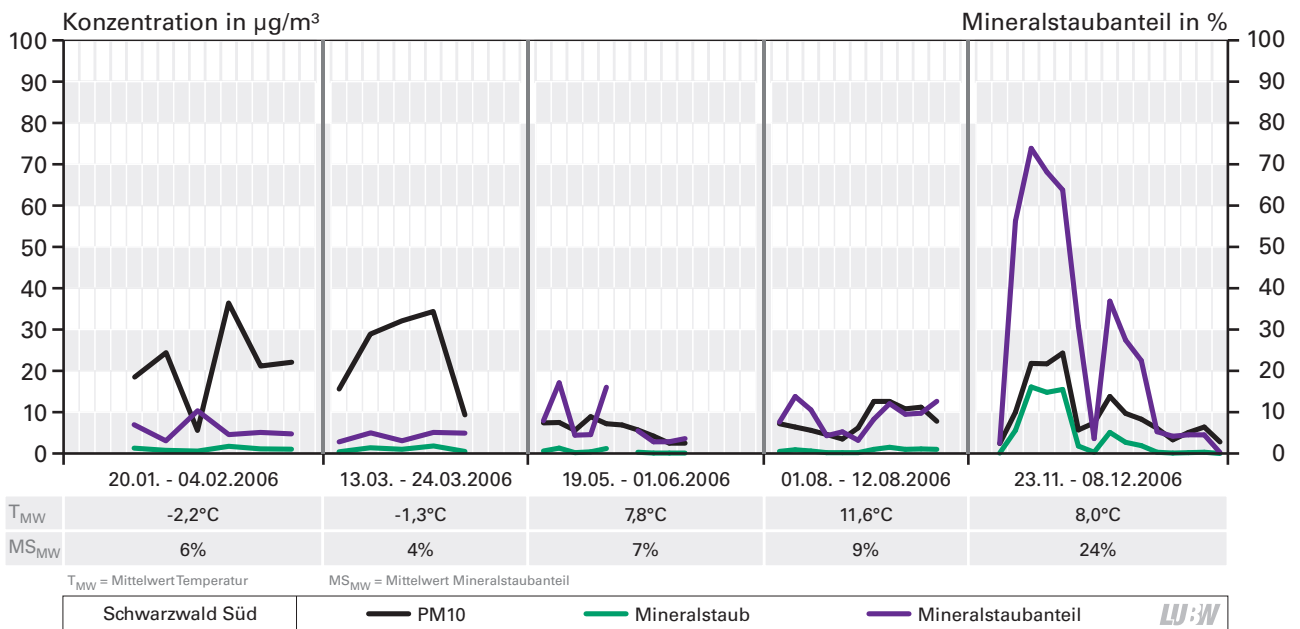


Abbildung 7.3.3.4: Schwebstaub PM10 und Mineralstaub an ausgesuchten Episoden an der Station Schwarzwald Süd 2006

8 Untersuchung der zeitlichen Variabilität der Schwebstaubzusammensetzung

Die differenzierten Auswertungen an den drei Messstationen über die Gesamtjahre 2006 und 2007 sowie für ausgewählte Episoden des Jahres 2006 zeigen, dass die örtlichen Schwebstaubkonzentrationen PM₁₀, unabhängig von der jeweiligen Staubzusammensetzung, entscheidend von den meteorologischen Bedingungen wie Mischungsschichthöhen, Windgeschwindigkeiten und Niederschlägen abhängen. An allen drei Stationen sind ausgeprägte Jahrgänge der Schwebstaubkonzentrationen zu erkennen. Die Schwebstaubkonzentrationen verlaufen an den drei Messstationen zwar auf deutlich unterschiedlichen Niveaus, zeigen jedoch sowohl an der Verkehrsmessstation als auch im städtischen und ländlichen Hintergrund den gleichen Verlauf bezüglich Konzentrationsspitzen und Konzentrationsminima. Bei der Einzelbetrachtung der massenrelevanten Inhaltsstoffe an den drei Messstationen im Jahr 2006 fällt auf, dass die Ammoniumsalkonzentrationen an den Stationen in Stuttgart Am Neckartor und Mannheim-Nord bei der Auswertung zeitgleicher Datensätze über das gesamte Jahr 2006 nahezu identisch verlaufen, obwohl die mittlere Schwebstaubkonzentration PM₁₀ an der Verkehrsmessstation Stuttgart Am Neckartor mit 55 µg/m³ mehr als doppelt so hoch ist wie in Mannheim-Nord.

An der Messstation Schwarzwald Süd liegt die Ammoniumsalkonzentration zwar auf niedrigerem Niveau, trägt aber im Mittel wie in Mannheim-Nord mit etwa 40% zum Schwebstaubgehalt PM₁₀ bei.

Die Mineralstäube im städtischen und ländlichen Hintergrund stimmen im Jahr 2006 sowohl bezüglich der Zusammensetzung als auch bezüglich des Massenanteils im Schwebstaub PM₁₀ weitgehend überein.

Aufgrund der großen Variabilität der täglichen Schwebstaubkonzentrationen und der Schwebstaubzusammensetzung, insbesondere bei Inversionswetterlagen, kann die Betrachtung von Einzeltagen als Grundlage zur Beurteilung der mittleren Schwebstaubzusammensetzung an einem Messort zu beträchtlichen Fehlinterpretationen führen.

Um mögliche Veränderungen der Zusammensetzung des Schwebstaubes PM₁₀ feststellen zu können, wurde die tägliche Untersuchung der massenrelevanten Inhaltsstoffe an den drei Messstationen im Jahr 2007 fortgeführt und die Ergebnisse der Jahre 2006 und 2007 gegenübergestellt.

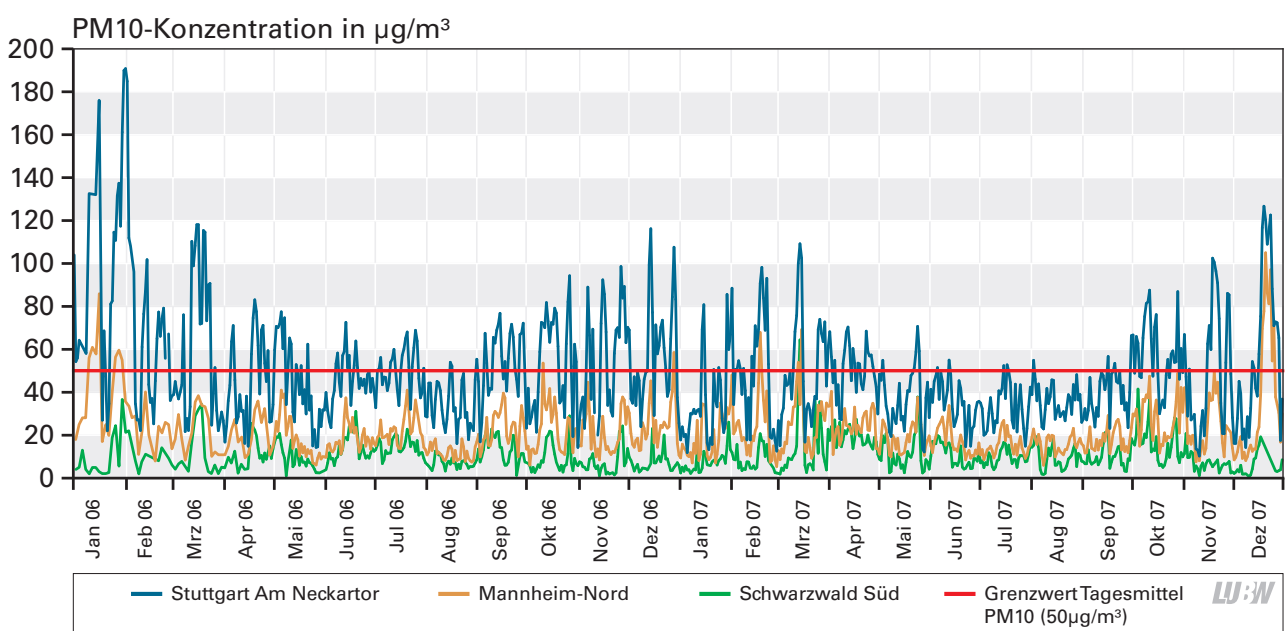


Abbildung 8.1: PM₁₀ Schwebstaubkonzentrationen 2006 und 2007 an den Stationen Stuttgart Am Neckartor, Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd

