

## Zusammenfassung für Vortrag

# „Statistisch-meteorologische Auswertung der PM<sub>10</sub>-Langzeitmessreihe (1993 bis 2010) an der Forschungsstation Melpitz“

G. Spindler<sup>1</sup>, T. Gnauk<sup>1</sup>, A. Grüner<sup>1</sup>, H. Herrmann<sup>1</sup>, K. Müller<sup>1</sup>, S. Schlimper<sup>2</sup>

1 Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V., (IfT), Leipzig

2 Deutsche WetterSchutz GmbH, Leipzig

---

Die Forschungsstation Melpitz des Leibniz-Institutes für Troposphärenforschung e.V. (IfT) (Abbildung 1) befindet sich im Freistaat Sachsen im Nordsächsischen Tiefland auf einer Weide ca. 5 km von der Stadt Torgau und dem Fluss Elbe entfernt (12° 56' O, 51° 32' N, 86 m über NN). Die Entfernung zur polnischen Grenze im Osten beträgt etwa 120 km, die zur Stadt Leipzig in südwestlicher Richtung etwa 50 km. Die Messwerte der Station (Immission) sind repräsentativ für den regionalen Hintergrund. Melpitz ist deshalb auch EMEP<sup>1</sup>-Station des Umweltbundesamtes (UBA) und virtuelle Station im Messnetz des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (SLULG). In unterschiedlichen wissenschaftlichen Vorhaben wurde die Melpitzer Station charakterisiert. (z.B. *Gnauk et al. 1997, Spindler et al. 2004 und 2010, Putaud et al. 2004, Herrmann et al. 2006, Birmili, et al. 2009, Hamed et al. 2010*). Das IfT führt in Melpitz zahlreiche Messungen zur chemisch-physikalischen Charakterisierung des Aerosols als Beitrag für nationale und internationale Forschungsvorhaben aus (BMBF: *REGKLAM*, UBA: *GUAN, MARGA*, EU: *EUSAAR, EUCAARI, ACTRIES* u.a.).



Abb. 1 Containerstandplatz Forschungsstation Melpitz – Richtung Osten

---

<sup>1</sup> EMEP: European Monitoring Evolution Program

Für die Station existiert eine Langzeitreihe täglicher  $PM_{10}$ -Messungen ( $PM_{10}$ -„particulate matter“ mit maximalem aerodynamischem Durchmesser von  $10\ \mu m$ ) erfasst mit High-Volume Filtersammlern (HV-Sammler) für die Partikelmassenkonzentration und –zusammensetzung. Die systematischen Messungen begannen im Herbst 1992 (Müller, 1999) und werden seitdem kontinuierlich fortgesetzt. Die tägliche Probenahme erfolgte von 1992 bis 2003 mit einem modifizierten Sierra-Anderson HV-Sammler bei einem täglichen Probevolumen von  $(1340 \pm 40)\ m^3$ , vgl. Spindler *et al.* 2004. Seit 2003 werden mit drei identischen DIGITEL DHA-80 HV-Sammlern (Walter Riemer Messtechnik, Deutschland) gleichzeitig Tagesproben für  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  und  $PM_1$  genommen (Probevolumen  $720 \pm 20\ m^3$ ), Spindler *et al.* 2010. Die unterschiedlichen Sammler zeigt Abbildung 2.



Abb. 2 Der Sierra-Anderson HV-Sammler für  $PM_{10}$  (links) und die drei DIGITEL HV-Sammler für  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  und  $PM_1$  (rechts) im Jahr 2003 an der Station Melpitz

Als Filtermaterial wird Quarzfaser (Munktell, Typ MK 360, Schweden) verwendet. Durch die Verwendung von Quarzfaser ist sowohl die gravimetrische Bestimmung der Partikelmasse und die analytische Quantifizierung der wasserlöslichen Ionen als auch durch die mögliche höhere thermische Belastbarkeit die Bestimmung von organischen (OC) und elementaren (EC) Kohlenstoff möglich.

