



**UNIVERSITÄT BAYREUTH**

**Abteilung Mikrometeorologie**

---

**Jahresbericht 2008**

**zum Förderprojekt 01879**

**Untersuchung der Veränderung der Konzentration von  
Luftbeimengungen und Treibhausgasen im hohen  
Fichtelgebirge**

**2007 – 2013**

**Johannes Lüers & Thomas Foken**

**unter Mitwirkung von**

**Barbara Grasse & Tamara Döbele**



---

**Arbeitsergebnisse  
Nr. 39  
Bayreuth, Januar 2009**

---

Arbeitsergebnisse, Universität Bayreuth, Abt. Mikrometeorologie, Print, ISSN 1614-8916  
Arbeitsergebnisse, Universität Bayreuth, Abt. Mikrometeorologie, Internet, ISSN 1614-8924  
<http://www.bayceer.uni-bayreuth.de/mm/>

Eigenverlag: Universität Bayreuth, Abt. Mikrometeorologie  
Vervielfältigung: Druckerei der Universität Bayreuth  
Herausgeber: Prof. Dr. Thomas Foken

Universität Bayreuth, Abteilung Mikrometeorologie  
D-95440 Bayreuth

Die Verantwortung über den Inhalt liegt beim Autor.

# 1 Einleitung

Gemäß dem Förderungsantrag vom 12.10.2006, Punkt 2.1 und dem Bewilligungsbescheid vom 02.03.2007 wird erstmals für 2008 ein Bericht vorgelegt, der im Wesentlichen auf zwei Aspekte der Veränderung der Luftschadstoffe eingeht. Über die Veränderlichkeit des Kohlendioxidaustausches über Waldbeständen im hohen Fichtelgebirge wird wegen der Verknüpfung mit anderen Projekten erst 2009 berichtet.

# 2 Arbeitsbericht

Der Beginn der Förderung fällt zusammen mit dem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Verbundprojekt „**ExchanGE** processes in mountainous **R**egions“ (EGER) unter den Projektbezeichnungen FO 226/16-1, ME 2100/4-1 und ZE 792/4-1 ab Anfang 2007 ([http://www.bayceer.uni-bayreuth.de/vp\\_eger/](http://www.bayceer.uni-bayreuth.de/vp_eger/)). Damit konnten notwendige Investitionen getätigt werden und die personellen Ressourcen wurden vergrößert. Zu den wichtigsten Investitionen gehörten ein neuer Messmast zur Modernisierung der Messungen des Kohlendioxid-austausches (Treibhausgas-austausch) und der Verdunstung und ein Messgerät zur Bestimmung von Schadstoffen im Niederschlag (nasse Deposition) auf der Messfläche des Bayreuther Zentrums für Ökologie und Umweltforschung (BayCEER) am Waldstein, die beide seit September 2007 im kontinuierlichen Einsatz sind (Abb. 1 und 2).



Abb. 1: Messmast zur Bestimmung der Waldverdunstung und des Kohlendioxidaustausches



Abb. 2: Niederschlagsmesser mit Probenwechslers zur Bestimmung der nassen Deposition

Während durch das EGER-Projekt nur zwei ca. 6wöchige intensive Messperioden durchgeführt wurden (Serafimovich et al., 2008a, b), gelang es dank der Förderung durch die Oberfrankenstiftung wichtige Messungen kontinuierlich weiterzuführen. Die zur Verfügung gestellten Mittel wurden zur Absicherung der Wartungsfahrten, für Reparaturen und den Ersatz ausgefallener Geräte eingesetzt. Dazu gehört u. a. ein Ultraschallanemometer zur hochgenauen Messung des Windfeldes. Durch den Einsatz eines Wireless-LAN Systems ist es seit 2007 möglich, alle Messdaten zeitnah und kontinuierlich im Internet darzustellen (<http://www.bayceer.uni-bayreuth.de/mm/de/klima/5407/Uebersicht/>) sowie gleichzeitig die Anfälligkeit gegen Blitzschlag zu reduzieren, was auch durch den verstärkten Einsatz von Lichtleitertechnik unterstützt wurde.

Schwerpunkt der Auswertungen in den Jahren 2007 und 2008 lag in der Weiterführung der lufthygienischen Messungen, die bis zum Jahr 2000 bereits ausgewertet vorliegen (Foken, 2003). Diese Auswertungen wurden durch die 2007 begonnenen Messungen der nassen Deposition ergänzt.