Tabelle 8.1: Jahresmittelwerte Schwebstaub PM10 und massenrelevante Inhaltsstoffe 2006 und 2007

Messstation	PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	EC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	OM [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Ammonsalze [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Mineralstaub [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	SiO ₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Na, K, Ca, Mg [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Na [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Chlorid [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Rest [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Jahresmittelwerte 2006										
Stuttgart Am Neckartor	55	13,3	12,7	9,9	12,7	2,1	2,6	0,8	1,7	3,8
Mannheim-Nord	24	2,8	4,3	9,4	3,3	1,4	0,9	0,3	0,9	1,0
Schwarzwald Süd	11	1,1	1,6	4,0	1,4	0,7	0,5	0,2	0,1	1,8
Jahresmittelwerte 2007										
Stuttgart Am Neckartor	44	10,1	9,3	8,9	10,7	1,9	1,7	0,4	0,9	3,9
Mannheim-Nord	22	2,4	4,0	9,0	2,9	1,2	1,0	0,4	0,6	2,6
Schwarzwald Süd	11	1,0	1,6	4,3	1,4	0,7	0,5	0,1	0,1	2,3



In Abbildung 8.1 sind die Schwebstaubkonzentrationen PM10 an den Stationen Stuttgart - Am Neckartor, Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd in den Jahren 2006 und 2007 zusammen dargestellt. An beiden Jahren sind an allen Stationen ausgeprägte Jahresgänge mit höheren Konzentrationen im Winter und niedrigeren Konzentrationen in den Sommermonaten zu erkennen. Die höchsten Schwebstaubkonzentrationen PM10 wurden mit mehr als $190 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an der Verkehrsmessstation in Stuttgart Am Neckartor während der stabilen Inversionswetterlagen im Januar und Februar 2006 erreicht. An der Verkehrsmessstation bilden sich solche Extremwetterlagen im Jahresmittelwert ab, während sich solche Phasen bei der städtischen und ländlichen Hintergrundstation nicht signifikant auf den Jahresmittelwert auswirken.

Aus Tabelle 8.1 wird ersichtlich, dass an der städtischen und ländlichen Hintergrundstation an beiden Jahren annähernd gleiche Jahresmittelwerte für die Schwebstaubkonzentrationen PM10 und für die massenrelevanten Inhaltsstoffe resultieren. Weiterhin wird deutlich, dass im Jahr 2007 mit $8,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an der Verkehrsmessstation und $9,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an der städtischen Hintergrundstation die Ammonsalzkonzentrationen auf gleichem Niveau liegen. Seit Januar 2006 wurden die Inhaltsstoffe an der Verkehrsmessstation Stuttgart Am Neckartor täglich analysiert, während in Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd die Analyse der Inhaltsstoffe bis Ende April 2006 nur jeden zweiten Tag erfolgte.

Da von Januar bis März 2006, meteorologisch bedingt, die höchsten Schwebstaubkonzentrationen und damit auch

Ammonsalzkonzentrationen auftraten, sind die Jahresmittelwerte 2006 in Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd gegenüber denen in Stuttgart Am Neckartor etwas unterschätzt und nicht direkt vergleichbar. Bei Verwendung zeitgleicher Datensätze resultieren auch im Jahr 2006 an den beiden Stationen nahezu identische Ammonsalzkonzentrationen (vgl. 6.2.1).

Beim Vergleich der mittleren Konzentrationen der Inhaltsstoffe ergeben sich jedoch zum Teil deutliche Unterschiede zwischen der Verkehrsmessstation Stuttgart Am Neckartor und den Stationen im städtischen und ländlichen Hintergrund. Die EC- und OM-Konzentrationen in Stuttgart - Am Neckartor spiegeln mit je etwa $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in 2006 und $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in 2007 den direkten Verkehrseinfluss wider. Auch die mittlere Mineralstaubkonzentration und die Konzentration löslicher Kationen liegt deutlich über denen an der städtischen Hintergrundstation Mannheim-Nord und der ländlichen Station Schwarzwald Süd.

Aufgrund der unterschiedlich hohen Staubbelastungen an den drei Stationen lässt eine Betrachtung der Jahresmittelwerte der massenrelevanten Inhaltsstoffe keine direkte Aussage über die Schwebstaubzusammensetzung zu. Zum direkten Vergleich der Schwebstaubzusammensetzung sind in Tabelle 8.2 die prozentualen Anteile der massenrelevanten Inhaltsstoffe an den drei Stationen gegenübergestellt. Die prozentualen Anteile wurden für jeden Tag ermittelt und aus den Tageswerten der Jahresmittelwert berechnet, um eine Wichtung der Inversionstage zu vermeiden.

Tabelle 8.2: Jahresmittelwerte Schwebstaub PM10 und prozentuale Anteile der massenrelevanten Inhaltsstoffe 2006 und 2007

Messstation	PM10 [µg/m³]	EC Anteil	OM Anteil	Ammonsalze Anteil	Mineralstaub Anteil	SiO ₂ Anteil	Na, K, Ca, Mg Anteil	Na Anteil	Chlorid Anteil	Rest Anteil
PM10 und prozentuale Anteile der Inhaltsstoffe 2006 aus Tageswerten										
Stuttgart Am Neckartor	55	26%	23%	18%	23%	4,1%	4,4%	1,5%	3,3%	5,2%
Mannheim-Nord	24	13%	19%	43%	15%	6,4%	4,8%	2,1%	4,8%	3,0%
Schwarzwald Süd	11	11%	13%	39%	12%	5,7%	5,2%	2,6%	1,4%	19%
PM10 und prozentuale Anteile der Inhaltsstoffe 2007 aus Tageswerten										
Stuttgart Am Neckartor	44	24%	20%	19%	24%	4,3%	4,0%	1,2%	2,2%	9%
Mannheim-Nord	22	11%	17%	39%	14%	5,6%	5,1%	2,5%	3,5%	13%
Schwarzwald Süd	11	10%	13%	38%	11%	5,0%	5,3%	3,0%	1,9%	24%

LUBW

Die prozentualen Anteile der massenrelevanten Inhaltsstoffe in Schwebstaub PM10 weisen an der städtischen Hintergrundstation Mannheim-Nord und der Hintergrundstation Schwarzwald Süd an beiden Jahren eine weitgehende Übereinstimmung auf. An den Hintergrundstationen tragen die Ammoniums Salze im Jahresmittel mit etwa 40 % zur Schwebstaubmasse PM10 bei. Auch die prozentualen Anteile von elementarem Kohlenstoff, organischem Material und Mineralstaub liegen mit 10% - 13 %, 13% - 19 % und 11% - 15% in Mannheim-Nord und in Schwarzwald Süd im Jahresmittel auf gleichem Anteilsniveau. An der Verkehrsmessstation Stuttgart Am Neckartor dominieren dagegen der elementare Kohlenstoff, organisches Material und Mineralstaub mit jeweils etwa 20% - 25 % Anteil an der PM10 Schwebstaubkonzentration.

Die Schwebstaubzusammensetzung ist in den Jahren 2006 und 2007 an den jeweiligen Messorten nahezu identisch. Eine zeitliche Variabilität der Schwebstaubzusammensetzung ist nicht feststellbar.

9 Abschätzung des direkten Verkehrseinflusses auf die Schwebstaubkonzentration PM10

9.1 Abschätzung der Zusatzbelastung an Schwebstaub PM10 durch den Verkehr an der Station Stuttgart Am Neckartor

Im Zeitraum vom 15.11.2006 bis 15.03.2007 wurde eine Messstation im Schlossgarten Stuttgart betrieben, um den städtischen Hintergrund ohne direkten Verkehrseinfluss zu erfassen. Die Messstation lag in der Nähe des Neckartors ca. 90 m von den verkehrsreichen Strassen entfernt.