Abbildung 3 zeigt die  $PM_{10}$ -Messreihe (Masse und wasserlösliche Hauptionen) für die Jahresmittel 1993 bis 2010. Diese Langzeit-Messreihe wurde hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen Überschreitungshäufigkeit eines Tagesmittelwertes von  $50\ \mu g m^{-3}$  und der Jahresmittelkonzentration untersucht (Abbildung 4). Diese Fragestellung ist aktuell im Zusammenhang mit der Beurteilung der Wirksamkeit der Leipziger Umweltzone (ab 1. März 2011 und Einfahrt nur mit grüner Plakette) aufgetreten. Dafür wurden die Jahre nach abfallender mittlerer Partikelmassenkonzentration (rechte Ordinate) geordnet und ihnen die jeweilige Anzahl der Überschreitungstage mit einer  $PM_{10}$ -Konzentration größer als  $50\ \mu g m^{-3}$  (linke Ordinate) gegenübergestellt. Zusätzlich wurde eine exponentiell abfallende Ausgleichsfunktion berechnet. Es lässt sich so zeigen, dass in Sachsen eine Jahresmittelkonzentration von  $30\ \mu g m^{-3}$  in etwa äquivalent mit 35 Überschreitungstagen ist. Die Abbildung 4 zeigt auch, dass eine geringfügige Senkung von etwa  $3\ \mu g m^{-3}$ , wie sie für den Dieselrußanteil angegeben wird (Wichmann, 2005) bereits 12 bis 13 Überschreitungstage vermeiden kann (Schwelle Jahresmittelkonzentration von 33 auf  $30\ \mu g m^{-3}$ ).

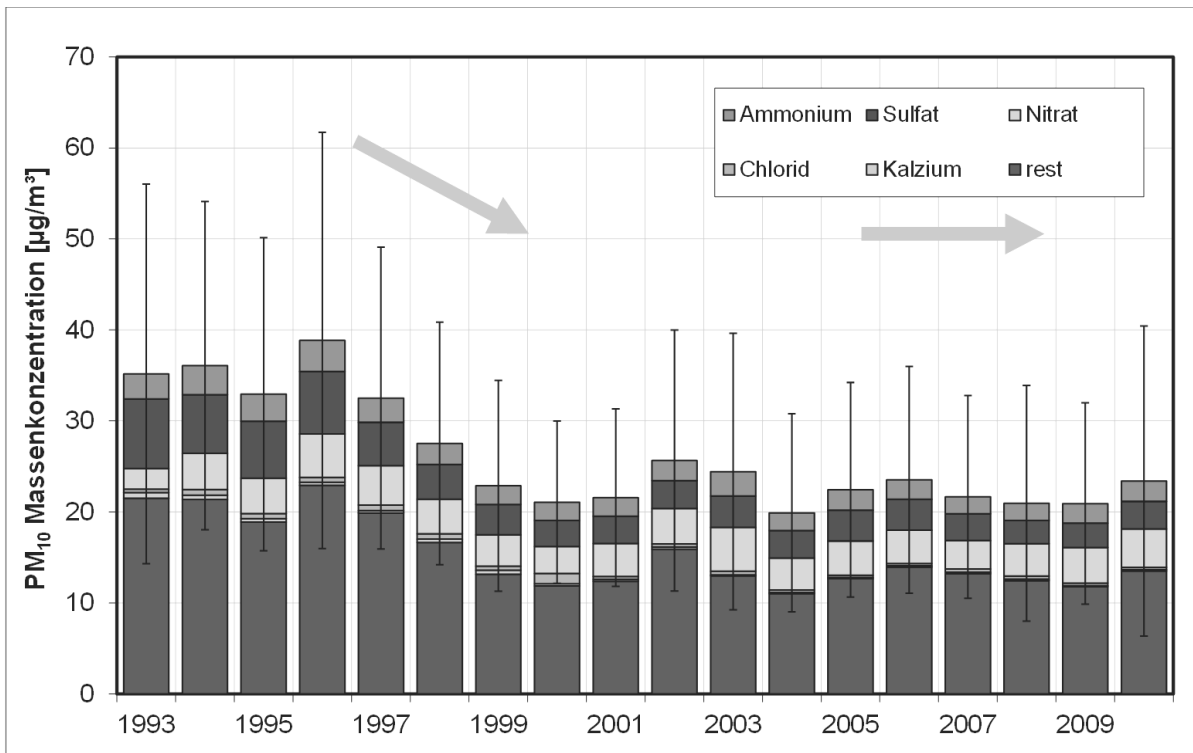


Abb. 3 Jahresmittelwerte (1993 bis 2010) der PM<sub>10</sub>-Konzentration und -zusammensetzung für die wasserlöslichen Hauptionen (Ammonium, Calcium, Chlorid, Nitrat, Sulfat) und einen nicht analysierbaren "Rest" (µg/m<sup>3</sup>). Die Standardabweichungen der Mittelwerte repräsentieren die tägliche Variabilität der Partikelmassenkonzentrationen.