Mitte 2009 wird in Ergänzung zum Stand der luftchemischen Auswertung dieses Arbeitsberichtes eine ausführliche und bezüglich Ozons umfassende wissenschaftliche Studie (Diplomarbeit B. Grasse) als Publikation vorliegen.

Gleichzeitig wurde damit begonnen, die Verdunstungsmessungen und Messungen der CO<sub>2</sub>-Aufnahme/Abgabe des Waldes wissenschaftlich zu bearbeiten, um die bereits für die Jahre 1997 bis 2001 vorliegende Analyse (Rebmann et al., 2004) zu komplettieren. Damit wird es gelingen nach mehreren Jahren ohne umfassende Förderung, die Daten der internationalen FLUXNET-Station (Baldocchi et al., 2001) Waldstein/Weidenbrunnen (internationales Kennzeichen: DE-Bay) wieder in internationale Datenbanken einzuspeisen. Bereits erfolgt ist die verbesserte Zusammenstellung der relevanten Standortdaten (Staudt and Foken, 2007). Der Abschluss der Arbeiten erfolgt 2009 und ist Gegenstand des Berichtes im kommenden Jahr.

### **3 Lufthygienische Messungen**

Lufthygienische Messungen sind in der Regel Immissionsmessungen, bei denen die Konzentration eines bestimmten Gases oder Stoffes pro Volumeneinheit Luft festgestellt wird (in der Regel: Ozon, Stickoxide, Schwefeloxide und Feinstäube). Es ist somit eine Konzentrationsmessung.

Diese Messung sagt aber nichts aus, ob der Stoff für ein Ökosystem oder den Boden wirklich belastend ist. Dazu sind zusätzlich Depositionsmessungen notwendig, bei denen der Stoffeintrag pro Flächen- und Zeiteinheit bestimmt wird (Ihle, 2001). Man unterscheidet im Wesentlichen drei Depositionswege, die trockene, nasse und feuchte Deposition. Daneben gibt es noch die weitgehend unbedeutende Sedimentation schwerer Partikel. Die feuchte Deposition aus abgesetztem Nebelwasser (vorwiegend aus Wolken) hat im hohen Fichtelgebirge eine gewisse Bedeutung und umfasst etwa 5 % bis 10 % der Gesamtdeposition (Wrzesinsky et al., 2004). Von Bedeutung sind im Wesentlichen nur die nasse Deposition durch im Niederschlag gelöste oder ausgewaschene Substanzen und die trockene Deposition durch turbulenten (unter Einfluss des Windfeldes) Transport von Gasen und kleinen festen und flüssigen Partikeln (Aerosol).

Über hoher Vegetation (Wald) erfolgen etwa zwei Drittel der Deposition über den trockenen Weg, über niedriger nur die Hälfte (Foken et al., 1995). Letztere wird wegen des hohen Aufwandes in Deutschland nicht kontinuierlich gemessen (Ihle, 2001) und nur als Monatswerte unter der Annahme klimatologischer Normalbedingungen über die so genannte Depositionsgeschwindigkeit abzuschätzen (Helbig et al., 1999).

Die an der Messstation Waldstein Weidenbrunnen durchgeführten Verdunstungs- und Kohlendioxidflussmessungen sind prinzipiell geeignet, auch andere Flüsse der trockenen Deposition genauer abzuschätzen.

Das Bayerische Landesamt für Umwelt führt nur noch an wenigen Stationen Messungen der nassen Deposition durch, die in den Berichten nicht aufgeführt werden. Stattdessen wird der so genannte Staubniederschlag nach der Bergerhoff-Methode erfasst. Dies ist eine Mischinformation aus Sedimentation, nasser Deposition und einem Teil der trockenen Deposition. Nachfolgend werden die Konzentrationsmessungen bis 2007 und das erste Jahr der Messungen der nassen Deposition dargestellt.