In Tabelle 9.1 sind die Mittelwerte der Schwebstaubkonzentrationen und der massenrelevanten Inhaltsstoffe an den beiden Stationen für diesen Zeitraum aufgeführt.

Die Ammonsalzkonzentrationen in Stuttgart Am Neckartor und im Schlossgarten verlaufen annähernd gleich (vgl.

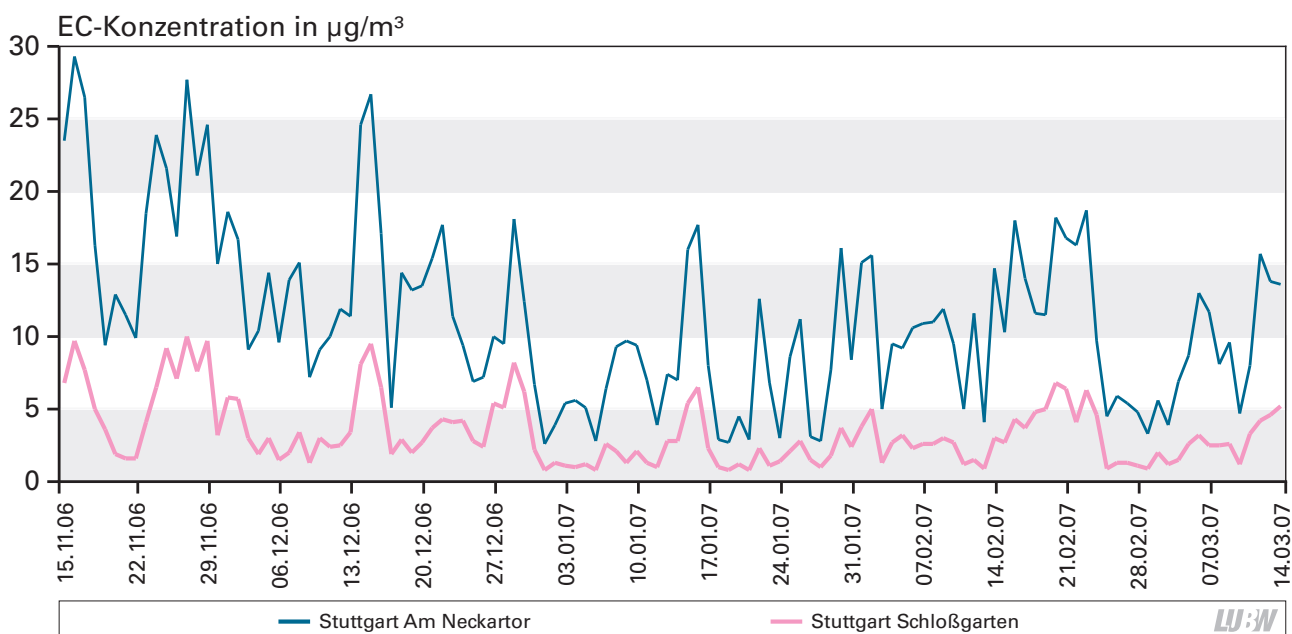
Abbildung 6.2.1.10), obwohl die mittlere Schwebstaubkonzentration PM10 an der Verkehrsmessstation Stuttgart Am Neckartor mit $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ etwa doppelt so hoch ist wie im Schlossgarten mit $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In Abbildung 9.1 und Abbildung 9.2 sind die Konzentrationen von EC und Eisenoxid an den beiden Stationen abgebildet.

Während an der städtischen Hintergrundstation Mannheim-Nord in den Sommermonaten teils vergleichbare und höhere Eisenkonzentrationen auftreten als bei den Inversionswetterlagen mit niedrigen Windgeschwindigkeiten (vgl. Abbildung 6.2.3.3) und schlechten Durchmischungsverhältnissen, werden sowohl die Eisenoxidkonzentrationen als auch die EC-Konzentrationen, die den direkten Verkehrsemissionen zurechenbar sind, an der Hintergrundstation im Schlossgarten, zwar auf niedrigerem Niveau,

Tabelle 9.1: Mittelwerte des Schwebstaubs PM10 und der massenrelevanten Inhaltsstoffe im Zeitraum vom 15.11.06 - 15.03.07

Messstation	PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	EC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	OM [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Mineralstaub [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Mineralstaub - Fe_2O_3 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Fe_2O_3 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Cl [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Na [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Ammonsalze [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Rest [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Mittelwerte im Zeitraum vom 15.11.06 - 15.03.07										
Stuttgart Am Neckartor	50	11,3	12,1	12,5	5,5	7,0	1,5	0,6	8,0	4,3
Stuttgart Schloßgarten	27	3,4	5,8	4,9	2,9	1,9	1,0	0,4	7,3	3,8

LUBW



LUBW

Abbildung 9.1: EC-Konzentrationen an den Stationen Stuttgart Am Neckartor und Stuttgart Schloßgarten vom 15.11.06 – 15.03.07

aber mit identischem Verlauf wie an der Verkehrsmessstation abgebildet. Aus den Verläufen wird die Nähe zur Verkehrsmessstation und die Verdünnung der Konzentrationen deutlich.

Zur Abschätzung der Zusatzbelastung an der Schwebstaubkonzentration PM10 durch den Verkehrseinfluß an der Verkehrsmessstation Stuttgart Am Neckartor wurden die Differenzen der mittleren Konzentrationen an den beiden Stationen gebildet und zur mittleren Schwebstaubkonzentration der Verkehrsmessstation ins Verhältnis gesetzt.

Aus dem Vergleich mit der Station im Schlossgarten kann ein Anteil von 47% der mittleren Schwebstaubkonzentration durch den Verkehr an der Station Stuttgart Am Neckartor abgeschätzt werden. Davon entfallen 16% auf EC, 12% auf OM und 10% auf Eisenoxid als Hauptbestandteile der Verkehrsemissionen. 5% können dem Mineralstaub (ohne Eisenoxid) zugeordnet werden.

Da in den Jahren 2006 (bei Auswertung tagesgleicher Datensätze) und 2007 an der städtischen Hintergrundstation Mannheim-Nord und der Verkehrsmessstation Stuttgart Am Neckartor nahezu identische mittlere Ammonsalzkonzentrationen ermittelt wurden, wurde zum Vergleich die Zusatzbelastung der Verkehrsemissionen bezogen auf die Messstation Mannheim-Nord abgeschätzt. Wie schon mehrfach erwähnt, werden die Inhaltsstoffe an der Verkehrsmessstation Stuttgart Am Neckartor seit Januar 2006 täglich analysiert, während die Analyse der Inhaltsstoffe in Mannheim-Nord bis April 2006 nur jeden zweiten Tag erfolgte. Durch die Inversionswetterlagen im Januar, Februar und März 2006 sind die mittleren Konzentrationen an der Station Mannheim-Nord gegenüber Stuttgart Am Neckartor unterbestimmt. Deshalb werden zur Abschätzung der Zusatzbelastungen durch den Verkehr auf die Schwebstaubkonzentrationen die Daten aus dem Jahr 2007 verwendet.