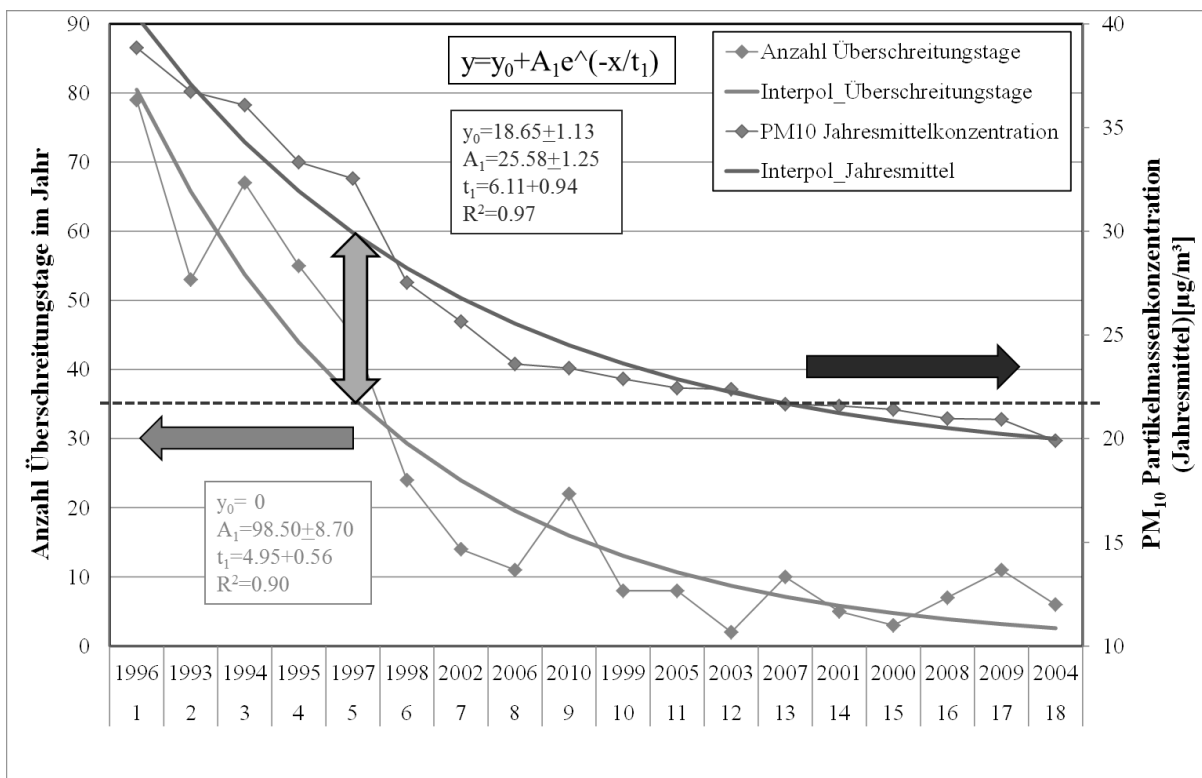


Abb. 4 Zusammenhang zwischen Anzahl von Überschreitungstagen mit PM<sub>10</sub> > 50 µg/m<sup>3</sup> (rechte Ordinate) und jährlicher mittlerer PM<sub>10</sub>-Konzentration (linke Ordinate). Die 18 Jahre wurden nach fallender PM<sub>10</sub>-Konzentration geordnet. Einer PM<sub>10</sub>-Konzentration von 30 µg/m<sup>3</sup> entsprechen etwa 35 „Überschreitungstage“.

In einer statistisch meteorologischen Auswertung (Schlimper, 2010) wurden die Zeiträume 1992-2000 (PM<sub>10</sub>-Konzentration fallend) und 2001 bis 2009 (PM<sub>10</sub>-Konzentration stagnierend) gegenüber-gestellt (vgl. Abbildung 3). Es wurden dafür sowohl die objektive Wetterlagenklassifizierungen des Deutschen Wetterdienstes (Bissolli und Dittmann, 2001 und 2003) als auch eine einfache Ost-West-Sektorenuordnung mit Hilfe von Rückwärtstrajektorien (EMEP 2007, Spindler et al., 2010) herangezogen.

Abbildung 5 zeigt die mittlere PM<sub>10</sub>-Konzentration für Sulfat und Calcium aus 40 objektiven Wetterlagenklassen zusammengefasst für die Anströmungen süd-west (SW), nord-west (NW), süd-ost (SO), nord-ost (NO) und nicht definiert (XX) im Vergleich der Zeiträume November 1992 bis Dezember 2000 (fallende PM<sub>10</sub>-Konzentration) und Januar 2001 bis Februar 2009 (relativ konstante PM<sub>10</sub>-Konzentration).