### **3.1 Konzentrationsmessungen**

#### **3.1.1 Gerätesatz**

Am Standort Waldstein/Pflanzgarten wird z. Z. (Stand 2009) zur Ermittlung der Ozonkonzentration ein UV Absorption OZONE ANALYZER Model 400 der Firma API eingesetzt. Die Erfassung der NO<sub>2</sub>- und NO-Konzentrationen erfolgt mittels Chemilumineszenz NO/NO<sub>x</sub>-Analysator CLD 700 AL von TEKAN. SO<sub>2</sub>-Konzentrationen werden durch einen Trace Level Pulsed Fluorescence SO<sub>2</sub> Analyzer Model 43C von Thermo Environmental Instruments Inc. gemessen. Dieser Gerätesatz wurde bereits im Jahre 2000 bzw. 2002 aus anderweitigen Drittmitteln beschafft und konnte erst Anfang 2008 am Waldstein/Pflanzgarten in Routinebetrieb gehen. Dies wurde notwendig, da der erheblich überalterte Gerätesatz (in Betrieb 1986 bis 2007) aus dem Wartungsprogramm der Hersteller gestrichen wurde und eine Wartung, Reparatur oder Kalibrierung nicht mehr möglich war. Dies führte letztlich zu einem Komplettausfall der Altgeräte. Der z. Z. laufende Gerätesatz ist zwar ebenfalls im Vergleich zu aktuellen Modellen technisch veraltet, erfüllt aber noch alle Standards.

#### **3.1.2 Datengrundlage, Datenqualität und Datenkorrektur**

Zur luftchemischen Auswertung bodennaher Spurengase wurden Routinemessungen von Ozon, NO<sub>x</sub> (NO<sub>2</sub>/NO) und SO<sub>2</sub> und die für deren Ausbreitung und Verhalten wichtigen zugehörigen meteorologischen Standardmessungen der Klimastation Waldstein/Pflanzgarten (765 m ü. NN) und der ca. 300 m entfernt liegenden Station Waldstein/Weidenbrunnen (775 m ü. NN) der Forschungsfläche der Universität Bayreuth herangezogen. Die Station Waldstein/Pflanzgarten (50°08'35" N, 11°51'49" E) befindet sich im oberfränkischen Fichtelgebirge im Nordosten Bayerns ca. 35 km nordöstlich der Stadt Bayreuth inmitten der Nordwest nach Südost streichenden Gebirgskette Thüringer Wald, Frankenwald, Fichtelgebirge, Oberpfälzerwald und Bayerischer Wald/Böhmerwald.

Der ländliche, im Wesentlichen verkehrsfremde, lediglich durch die ca. 1 km westlich bis südwestlich der Versuchsflächen gelegene Verbindungsstraße zwischen Weißenstadt und

Sparneck beeinflusste und vor Allem aber forstliche geprägte Standort ist mit seiner Lage auf 765 m ü. NN die höchstgelegene Mittelgebirgsstation dieser Art in Nordbayern.

Erfasst werden dort seit Mitte 1994 die Spurengase und zugehörigen meteorologischen Messgrößen auf einem ca. 100 m x 200 m großen Wiesenareal innerhalb eines ca. 70 bis 130 Jahre alten Fichtenbestandes (Foken, 2003; Klemm und Lange, 1999; Klemm und Mangold, 2001; Lüers und Klemm, 2004). Vor der Verlagerung des LfU-Messcontainers zum Standort Waldstein/Pflanzgarten wurden im Zeitraum zwischen 1985 und 1993 vergleichbare Datensätze am Standort Oberwarmensteinach/Wagenthal in ca. 18 km Entfernung auf 760 m ü. NN im Rahmen des lufthygienischen Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB) des Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) erhoben (Foken, 2003; Eiden et al., 1989; Klemm und Lange 1999). In Klemm und Lange, 1999 wird aufgezeigt, dass keine systematischen Unterschiede zwischen beiden Standorten bestehen. Auf Grund dessen werden im Folgenden die beiden Datensätze von 1985 bis 2007 für die Trendauswertung als zusammenhängende Zeitreihe betrachtet.

Vor Beginn der eigentlichen Analysen zeigte sich, dass eine umfangreiche Qualitätsprüfung und Datenkorrektur durchgeführt werden musste. Die meteorologischen Messungen am Waldsteinstandort unterliegen den internationalen und nationalen Standards der Weltorganisation für Meteorologie, der Verwaltungsvorschrift TA Luft und der VDI/DIN-Richtlinie (Lüers und Klemm, 2004) und bedurften nur geringfügiger Korrektur. Lediglich Daten der Globalstrahlung und der Windrichtung wurden einer erneuten gründlichen Plausibilitätsprüfung unterzogen.