Trotz der räumlichen Distanz der beiden Messstationen errechnen sich die gleichen Zusatzbelastungen auf die

Tabelle 9.2: Abschätzung der Zusatzbelastung durch Verkehrseinfluß in Stuttgart Am Neckartor gegenüber Stuttgart Schlossgarten

Messstation	PM10 [µg/m³]	EC [µg/m³]	OM [µg/m³]	Mineralstaub [µg/m³]	Mineralstaub - Fe ₂ O ₃ [µg/m³]	Fe ₂ O ₃ [µg/m³]	Cl [µg/m³]	Na [µg/m³]	Ammonsalze [µg/m³]	Rest [µg/m³]
Mittelwerte im Zeitraum vom 15.11.06 - 15.03.07										
Differenz in µg/m³	23,6	8,0	6,2	7,6	2,6	5,1	0,5	0,2	0,7	0,4
Zusatzbelastung Verkehr	47%	16%	12%	15%	5,1%	10%	1,0%	0,4%	1,3%	0,9%

LUBW

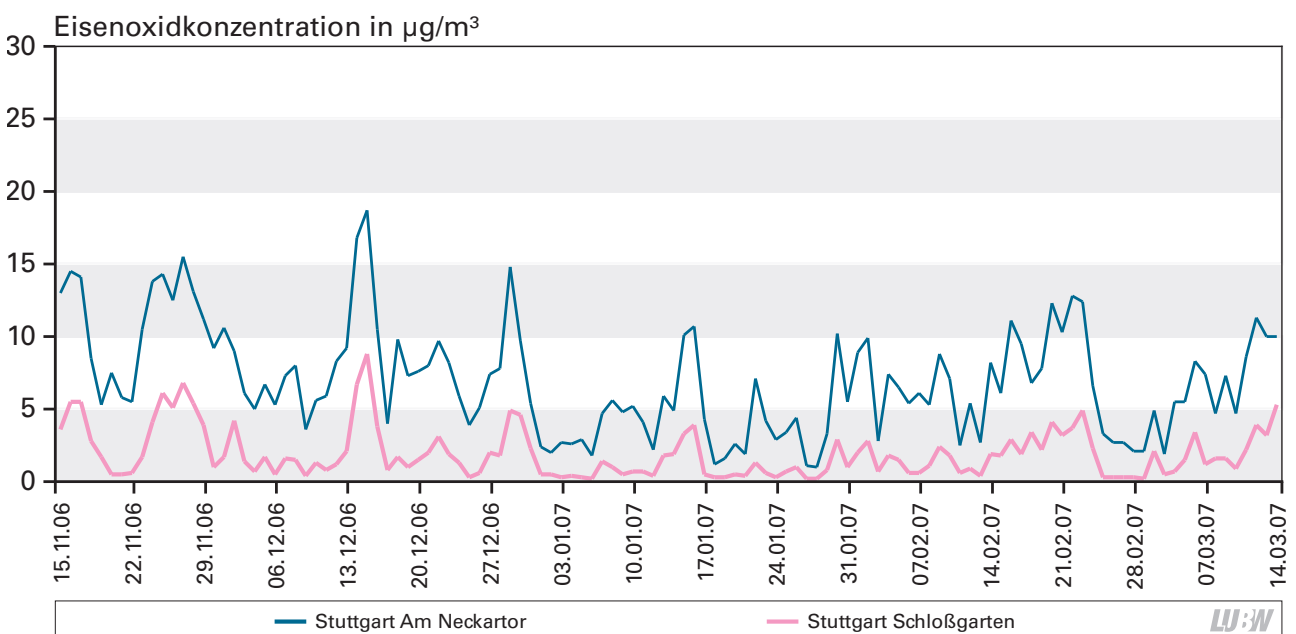


Abbildung 9.2: Eisenoxid-Konzentrationen an den Stationen Stuttgart Am Neckartor und Stuttgart Schlossgarten vom 15.11.06 – 15.03.07

Tabelle 9.3: Abschätzung der Zusatzbelastung durch Verkehrseinfluß in Stuttgart Am Neckartor gegenüber Mannheim-Nord 2007

Messstation	PM10 [µg/m³]	EC [µg/m³]	OM [µg/m³]	Mineralstaub [µg/m³]	Mineralstaub - Fe ₂ O ₃ [µg/m³]	Fe ₂ O ₃ [µg/m³]	Cl [µg/m³]	Na [µg/m³]	Ammonsalze [µg/m³]	Rest [µg/m³]
Jahresmittelwerte 2007										
Stuttgart Am Neckartor	44,3	10,1	9,3	10,7	4,4	6,2	0,9	0,4	8,9	3,9
Mannheim-Nord	22,0	2,4	4,0	2,9	2,3	0,6	0,6	0,4	9,0	2,6
Differenz in µg/m³	22,3	7,7	5,3	7,7	2,1	5,6	0,3	0,0	-0,1	1,3
Zusatzbelastung Verkehr	50%	17%	12%	17%	4,8%	13%	0,6%	0,1%	-0,3%	2,9%

LUBW

Schwebstaubkonzentrationen PM10 an der Verkehrsmessstation in Stuttgart bei Verwendung der Daten aus Mannheim für den städtischen Hintergrund.

Auch hier resultiert ein Verkehrsanteil von 50 % der Schwebstaubkonzentration in Stuttgart Am Neckartor mit 17 % EC, 12 % OM, 13 % Eisenoxid und 5% Mineralstaub (ohne Eisenoxid).

10 Fazit

Ziel

Die Untersuchung der mittleren Zusammensetzung des Schwebstaubs PM₁₀ über die Gesamtjahre 2006 und 2007 bzw. an ausgewählten Episoden im Sommer- und Winterhalbjahr 2006 an Messstationen direkt an der Straße, im städtischen Hintergrund und im ländlichen Hintergrund sollen zur Identifizierung und Zuordnung regionaler und weiträumiger Quellenbeiträge des Feinstaubs PM₁₀ führen.

Die Kenntnis über die Staubzusammensetzung in Abhängigkeit von örtlichen Quellen oder meteorologischen Umgebungsbedingungen ist im Hinblick auf die Planung und Durchführung von Maßnahmen zur Reduzierung der anthropogen verursachten Beiträge an der Feinstaubkonzentration PM₁₀ - wie Fahrverbote oder die Einrichtung von Umweltzonen - sowie zur Überprüfung dieser Massnahmen unerlässlich.

Zur differenzierten Betrachtung der Anteile von Staubinhaltsstoffen an der Masse des Schwebstaubs PM₁₀ sollten möglichst alle massenrelevanten Verbindungen und Elemente in die Auswertungen einbezogen werden.

Berechnungsgrundlagen und Annahmen

Mit den im Rahmen dieser Untersuchungen zur Verfügung stehenden Analysemethoden ist eine vollständige Erfassung aller massenrelevanter Inhaltsstoffe des Schwebstaubs in ihren Verbindungsformen nicht möglich. Beispielsweise liegen Erdkrustenmetalle wie Eisen und Aluminium vorwiegend als Oxide vor, können jedoch nur als Elemente erfasst werden. Auch die Bestimmung des Wassergehaltes, die Zusammensetzung organischer Verbindungen (Wasserstoff-, Sauerstoff-, Stickstoff- und Schwefelanteile) ist mit den eingesetzten Analyseverfahren nicht möglich. Zur Ermittlung der PM₁₀ - Massenbilanz wurden deshalb einige der ermittelten Elemente und Verbindungen unter Verwendung verschiedener Annahmen in ihren Massen korrigiert.

Die Bestimmung des organischen Kohlenstoffs (OC) im abgeschiedenen Feinstaub PM₁₀ erfolgt durch Verbrennen der Probe unter Sauerstoffatmosphäre und der IR-spektroskopischen Detektion des dabei gebildeten CO₂. Das Analyseverfahren ermöglicht jedoch nicht die Bestimmung von Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff oder Schwefel in organischen Verbindungen. Die Abschätzung der Konzentrationen organischer Verbindungen (OM) erfolgte aus der Konzentration des organischen Kohlenstoffes [OC] nach Grosjean und Friedlander mit $[OM] = 1,40 [OC]$.

Die Mineralstaubkonzentration wurde durch die Summierung der Elementkonzentrationen von Zink, Aluminium, Silizium, Mangan, Eisen, Kalzium, Magnesium und Kalium in ihren normalen Oxidformen berechnet. Die Siliziumkonzentration kann nach Literaturangaben aus dem Durchschnittsverhältnis von Silizium zu Aluminium mit $[Si] = 3,41 [Al]$ abgeschätzt werden. Da die Analyse von Silizium auf Quarzfaserfiltern nicht möglich ist, wurde an der Verkehrsmessstation Stuttgart Am Neckartor im Jahr 2006 zusätzlich ein zweites Probenahmegerät mit Cellulosenitratfiltern betrieben. An der Verkehrsmessstation wurde ein durchschnittliches Verhältnis von Silizium zu Aluminium von 3 ermittelt. Bei den hier durchgeführten Auswertungen wurden die Siliziumkonzentrationen in Schwebstaub PM₁₀ an den Stationen in Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd deshalb aus der ermittelten Aluminiumkonzentration durch Multiplikation mit dem Faktor 3 abgeschätzt.