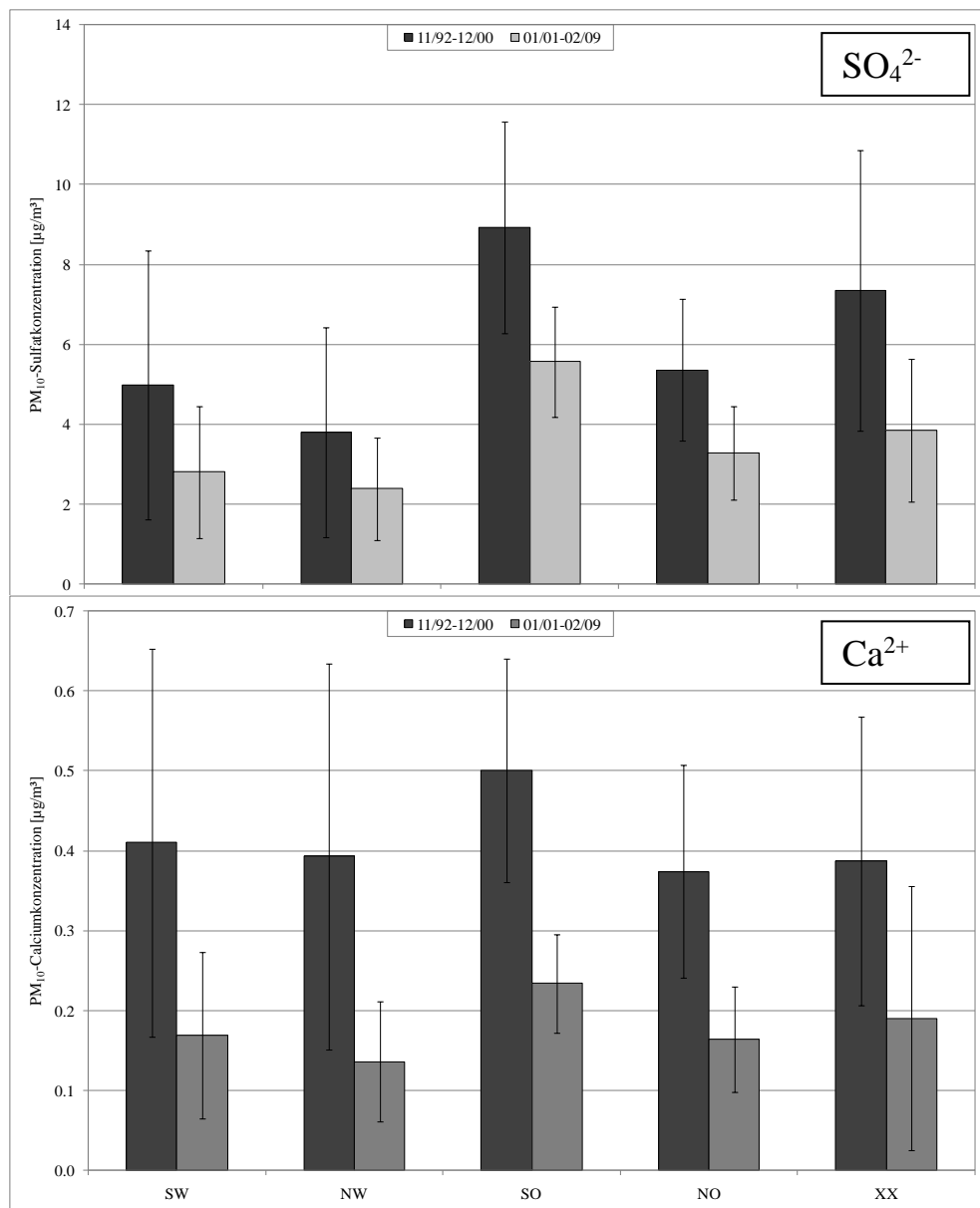


Abb. 5 Mittlere PM<sub>10</sub>-Sulfatkonzentration (oben) mittlere PM<sub>10</sub>-Calciumkonzentration (unten) nach den Anströmrichtungen aus der objektiven Wetterlagenklassifikation in den Zeiträumen 11/1992 bis 12/2000 und 01/2001 bis 02/2009 in µg/m<sup>3</sup>. Die Standardabweichungen der Mittelwerte repräsentieren die tägliche Variabilität der Konzentrationen.