Für die luftchemischen Datenreihen musste eine umfangreiche Zeitreihenrekonstruktion vorgenommen werden. Hierfür wurden die Datenreihen von Ozon, NO<sub>2</sub>/NO und SO<sub>2</sub> mit erheblichen Arbeitsaufwand Monat für Monat auf Korrektheit von Betrag und Einheit überprüft, wodurch fehlerhafte Abschnitte und einzelne Werte aufgespürt und partiell ausgeschlossen wurden, oder aber korrigiert und für die Auswertung erhalten werden konnten. Realisiert wurde dies durch visuelle Begutachtung und Überprüfung durch automatische Suchfunktionen der einzelnen Datenreihen. Zum Teil wurden in geeigneten Abschnitten einzelne Fehlerwerte durch lineare Interpolation ersetzt, jedoch Abschnitte mit überproportional vielen Datenlücken mussten für die Auswertungen entfernt werden. Ebenfalls von den Auswertungen ausgenommen wurden Zeitreihenabschnitte die offensichtliche Fehlerhaftigkeit aufwiesen wie z.B. alle NO<sub>2</sub>/NO-Daten zwischen dem 05.08.2002 und 04.11.2003. In diesem Fall wurde anlässlich eines nicht ordnungsgemäß wieder verschlossenen Ansaugrohres im Zuge von Umbauarbeiten an der Station Waldstein/Pflanzgarten im August 2002 mit NO<sub>x</sub> angereicherte Innenluft des Messcontainers im oben aufgeführten Zeitraum angesaugt. Folglich kann auch die Ozonkonzentration dieses Zeitraums nur bedingt und nur unter kritischer Betrachtung zur Analyse herangezogen werden.

Der umfangreichsten Korrektur jedoch bedurfte die SO<sub>2</sub>-Datenreihe angesichts wiederholt auftretender Nullpunktverschiebung. Überarbeitet wurden Abschnitte mit Abweichung des Grundniveaus um diskrete Werte bzw. bei linearer Zu-/Abnahme der Konzentration mit der Zeit durch Subtraktion der ermittelten Verschiebungswerte von den gemessenen Konzentrationen.

Als abschließende Arbeit der Datenhomogenisierung wurden die teils in µg m<sup>-3</sup> vorliegenden Konzentrationen in die druck- und temperaturunabhängige Einheit ppb (parts per billion)

nach folgender Gleichung mit den in Tabelle 1 aufgeführten Umrechnungsfaktoren für 0°C bzw. 20°C standardisiert auf 1013 hPa überführt, wobei als  $M_m$  die molare Masse und als  $V_m$  das molare Volumen bezeichnet ist (nach Finlayson-Pitts und Pitts, 2000; Seinfeld und Pandis, 1998).

$$1 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} = 1 \text{ppb} \left[ \frac{M_m}{V_m} \right]$$

Tabelle 1: Faktoren zur Umrechnung zwischen  $\mu\text{g m}^{-3}$  und ppb für Ozon, NO, NO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub> bei 0°C bzw. 20°C bezogen auf 1013 hPa.

Spurengas	$M_m$ [g mol <sup>-1</sup> ]	$V_{m(0^\circ\text{C})}$ [mol L <sup>-1</sup> ]	1 ppb in $\mu\text{g m}^{-3}$ (0°C)	$V_{m(20^\circ\text{C})}$ [mol L <sup>-1</sup> ]	1 ppb in $\mu\text{g m}^{-3}$ (20°C)
Ozon	48	22.414	2.1415	24.060	1.9950
NO	30		1.3384		1.2469
NO <sub>2</sub>	46		2.0523		1.9119
SO <sub>2</sub>	64		2.8554		2.6600

Zur anschließenden Überprüfung der Datenqualität wurden die luftchemischen Daten des Standortes Waldstein/Pflanzgarten mit Messungen geeigneter, benachbarter Stationen des luftchemischen Landesüberwachungssystems des LfU verglichen. Ausgewählt wurde zum einen die ca. 25 km nordwestlich liegende Station L4.6 Naila/Selbitzer Berg (50°19'24" N, 11°43'18" E) auf 534 m ü. NN (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2008b). Sie ist die vom Charakter her ähnlichste, jedoch deutlich durch Straßenverkehr beeinflusste Messstation in der näheren Umgebung des Waldsteins. Es zeigte sich in Variation und Verlauf der Spurengase quantitativ gute Übereinstimmung, aber auch typische Unterschiede quellnaher und quellferner Standorte. Dazu vergleicht Abb. 3 exemplarisch die Ozonverläufe der Stationen Waldstein/Pflanzgarten und Naila/Selbitzer Berg. Zusätzlich wurde anlässlich der 2006 endgültig eingestellten SO<sub>2</sub>-Messung an der Station Naila die ca. 25 km südöstlich des Waldsteins liegende Station L4.5 Arzberg/Egerstraße (50°3'29" N, 12°11'19" E) auf 480 m ü. NN (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2008b) zum Abgleich der SO<sub>2</sub>-Messungen herangezogen. Da an der Station Waldstein/Pflanzgarten ohnehin nur bei Advektion SO<sub>2</sub>-belasteter Luftmassen Spitzenkonzentrationen gemessen werden, ist es nicht zwingend notwendig eine vergleichbare ländlich geprägte Station zur Überprüfung der Messergebnisse heranzuziehen. Wichtig ist dabei in erster Linie, dass beide Stationen durch einheitliche Luftmassen erreicht werden und somit SO<sub>2</sub>-Spitzen in etwa zur selben Zeit und in ähnlicher Intensität auftreten (Abb. 4).