Beim Vergleich der Analysen von Filtern nach parallel durchgeführter wässriger Elution und Vollaufschluss in oxidierendem Säuregemisch zeigte sich, dass etwa 90% der Summe an Ca, Mg, Na und Kalium als wasserlösliche Verbindungen im Schwebstaub PM₁₀ vorliegen. Während Natrium und Kalzium fast vollständig und Kalium zu etwa 75% - 90% als wasserlösliche Salze vorliegen, liegt Magnesium zu etwa 40% - 50% in wasserunlöslicher mineralisch gebundener Form vor. Gemäß seinem Löslichkeitsprodukt kann nur ein Teil des ermittelten löslichen Kalziums als Kalziumkarbonat (Kalk) im Schwebstaub PM₁₀ vorliegen. Aufgrund dieser Ergebnisse können die Elemente Magne-

sium, Kalium und Kalzium weder eindeutig dem Mineralstaub als Oxide noch den löslichen Ionen zugeordnet werden. Deshalb wurden sowohl die Mineralstaubanteile unter Miteinbeziehung dieser Oxide als auch die Anteile an löslichen Kationen in Schwebstaub PM10 getrennt betrachtet.

Bei der Berechnung der Ammonsalze an den drei Stationen wurde festgestellt, dass die ermittelten Ammoniumkonzentrationen insbesondere im Jahr 2006 nicht zur vollständigen Neutralisation der Nitrat- bzw. Sulfationen als Ammoniumnitrat und Ammoniumsulfat ausreichen. Ob ein Teil dieser Ionen als salpetrige Säure, Salpetersäure, Schwefelsäure bzw. als NH_4HSO_4 vorliegt oder als lösliche Salze von Natrium, Kalium, Kalzium und Magnesium kann mit den zur Verfügung stehenden Analyseverfahren nicht geklärt werden. In den hier durchgeführten Auswertungen wurden die Ammonsalzkonzentrationen als Summe von Ammonium, Nitrat und Sulfat abgeschätzt. Eine Korrektur bzw. Modellierung wurde nicht durchgeführt.

Schwermetalle und Metalloide wie Blei, Cadmium, Arsen und Antimon sowie polyaromatische Kohlenwasserstoffe, wie Benzo(a)pyren, sind zwar toxikologisch relevant, tragen aber in ihrer Summe nur vernachlässigbar zur Staubmasse bei. Sie wurden im Rahmen dieser Untersuchungen nicht bei der Bildung der Massenbilanz berücksichtigt.

Schwebstaubpartikel können, in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte, variierende Wassergehalte aufweisen. Untersuchungen an Einzelpartikel zeigten, dass Aerosole bei niedriger relativer Luftfeuchte leicht mit gelösten Salzen wie Ammoniumsulfat übersättigen, bevor diese auskristallisieren. Der Wassergehalt im Schwebstaub PM10 kann mit den zur Verfügung stehenden Analyseverfahren nicht direkt bestimmt werden. Die modellhafte Abschätzung des Wassergehaltes aus thermodynamischen Berechnungen berücksichtigt nur die anorganischen Ammonsalze und Natriumchlorid. Polare Organische Verbindungen wie, z.B. Dicarbonsäuren und Kohlenhydrate, werden durch das Modell nicht berücksichtigt.

In den hier durchgeführten Auswertungen erfolgt keine Korrektur bzw. keine Modellierung des Wassergehaltes im Schwebstaub PM10.

Bei der Bildung der Massenbilanz der Inhaltsstoffe in Schwebstaub PM10 resultiert deshalb ein nicht bestimmbarer Rest, der sowohl den Wassergehalt als auch die Unsicherheiten bei der Annahme der Berechnungsfaktoren und die Messunsicherheiten der analytischen Bestimmungsv erfahren beinhaltet.

Ergebnisse

Erwartungsgemäß wurden die höchsten Schwebstaubkonzentrationen an der Spot - Messstation mit direktem Verkehrseinfluss in Stuttgart Am Neckartor ermittelt. An der innerstädtischen Spotmessstation wurde in 2006 ein Jahresmittelwert für Feinstaub PM10 von $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt, und der Immissionswert für das Tagesmittel von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an 175 Tagen überschritten. 2007 betrug der Jahresmittelwert $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei 110 Überschreitungen des Tagesmittels von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. An der Luftmessstation Mannheim-Nord, im städtischen Hintergrund, wurde in 2006 ein Jahresmittelwert für Feinstaub PM10 von $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt, und der Immissionswert für das Tagesmittel von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an 17 Tagen überschritten. 2007 betrug der Jahresmittelwert $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei 11 Überschreitungen des Tagesmittels von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. An der Hintergrundmessstation Schwarzwald Süd wurde in 2006 ein Jahresmittelwert für Feinstaub PM10 von $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt. Der Immissionswert für das Tagesmittel von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde an keinem Tag überschritten. 2007 betrug der Jahresmittelwert ebenfalls $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei 2 Überschreitungen des Tagesmittels von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

An allen drei Stationen sind ausgeprägte Jahrgänge der Schwebstaubkonzentrationen zu erkennen. Die Schwebstaubkonzentrationen verlaufen an den drei Messstationen zwar auf deutlich unterschiedlichen Niveaus, zeigen jedoch sowohl an der Verkehrsmessstation als auch im städtischen und ländlichen Hintergrund den gleichen Verlauf bezüglich Konzentrationsspitzen und Konzentrationsminima. Die höchsten Schwebstaubkonzentrationen wurden in den Wintermonaten, bei schlechten Austauschbedingungen der Atmosphäre mit niedrigen Mischungsschicht Höhen und niedrigen Lufttemperaturen beobachtet. Besonders ausgeprägt waren die sehr hohen Werte während der zwei mehrtägig anhaltenden großräumigen Inversionswetterlagen im Januar und Februar 2006 sowie im Zeitraum vom 13. - 24. März 2006. Der Ferntransport bzw. Antransport von

Schwebstaub PM₁₀ spielt in den Zeiträumen mit „stehenden“ Luftmassen praktisch keine Rolle. In diesen Episoden steigen die Schwebstaubkonzentrationen durch Verdichtung der Partikel in einem kleineren zur Verfügung stehenden Luftvolumen stark an, da die niedrigen Mischungsschicht Höhen eine Verdünnung des Schwebstaubs verhindern. Selbst an der emittentfernen Hintergrundstation Schwarzwald Süd stiegen während der Inversionswetterlagen im Jahr 2006 die Schwebstaubkonzentrationen bis zum Dreifachen der mittleren jährlichen Schwebstaubbelastung an. Dies verdeutlicht, dass die Schwebstaubkonzentrationen PM₁₀, neben den örtlichen Emissionen, entscheidend von den meteorologischen Bedingungen wie Mischungsschicht Höhe, Windgeschwindigkeit und Niederschläge abhängen. Maßnahmen zur Reduktion der Schwebstaubbelastung während dieser Phasen mindern nur den Schwebstaubanteil, der in dieser Zeit an dem jeweiligen Ort durch Emissionen aus Verkehr, Industrie oder Hausbrand zusätzlich neu hinzukommt.

Während der elementare Kohlenstoff, organisches Material und Mineralstaub an beiden Jahren mit jeweils 20 % - 25 % an der Verkehrsmessstation Stuttgart Am Neckartor den Hauptanteil an der PM₁₀ Schwebstaubkonzentration bilden und die Ammonsalze mit etwa 20 % zur mittleren Schwebstaubkonzentration PM₁₀ beitragen, dominieren an den Hintergrundstationen die Ammoniums Salze mit etwa 40 % die Schwebstaubmasse PM₁₀. Auch die prozentualen Anteile von elementarem Kohlenstoff, organischem Material und Mineralstaub liegen mit 10% - 13 %, 13% - 19 % und 11% - 15% in Mannheim-Nord und in Schwarzwald Süd im Jahresmittel auf gleichem Anteilsniveau.