Sowohl für die Sulfat- als auch für die Calciumkonzentration zeigt sich eine Reduktion im Vergleich des länger zurückliegenden Zeitraumes mit dem jüngeren Zeitabschnitt. Dabei ist der Rückgang der Calcium Immission stärker als der für Sulfat, was auf weggefallene Emissionen aus Großkraftwerken durch Stilllegung oder die Einführung von Staubfiltern zurückzuführen ist. Die höchste mittlere Konzentration wird in beiden Fällen für die Anströmung Südost (SO) ermittelt und ist ein Hinweis auf Ferntransport von anthropogenen Emissionen, begünstigt durch niederschlagsarme Hochdruckwetterlagen.

Durch die Einführung der Ost-West-Sektorenuordnung, die anstelle von zahlreichen Wetterlagenklassen in nur zwei Anströmsektoren (Westsektor  $210^\circ$  bis  $320^\circ$  und Ostsektor  $35^\circ$  bis  $140^\circ$ ), unterscheidet, wurde es möglich, auf Grund der nun genügend großen Anzahl von Messtagen in einem Sektor, nicht nur zwischen den zwei Zeiträumen, sondern auch zwischen Sommer- und Wintersaison (Mai bis Oktober bzw. November bis April) jeden Jahres zu unterscheiden (Spindler et al., 2010, Schlimper, 2010). Anströmungen aus den verbleibenden Nord- oder Südsektor ( $140^\circ$ - $210^\circ$  bzw.  $320^\circ$ - $35^\circ$ ) sind selten und werden, wie auch Tage mit wechselnder Anströmung bei dieser Klassifizierung nicht betrachtet (insgesamt ca. 30%). Für die Zuordnung der Messtage in die Sektoren werden für jeden Tag 96-Stunden Rückwärtstrajektorien (NOAA Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory, Hysplit-4-Modell, <http://www.ready.noaa.gov/ready/hysplit4.html>) für 8:00 und 18:00 Uhr MEZ, jeweils für die Ankunftshöhen 200, 500 und 1500 m betrachtet, vgl. auch Draxler und Hess, 1997 und 1998. In Abbildung 6 ist als Beispiel für die Anwendung der Ost-West-Sektorenuordnung mit Unterscheidung nach Winter- und Sommerhalbjahr das Ergebnis für die Sulfatkonzentration in den Partikeln  $PM_{10}$  dargestellt. Sowohl im Winter als auch im Sommer zeigt sich eine etwa bis zum Jahr 2000 abfallende Konzentration. Danach wird diese mehr durch die Variabilität zwischen den Jahren bestimmt. Grundsätzlich ist die Konzentration im Winter höher als im Sommer. Bei winterlicher Ostanströmung werden bedingt durch trockene Wetterlagen mit geringerer Turbulenz und kleinerem Mischungsvolumen und zusätzlichem Ferntransport anthropogener Emissionen die höchsten Sulfatkonzentrationen erreicht. Die Schwankungen der mittleren Konzentration zwischen den Jahren sind dann am größten. Eine Ursache dafür liegt in den schwankenden anthropogenen Emissionen (temperaturabhängig) und in der größeren meteorologischen Variabilität der Winter gegenüber den Sommern, dieser Effekt wird durch kleinere mittlere Mischungsvolumen im Winter verstärkt.

Die Auswertungen nach der objektiven Wetterlagenklassifizierung oder der West-Ost-Sektorenuordnung bedienen sich zwar unterschiedlicher Kriterien zeigen aber prinzipiell vergleichbare Ergebnisse, die hauptsächlich von den vorherrschenden meteorologischen Bedingungen und der Quellverteilung und -stärke bestimmt werden.

Eine wichtige Kenngröße für die Beurteilung des Einflusses der herrschenden meteorologischen Bedingungen auf die  $PM_{10}$ -Immission ist die Anzahl der niederschlagsfreien Tage nach einem Niederschlagsereignis (Nachtrockentage).

Abbildung 7 zeigt die mittleren  $PM_{10}$ -Konzentrationen vom 1. Bis zum 20. Nachtrockentag für die beiden Zeitabschnitte 11/1992 bis 12/2000 und 01/2001 bis 02/2009. Auf Grund des Auswascheffektes steigt die  $PM_{10}$ -Partikelmassenkonzentration, beginnend mit dem 1. Nachtrockentag kontinuierlich an. Für den länger zurückliegenden Zeitabschnitt mit höheren  $PM_{10}$ -Konzentrationen gegenüber dem jüngeren Zeitraum steigt die  $PM_{10}$ -Konzentration bis zum 10. und für den zweiten Zeitabschnitt bis zum 8. Nachtrockentag an. Danach fängt die Massenkonzentration an zu streuen. In den ersten 10 trockenen Tagen, nach dem Niederschlag steigt im früheren Zeitraum die Konzentration um  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an. Im Vergleich dazu erhöht sich die Konzentration im zweiten Zeitraum bis zum 8. Nachtrockentag nur etwa um die Hälfte ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Bedingt durch stärkere Emissionen stieg die  $PM_{10}$ -Konzentration nach dem Niederschlag im länger zurückliegenden Zeitraum schneller wieder an.