Die überprüften und korrigierten Gesamtzeitreihen von O<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub> stehen auf Anfrage Online abrufbar über die BayCEER Datenbank GOAT zu wissenschaftlichen Zwecken zur Verfügung.

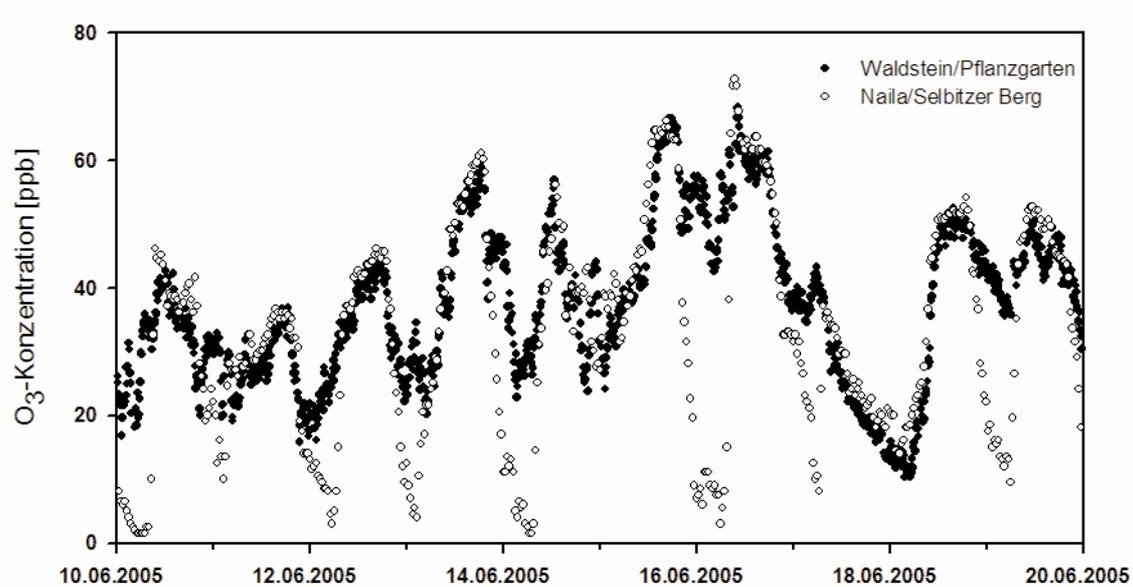


Abb. 3: Vergleich der Ozonkonzentrationen in ppb der Stationen Waldstein /Pflanzgarten als 10-min Mittel (schwarz) und Naila/Selbitzer Berg als 30-min Mittel (weiß) zwischen dem 10.06.2005 und dem 20.06.2005. Nahezu vollständiger nächtlicher Ozonabbau durch Reaktionen mit NO<sub>x</sub> an der Station Naila/Selbitzer Berg. Ähnlich starker Rückgang von Ozon an der Station Waldstein/Pflanzgarten nur bei Advektion NO<sub>x</sub> belasteter Luftmassen und gehemmten vertikalen Austauschbedingungen durch Inversionslage wie in der Nacht vom 18.06.2005 auf den 19.06.2005.