Im Rahmen eines Messprogramms zur Untersuchung des Einflusses von Straßenreinigungsmassnahmen auf die PM₁₀-Immissionskonzentrationen am Stuttgarter Neckartor wurde im Zeitraum vom 15.11.2006 bis 15.03.2007 eine Messstation im Schlossgarten Stuttgart betrieben, um den städtischen Hintergrund ohne direkten Verkehrseinfluss zu erfassen. Die Messstation lag in der Nähe des Neckartors ca. 90 m von den verkehrsreichen Strassen entfernt. Die Ammonsalzkonzentrationen verlaufen in Stuttgart Am Neckartor und im Schlossgarten annähernd gleich, obwohl die mittlere Schwebstaubkonzentration PM₁₀ während des Vergleichszeitraumes an der Verkehrsmessstation Stuttgart

Am Neckartor mit 50 µg/m³ etwa doppelt so hoch ist wie im Schlossgarten mit 27 µg/m³. Die Ammonsalzkonzentration wird offenbar lokal nicht direkt durch den Verkehr beeinflusst, sondern entspricht auch in Strassennähe dem regionalen städtischen Hintergrund in Stuttgart. Trotz der großen Entfernungen zwischen den Stationen verlaufen die Ammonsalzkonzentrationen auch in Mannheim-Nord annähernd gleich wie in Stuttgart Am Neckartor. Dabei ist die mittlere Schwebstaubkonzentration PM₁₀ an der Verkehrsmessstation Stuttgart Am Neckartor mit 55 µg/m³ mehr als doppelt so hoch ist wie in Mannheim-Nord. Auch an der Hintergrundstation Schwarzwald Süd zeigen die Ammonsalzkonzentrationen, auf niedrigerem Niveau, den gleichen zeitlichen Verlauf. Auch dieser Befund bestätigt, dass die lokale Ammonsalzkonzentration auch in Strassennähe dem überregionalen städtischen Hintergrund entspricht. Eine direkte Beeinflussung durch sekundäre Partikelbindung aus lokalen Ammoniakemissionen von Fahrzeugen oder wieder aufgewirbelten atmosphärischen Staubbiederschlag durch den Verkehr kann nicht beobachtet werden.

An der Messstation Schwarzwald Süd liegt die Ammonsalzkonzentration zwar auf niedrigerem Niveau, trägt aber im Mittel wie in Mannheim-Nord mit etwa 40% zum Schwebstaubgehalt PM₁₀ bei.

An allen drei Messorten ist mit steigender Lufttemperatur ein Rückgang der Ammonsalze im Schwebstaub zu beobachten. Bei Temperaturen zwischen 5 °C und 10 °C beträgt das Nitrat/Sulfat-Verhältnis etwa 1 und sinkt bei Temperaturen über 20 °C auf unter 0,5 ab. Der Sulfatanteil im Schwebstaub PM₁₀ bleibt von Januar bis Oktober weitgehend konstant, während der Nitratanteil mit steigenden Temperaturen sinkt und ab Oktober wieder ansteigt. Die Auswertung einzelner Episoden im Sommer- und Winterhalbjahr des Jahres 2006 verdeutlicht jedoch, dass der Ammonsalzanteil im Schwebstaub nicht proportional von der Lufttemperatur abhängig ist. Auch ist an keinem der drei Messorte während der betrachteten Episoden eine überproportionale Neubildung der Ammonsalze zu erkennen. Die starken Anstiege der Ammonsalzkonzentrationen Ende Januar und Mitte März 2006 sind auf die Anreicherung des Schwebstaubes während der Inversionswetterlagen zurückzuführen. In diesen Episoden werden an der Verkehrsmessstation Ammonsalzkonzentrationen bis zu 46 µg/m³

und in Mannheim-Nord über $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht, entsprechend 90 % bzw. 60 % des Immissionswertes für das Tagesmittel von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Schwebstaub PM10. Im Jahresmittel 2006 betragen die Ammonsalzkonzentrationen an den Stationen Mannheim-Nord und Stuttgart Am Neckartor mit $9,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $9,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, im Jahresmittel 2007 $8,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $9,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Ammonsalzkonzentrationen tragen somit zu einem Anteil von 20% - 25 % am geltenden Immissionswerte für das Jahresmittel von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Schwebstaub PM10 bei.

Da die Ammonsalzkonzentrationen lokal nicht direkt durch den Verkehr beeinflusst werden, ist eine lokale Reduktion der Ammonsalzkonzentrationen durch kleinräumige örtliche Massnahmen, z.B. durch Einrichtung von Umweltzonen, nicht möglich.

Elementarer Kohlenstoff (EC) wird hauptsächlich bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe in Kraftfahrzeugen (Dieselruß), Kraftwerken und durch Hausbrand freigesetzt. Organische Kohlenstoffverbindungen entstehen zum größten Teil bei der unvollständigen Verbrennung der fossilen Brennstoffe. Die EC- und OM-Konzentrationen in Stuttgart Am Neckartor verdeutlichen mit je etwa $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr 2006 bzw. etwa $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in 2007 den direkten Verkehrseinfluss auf die Schwebstaubkonzentration PM10. Die EC-Konzentrationen verlaufen an der Verkehrsmessstation in großen Amplituden, jedoch ohne ausgeprägten Jahresgang, da der Fahrzeugverkehr eine annähernd konstante Quelle darstellt. Auch an der städtischen und ländlichen Hintergrundstation ist kein ausgeprägter Jahresgang zu erkennen. Dagegen weisen die OM-Konzentrationen an der Verkehrsmessstation einen ähnlichen Jahresgang wie die Schwebstaubkonzentrationen PM10 auf. Während der Inversionswetterlagen treten wie bei den Ammonsalzen ausgeprägte Maxima auf. Im Sommerhalbjahr gehen die OM-Konzentrationen insgesamt zurück und steigen ab Oktober wieder an.

Während die EC-Konzentrationen fast ausschließlich durch Kraftfahrzeuge direkt an der Verkehrsmessstation verursacht werden, die im Jahresverlauf eine annähernd konstante EC-Quelle darstellen, liegen die OM-Konzentration während der Heizperioden deutlich über den EC-Konzentrationen. Ab April verlaufen die OM-Konzentrationen

unterhalb der EC-Konzentrationen parallel zu diesen. Der OM-Anteil während der Sommermonate kommt dann hauptsächlich aus der unvollständigen Verbrennung der Kraftstoffe des Fahrzeugverkehrs. Mit Beginn der Heizperiode im November steigen die OM-Konzentrationen wieder stärker an und übertreffen ab Dezember die EC-Konzentrationen. Ein beträchtlicher Anteil der OM-Konzentrationen im Winterhalbjahr ist somit nicht dem direkten Verkehrseinfluss zuzuschreiben. Während der Heizperioden bei niedrigen Temperaturen beträgt das EC/OM-Verhältnis zwischen 0,5 und 1. Nach der Heizperiode steigt das Verhältnis auf Werte zwischen 1 und 1,5 bei Durchschnittstemperaturen um $15 \text{ }^\circ\text{C}$ an. Ein weiterer Anstieg ist auch bei höheren Temperaturen nicht feststellbar, sondern resultiert aus dem EC/OM-Verhältnis der Verbrennung der Kraftstoffe des Fahrzeugverkehrs. Durch Berechnung der OM-Monatsmittelwerte auf „Sommerverhältnisse“ mit einem mittleren Faktor von 1,3 kann in den Wintermonaten ein OM-Anteil von etwa 10% der Schwebstaubkonzentration PM10 durch Heizprozesse abgeschätzt werden, der nicht dem Verkehr zuzuordnen ist. Diese Abschätzung setzt voraus, dass der EC- und OM-Anteil der Kraftfahrzeuge bei kalten und warmen Außentemperaturen konstant bleibt. In wieweit dies zutrifft, und nicht durch verschieden lange Warmlaufphasen der Motoren bei kalten und warmen Lufttemperaturen beeinflusst wird, kann an dieser Stelle nicht gesagt werden.