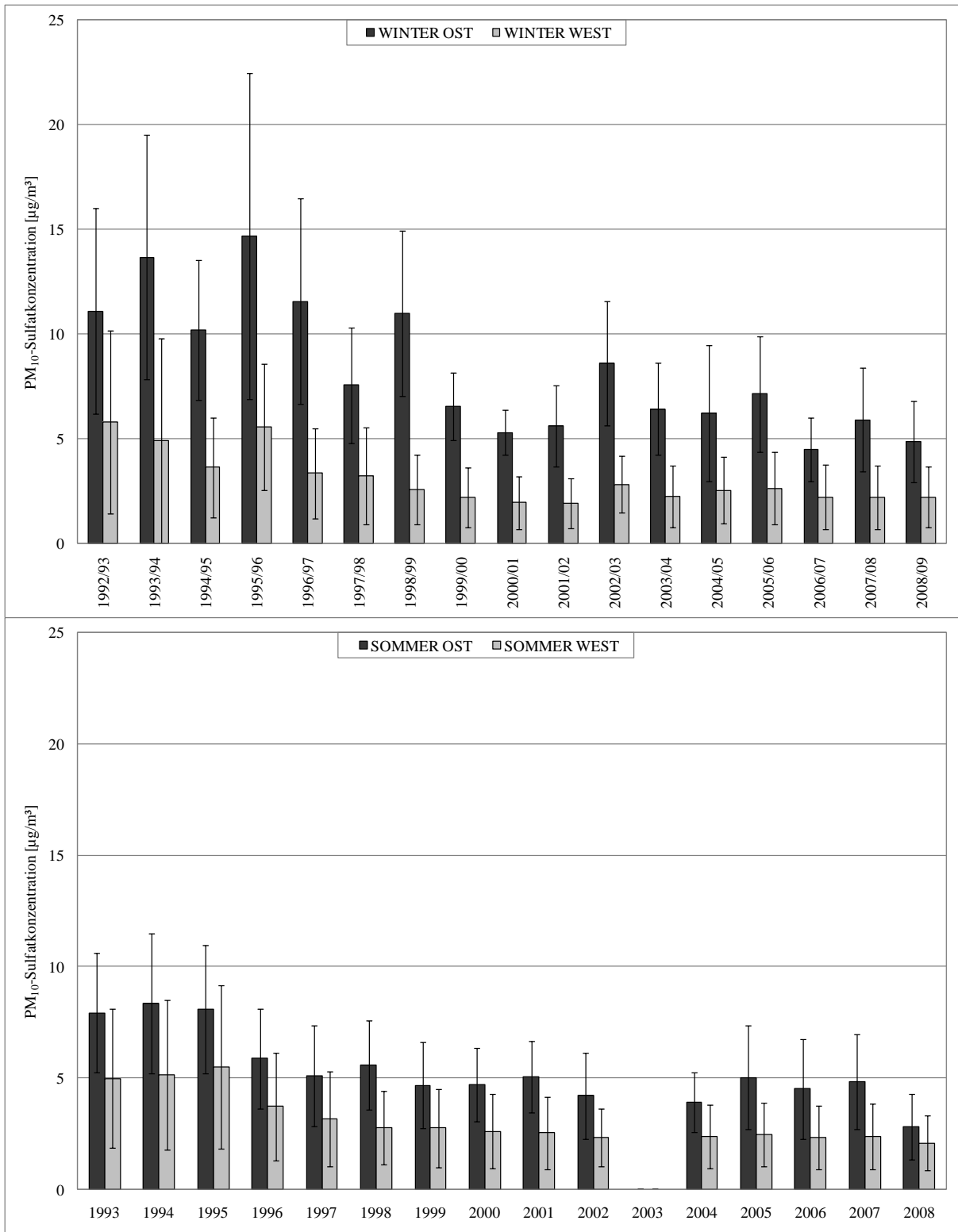


Abb. 6

Mittlere PM<sub>10</sub>-Sulfatkonzentration für die Winterhalbjahre 1992/93 bis 2008/09 (November bis April, oben) und für die Sommerhalbjahre 1993 bis 2008 (Mai bis Oktober, unten) unterteilt nach den Anströmungsrichtungen Ost und West in µg/m<sup>3</sup>. Die Standardabweichungen der Mittelwerte repräsentieren die tägliche Variabilität der Sulfatkonzentrationen. Für den Sommer 2003 liegen keine Messwerte vor.