Auch an den Stationen im städtischen und ländlichen Hintergrund ist an den Episoden im Januar und März mit niedrigen Lufttemperaturen ein deutlich erhöhter Anteil an organischem Material zu beobachten. Die Inversionswetterlagen während der Heizperioden werden durch die OM-Konzentrationen deutlich abgebildet, jedoch liegen die OM-Konzentrationen sowohl in Mannheim-Nord als auch Schwarzwald Süd im Gegensatz zur Verkehrsmessstation fast ganzjährig über den EC-Konzentrationen. Die EC/OM-Verhältnisse liegen im städtischen und ländlichen Hintergrund in der Regel zwischen 0,5 und 1. Der prozentuale Anteil an EC im Schwebstaub PM10 liegt an beiden Stationen auf gleichem Niveau bei etwa 10 % - 13 %. Die EC- und OM-Konzentrationen im städtischen und ländlichen Hintergrund werden nicht direkt durch den Fahrzeugverkehr beeinflusst. Der EC-Anteil wird hier durch Antransport geprägt. Im November 2006 herrschten vergleichsweise

milde Temperaturen. In Mannheim-Nord war der Beginn der Heizperiode anhand der erhöhten OM-Anteile schon zu beobachten, während in der Episode vom 23.11. – 08.12. der Anteil an organischen Material an der Hintergrundstation Schwarzwald Süd noch auf vergleichbarem Niveau lag wie in den Sommermonaten. Auch dies deutet darauf hin, dass der Anstieg der OM-Konzentrationen im Winterhalbjahr in erster Linie durch den Hausbrand beeinflusst wird. Mit den zur Verfügung stehenden Analyseverfahren ist eine differenzierte Analyse der organischen Verbindungen nicht möglich. Ob wesentliche Konzentrationsanteile durch Pollen, Pflanzenteile oder durch aus Vorläufersubstanzen gebildete organische Verbindungen im Schwebstaub PM10 in den Sommermonaten gebildet werden, kann im Rahmen dieser Untersuchungen nicht festgestellt werden.

Etwa 90% der Summe an Ca, Mg, Na und Kalium liegen als wasserlösliche Verbindungen im Schwebstaub PM10 vor. Während Natrium und Kalzium fast vollständig und Kalium zu etwa 75% - 90% als wasserlösliche Salze vorliegen, liegt Magnesium zu etwa 40% - 50% in wasserunlöslicher mineralisch gebundener Form vor. Gemäß seinem Löslichkeitsprodukt kann zudem nur ein Teil des ermittelten löslichen Kalziums als Kalziumkarbonat (Kalk) im Schwebstaub PM10 vorliegen. Aufgrund dieser Sachverhalte können die Elemente Magnesium, Kalium und Kalzium weder eindeutig dem Mineralstaub als Oxide noch den löslichen Salzen als Ionen zugeordnet werden. Im Rahmen dieser Untersuchung erfolgte die Berechnung der Mineralstaubkonzentration als Summe der Elemente Zink, Aluminium, Silizium, Mangan, Eisen, Kalzium, Magnesium und Kalium in ihrer normalen Oxidform.

Die Mineralstäube an der städtischen und ländlichen Hintergrundstation stimmen sowohl bezüglich der Zusammensetzung als auch bezüglich des Massenanteils im Schwebstaub PM10 an beiden Jahren weitgehend überein. Einzig der Eisenoxidgehalt ist mit 3 % in Mannheim-Nord an beiden Jahren signifikant höher als an der Station Schwarzwald Süd, trägt aber nur zu etwa einem Fünftel zur mittleren Konzentration des Mineralstaubes bei. Überraschend weist auch der Mineralstaub an der Verkehrsmessstation Stuttgart Am Neckartor bei den Oxiden von Zink, Aluminium, Silizium und Mangan annähernd die gleiche Zusammensetzung auf wie die Mineralstäube an den Hin-

tergrundstationen. Die Mineralstaubzusammensetzung unterscheidet sich in beiden Jahren jedoch bezüglich der Anteile an Eisenoxid und Kalziumoxid an der Verkehrsmessstation deutlich von denen an den Hintergrundstationen.

Eine mögliche Quelle für Eisen ist der Abrieb der Bremscheiben bzw. Bremstrommeln sowie Emissionen aus den Motoren der Kraftfahrzeuge. Ob ein wesentlicher Anteil des Eisens im Schwebstaub PM10 in elementarer Form oder oxidisch vorliegt, kann mit den hier angewandten Analyseverfahren nicht bestimmt werden und wird im Rahmen dieser Auswertungen als Eisenoxid betrachtet. Der stark erhöhte Eisenoxidanteil in Stuttgart Am Neckartor kann eindeutig dem Verkehr zugeordnet werden. Die Eisenoxidkonzentrationen verlaufen über die gesamten Jahre 2006 und 2007 synchron zu den Konzentrationen an elementarem Kohlenstoff (EC). Auch die Kalziumoxidkonzentrationen zeigen einen ähnlichen Verlauf und sind durch den Verkehr direkt beeinflusst. Jedoch stammt ein wesentlicher Anteil des Kalzium(oxids) aus anderen Quellen. In den Sommermonaten, bei insgesamt niedrigeren Schwebstaubkonzentrationen und besseren Durchmischungsverhältnissen, folgt der Konzentrationsverlauf von Kalziumoxid den beiden anderen Verkehrsindikatoren nicht mehr so ausgeprägt.

Die Konzentrationen der Oxide von Aluminium, Magnesium und Kalium, die typisch für mineralischen Straßenabrieb sind, sind an der Verkehrsmessstation gegenüber den Hintergrundstationen zwar deutlich erhöht, jedoch sind die relativen Anteile dieser Oxide an allen Stationen annähernd gleich. Erhöhte Anteile der Oxide von Aluminium, Magnesium und Kalium, wie sie durch mineralischen Straßenabrieb zu erwarten wären, sind an der Verkehrsmessstation beim Vergleich mit den Hintergrundstationen nicht zu beobachten.

An der Verkehrsmessstation wurde ein mittlerer nicht mit Analysen bestimmbarer Rest von $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an beiden Jahren, entsprechend 5 % Anteil in 2006 und 10 % Anteil in 2007 an Schwebstaub PM10 ermittelt. An der städtischen Hintergrundstation betragen die mittleren Anteile 3 % in 2006 und 13 % in 2007. Die Hintergrundstation Schwarzwald Süd wird aufgrund der großen Unsicherheiten bei der Ermittlung des nicht bestimmbar Restes nicht weiter betrachtet.

Schwebstaubpartikel können, in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte, variierende Wassergehalte aufweisen. Sowohl an der Verkehrsmessstation als auch an der städtischen Hintergrundstation steigen die Ammonsalz-, OM- und Restkonzentrationen mit höheren Schwebstaubkonzentrationen in ähnlicher Weise an, während die EC-Konzentrationen diesem Verlauf nicht folgen. Die Ammonsalzkonzentrationen verlaufen an den Stationen Stuttgart Am Neckartor und Mannheim-Nord auf gleichem Niveau, während die mittlere OM-Konzentration an der Verkehrsmessstation etwa dreimal so hoch ist als in Mannheim-Nord. Dennoch verlaufen im Bereich von Schwebstaubkonzentrationen PM10 größer $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an der Verkehrsmessstation und größer $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an der städtischen Hintergrundstation die OM-Konzentrationen und der nicht bestimmbare Rest annähernd parallel. Dies deutet darauf hin, dass der Restanteil und der darin enthaltene Wasseranteil stärker durch den Gehalt an organischen Verbindungen als durch den Ammonsalzgehalt beeinflusst wird. Der mittlere Wassergehalt im Schwebstaub PM10 kann mit den hier durchgeführten Untersuchungen nicht direkt abgeschätzt werden.

Die Betrachtung unterschiedlicher Episoden im Sommer und Winter des Jahres 2006 zeigen, dass die Konzentrationen der massenrelevanten Inhaltsstoffe an allen Messorten größeren kurzzeitigen Schwankungen unterliegen können. Dies ist jedoch in erster Linie auf die Schwankungen der Schwebstaubkonzentrationen PM10 zurückzuführen. In den Sommerepisoden, bei guter Durchmischung, verlaufen die Ammonsalzkonzentrationen aufgrund der großräumigen Gleichverteilung annähernd konstant, während die Schwebstaubkonzentration PM10 durch unterschiedliche örtliche Quellen oder Antransport variieren können. Die Analyse und Auswertung weniger Einzelfilter kann deshalb zu beträchtlichen Fehlinterpretationen bezüglich der Schwebstaubzusammensetzung PM10 führen.

Seit April 2006 wurden deshalb auch in Mannheim-Nord und Schwarzwald Süd der Schwebstaub PM10 und die massenrelevanten Inhaltsstoffe täglich analysiert. Die Messungen wurden im Jahr 2007 fortgeführt, um Veränderungen der Zusammensetzung des Schwebstaubes PM10 feststellen zu können.

An beiden Jahren sind an allen Stationen ausgeprägte Jahressgänge mit höheren Konzentrationen im Winter und niedrigeren Konzentrationen in den Sommermonaten zu erkennen. Die höchsten Schwebstaubkonzentrationen PM10 wurden mit mehr als $190 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an der Verkehrsmessstation in Stuttgart Am Neckartor während der stabilen Inversionswetterlagen im Januar und Februar 2006 erreicht. An der Verkehrsmessstation bilden sich solche Extremwetterlagen im Jahresmittelwert ab, während sich solche Phasen bei der städtischen und ländlichen Hintergrundstation nicht signifikant auf den Jahresmittelwert auswirken. Aufgrund der unterschiedlich hohen Staubbelastungen an den drei Stationen lässt eine Betrachtung der Jahresmittelwerte der massenrelevanten Inhaltsstoffe keine direkte Aussage über die Schwebstaubzusammensetzung zu. Die prozentualen Anteile der massenrelevanten Inhaltsstoffe in Schwebstaub PM10 weisen an der städtischen Hintergrundstation Mannheim-Nord und der Hintergrundstation Schwarzwald Süd an beiden Jahren eine weitgehende Übereinstimmung auf. An den Hintergrundstationen tragen die Ammoniumsalze im Jahresmittel mit etwa 40 % zur Schwebstaubmasse PM10 bei. Auch die prozentualen Anteile von elementarem Kohlenstoff, organischem Material und Mineralstaub liegen in Mannheim-Nord und in Schwarzwald Süd im Jahresmittel auf gleichem Anteilsniveau. An der Verkehrsmessstation Stuttgart Am Neckartor dominieren dagegen der elementare Kohlenstoff, organisches Material und Mineralstaub an der PM10 Schwebstaubkonzentration.

Eine zeitliche Variabilität der mittleren Schwebstaubzusammensetzung ist nicht feststellbar. Die Schwebstaubzusammensetzung ist in den Jahren 2006 und 2007 an den jeweiligen Messorten nahezu identisch.

Aus dem Vergleich mit der städtischen Hintergrundstation in Stuttgart im Schlossgarten kann ein Anteil von 47 % der mittleren Schwebstaubkonzentration durch den Verkehr an der Station Stuttgart Am Neckartor abgeschätzt werden. Davon entfallen 16% auf EC, 12% auf OM und 10% auf Eisenoxid als Hauptbestandteile der Verkehrsemissionen. 5% können dem Mineralstaub ohne Eisenoxidanteil zugeordnet werden.

Die Hintergrundstation in Stuttgart im Schlossgarten wurde nur über einen begrenzten Zeitraum von November

2006 bis März 2007 betrieben. Aufgrund der nahezu identischen mittleren Ammoniumkonzentrationen an der städtischen Hintergrundstation in Mannheim und an der Verkehrsmessstation in Stuttgart wurden zur Abschätzung der Zusatzbelastungen durch den Verkehr auf die Schwebstaubkonzentrationen auch die Daten aus Mannheim-Nord aus dem Jahr 2007 verwendet. Trotz der räumlichen Distanz der beiden Messstationen errechnen sich die gleichen Zusatzbelastungen auf die Schwebstaubkonzentrationen PM10 an der Verkehrsmessstation in Stuttgart bei Verwendung der Daten aus Mannheim für den städtischen Hintergrund. Auch hier resultiert ein Verkehrsanteil von 50 % der Schwebstaubkonzentration in Stuttgart Am Neckartor. Davon entfallen 17 % auf EC, 12 % auf OM, 13 % auf Eisenoxid und 5 % auf Mineralstaub (ohne Eisenoxid).

Durch Berechnung der OM-Monatsmittelwerte auf „Sommerverhältnisse“ mit einem mittleren Faktor von 1,3 kann in den Wintermonaten ein OM-Anteil von etwa 10% der Schwebstaubkonzentration PM10 durch Heizprozesse abgeschätzt werden, der nicht dem Verkehr zuzuordnen ist.

Zur Betrachtung der großräumigen Zusammensetzung des Schwebstaubes, werden im Jahr 2008 weitere Messstationen in Biberach, Stuttgart Bad-Cannstadt und Wilhelmsfeld in die Untersuchungen mit aufgenommen.

Literatur

22. BImSchV. Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft – 22. BImSchV) in der Fassung vom 27. Februar 2007, Bundesgesetzblatt 2007, Teil 1 Nr. 7, S. 241ff
- LUBW, Bericht Nr. 61-08/2006. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Bericht Nr. 61-08/2006, „Besondere Immissionssituationen während der Inversionswetterlagen Januar/Februar 2006“, Karlsruhe April 2006
- Baumbach, G. et al., 2007. Ermittlung des Einflusses von Straßenreinigungsmaßnahmen auf die PM₁₀-Immissionskonzentrationen am Stuttgarter Neckartor (Entwurf). Universität Stuttgart IVD, Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen, Abteilung Reinhaltung der Luft
- Grosjean, D., Friedlander, S.K., 1975. Gasparticle distribution factors for organic and other pollutants in the Los Angeles atmosphere. *Journal of the Air Pollution Control Association* 25 (10), 1039-1044, 1975
- Malm, W.C. et al., 2000. Spatial and Seasonal Patterns and Temporal Variability of Haze and its Constituents in the United States. Report III. Cooperative Institute for Research in the Atmosphere, Colorado State University, ISSN 0737-5352-47, 2000
- Hueglin, C. et al., 2005. Chemical characterisation of PM_{2.5}, PM₁₀ and coarse particles at urban, near city and rural sites in Switzerland. *Atmospheric Environment* 39, 637-651, 2005
- Puxbaum, H. et al., 2007. Quelle und Zusammensetzung von Feinstaub PM₁₀. Ergebnisse von AQUELLA Wien - Ein Projekt der Umweltschutzabteilung der Stadt Wien. Aus: Seminar „Aktuelles aus Umwelt- und Ressourcenmanagement“, (<http://www.iwa.tuwien.ac.at/htmd2264/lehre/AWS-Vorlesungen/dipldiss/2007/Vortrag%20Puxbaum%2026M%C3%A4rz07.pdf>)
- Spann J.F., Richardson, C.B., 1985. *Atmos. Environ.*, 19, 819-825, 1985
- Tang I. N., Munkelwitz H. R. and Wang N. J., 1986. *Colloid Interface Sci.*, 114, 409-416, 1986
- Clegg S.L., and Brimblecombe P., 1995. *J. Chem. Eng. Data*, 1995, 40, 43-64, 1995
- HELBIG, A, BAUMÜLLER, J, KERSCHGENS, MJ, 1999: *Stadtklima und Luftreinhaltung*. Berlin, Springer-Verlag.
- HOLZWORTH, GC, 1974: *Climatological aspects of the composition and pollution of the atmosphere*. WMO Techn. Note No. 139, 1974
- MARSIK, F. J., FISCHER, K. W., MCDONALD, T. D., SAMSON, P.J., 1995: Comparison of methods for estimating mixing height used during the 1992 Atlanta Field Intensive. *J. Appl. Meteorol.* 34, 1802-1814, 1995
- OLESEN, H. R., JENSEN, A. B., BROWN, N., 1992: An operational procedure for Mixing Heightestimation. MST LUFT-A96, National Environmental Research Institute, Roskilde (DK), 1992
- PIRINGER, M., BAUMANN, K., LANGER, M., 1998: Summertime mixing heights at Vienna, Austria, estimated from vertical soundings and by a numerical model. *Boundary Layer Meteorol.* 89, 25-45, 1998
- [TAL, 2002] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft) vom 24. Juli 2002, (GMBL 2002, Heft 25 - 29, S. 511 - 605 vom 30. Juli 2002)