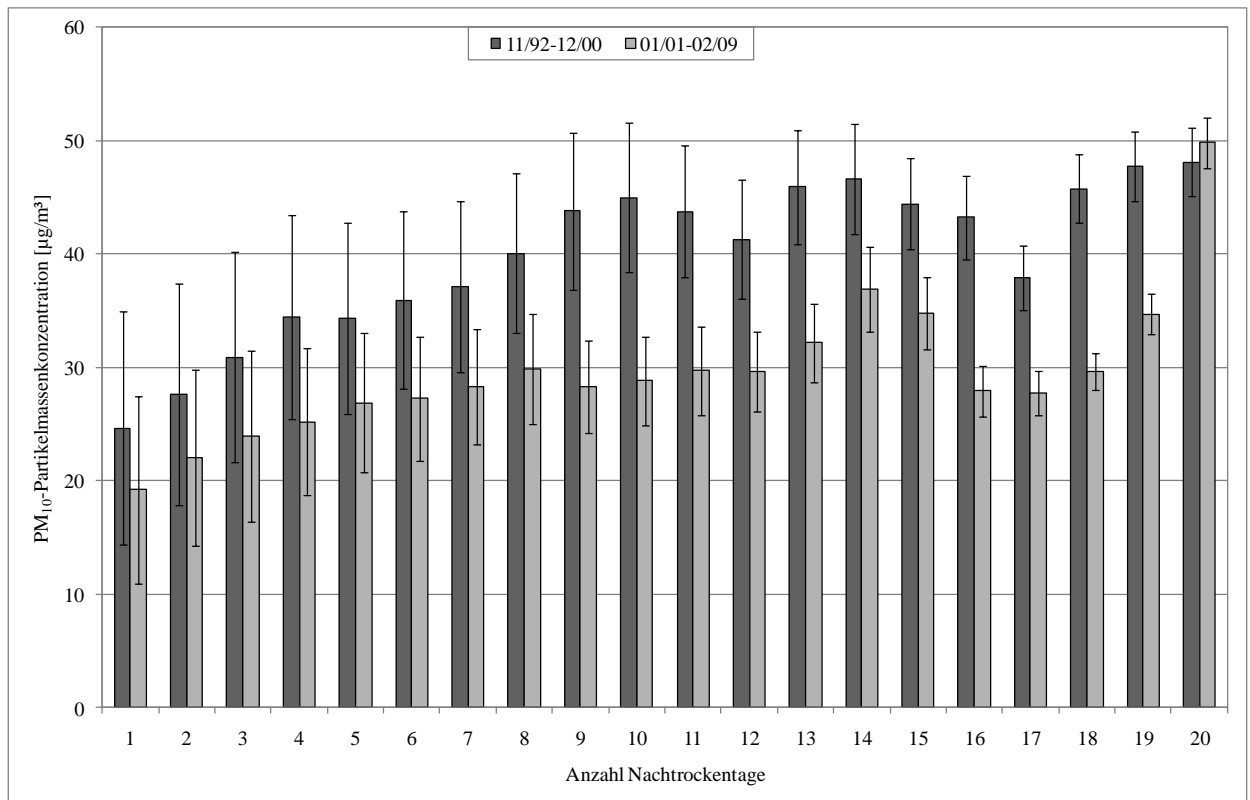


Abb. 7 Anzahl Nachtrockentage und mittlere PM<sub>10</sub>-Partikelmassenkonzentration in den Zeiträumen 11/1992 bis 12/2000 und 01/2001 bis 02/2009 in µg/m<sup>3</sup>. Die Standardabweichungen der Mittelwerte repräsentieren die tägliche Variabilität der Partikelmassenkonzentrationen.

Die wenigen Beispiele zeigen, dass an Hand kontinuierlichen Langzeitmessungen der Konzentration und –zusammensetzung von PM<sub>10</sub> sowohl der Einfluss sich ändernder Emissionen als auch der meteorologischer Parameter und des Langstreckentransports gezeigt werden kann. Aus der Langzeitreihe war es möglich eine Prognostizierung einer zu erwartenden PM<sub>10</sub>-Massenkonzentration zu erstellen, die Jahreszeit, Anströmungssektor, Temperatur, Windgeschwindigkeit, Anzahl der Nachtrockentage und den indirekten Einfluss des Wochentages berücksichtigt (Schlimper, 2010).

## Literatur

- Birmili, W., Weinhold, Kay, Nordmann, s., Wiedensohler, A., Spindler, G., Müller, K., Herrmann, H., Gnauk, T., Pitz, M., Cyrys, J., Flentje, H., Nickel, C., Kuhlbusch, T.A.J., Löschau, G., Hasse, D., Meinhard, F., Schwerin, A., Ries, L., Wirtz, K. (2009) Atmospheric aerosol measurements in the German Ultrafine Aerosol Network (GUAN). *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 2009/4 137-145.
- Bissolli, P., Dittmann, E. (2001) The objective weather type classification of the German Weather Service and its possibilities of application to environmental and meteorological investigations. *Meteorologische Zeitschrift* 10 (4), 253-260.
- Bissolli, P., Dittmann, E., (2003) Objektive Wetterlagenklassen. In: *Klimastatusbericht 2003*, Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach a. M., 101-107.
- Draxler, R.R., Hess, G.D. (1997) Description of the HYSPLIT\_4 modelling system. NOAA Technical Memorandum ERL ARL-224, 24pp.
- Draxler, R.R., Hess, G.D. (1998) An overview of the HYSPLIT\_4 modelling system for trajectories, dispersion and deposition. *Australian Meteorological Magazine* 47, 295-308.
- EMEP: Particulate Matter Assessment Report (2007) Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. EMEP/CCC-Report 8/2007. Edited by Aas, W., Brüggemann, P., Derwent, R., Poisson, N., Putaud, J.-P., Rouil, L., Vidic, S., and Yttri, K. E. (<http://www.nilu.no/projects/ccc/reports/cccr8-2007.pdf>).
- Gnauk, T., W. Rolle, and G. Spindler (1997), Diurnal variations of atmospheric hydrogen peroxide concentrations in Saxony (Germany), *J. Atmos. Chem.*, 27, 79-103.
- Hamed, A., Birmili, W., Joutsensaari, J., Mikkonen, S., Asmi, A., Wehner, B., Spindler, G., Jaatinen, A., Wiedensohler, A., Korhonen, H., Lehtinen, K. E. J., and Laaksonen, A. (2010). Changes in the production rate of secondary aerosol particles in Central Europe in view of decreasing SO<sub>2</sub> emissions between 1996 and 2006. *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 1071-1091.
- Herrmann, H., E. Brüggemann, U. Franck, T. Gnauk, G. Löschau, K. Müller, A. Plewka, and G. Spindler (2006), A source study of PM in Saxony by size-segregated characterisation, *J. Atmos. Chem.*, 55, 103-130.
- Müller, K. (1999) A 3-year study of the aerosol in Northwest Saxony (Germany). *Atmospheric Environment* 33 (11), 1679-1685.
- Putaud, J.-P., F. Raes, R. van Dingenen, E. Brüggemann, M.-C. Facchini, S. Decesari, S. Fuzzi, R. Gehrig, C. Hüglin, P. Laj, G. Lorbeer, W. Maenhaut, N. Mihalopoulos, K. Müller, X. Querol, S. Rodriguez, J. Schneider, G. Spindler, H. ten Brink, K. Tørseth, and A. Wiedensohler (2004), A European aerosol phenomenology 2: Chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe, *Atmos Environ*, 38, 2579-2595.
- Schlimper, S. (2010) Meteorologische und statistische Auswertung von Langzeitmessreihen zur Charakterisierung des Aerosols an der Forschungsstation Melpitz, Diplomarbeit, Universität Leipzig (Fakultät für Physik und Geowissenschaften, 90 Seiten).
- Spindler, G., K. Müller, E. Brüggemann, T. Gnauk, and H. Herrmann (2004), Long-term size-segregated characterization of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, and PM<sub>1</sub> at the IfT research station Melpitz downwind of Leipzig (Germany) using high and low-volume filter samplers, *Atmos Environ*, 38, 5333-5347.
- Spindler, G., Brüggemann, E., Gnauk, T., Grüner, A., Müller, K., and Herrmann, H. (2010) A four-year size-segregated characterization study of particles PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1</sub> depending on air mass origin at Melpitz. *Atmos. Environ.*, 44, 164-173.
- Wichmann, H.-E. (2005) Feinstaub: Lufthygienisches Problem Nr. 1 – eine aktuelle Übersicht. *Umweltmed. Forsch. Prax.* 10, 157-162.