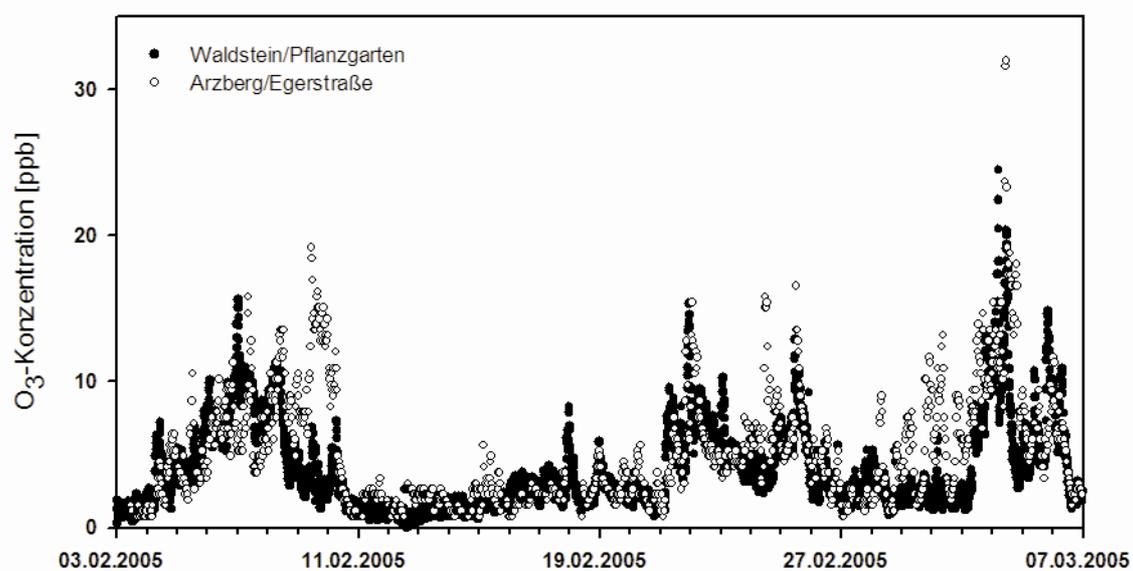


Abb. 4: Vergleich der SO<sub>2</sub>-Konzentrationen in ppb der Stationen Waldstein/Pflanzgarten als 10-min Mittel (schwarz) und Arzberg/Egerstraße als 30-min Mittel (weiß) zwischen dem 03.02.2005 und dem 07.03.2005. Zum Teil höhere SO<sub>2</sub>-Konzentrationen an der Station Arzberg/Egerstraße und zeitliche Verschiebung zwischen den beiden Stationen auf Grund unterschiedlicher geographischer Entfernung zur Quelle.

### **3.1.3 Zeitliche Entwicklung und Trendanalyse**

Um im Zuge der Auswertung der zeitlichen Entwicklung eine einheitliche Auflösung der gesamten Zeitreihen zu gewährleisten, wurden aus den 10-Minutenwerten der Station Waldstein/Pflanzgarten 30-Minutenmittel berechnet und der Endzeit des Mittelungszeitraumes zugesprochen.

Ferner wurden Auswertungen dieser und umliegender Stationen in Bayern und Tschechien bereits in 30-minütiger Auflösung in Foken (2003) veröffentlicht. Beide Ergebnisse können somit direkt verglichen werden.

Im Zuge einer Trendanalyse wird prinzipiell die Korrelation einer Datenreihe mit der Zeit bzw. mit bestimmten Zeitpunkten oder Teilintervallen der Zeitreihe herausgearbeitet (Schönwiese, 2000). Das ist als nichts anders anzusehen, als die Untersuchung der Datenreihe nach langfristiger Veränderung mit der Zeit. Die einfachste Art der Trendauswertung ist die lineare Regressionsrechnung, wobei die Daten hinsichtlich monotoner, linearer Veränderung analysiert werden. Um jedoch Trendwendepunkte des Datensatzes aufzuspüren bzw. darzustellen, ist entweder der Einsatz von partieller Trendanalyse oder von nichtlinearen Polynomen mindestens zweiter Ordnung notwendig. Im Rahmen dieser Arbeit wurden zur Auswertung der Datensätze hinsichtlich Trendentwicklung bzw. zur Analyse von Trendwendepunkten lineare bzw. partielle lineare Regressionsrechnung und polynomiale Funktionen zweiter Ordnung betrachtet. Dargestellt sind hier jedoch ausschließlich die Auswertungen mit Hilfe linearer bzw. partiell linearer Regression, da bei Verwendung polynomialer Regressionsfunktionen keine zusätzlichen Informationen bzw. keine signifikant qualitativ höheren Ergebnisse ergaben. Zur Angabe der Signifikanz des linearen Trends wurde auf den nichtparametrischen Trendtest nach Mann und Kendall zurückgegriffen, wobei lediglich das Vorzeichen der Differenz zweier aufeinander folgender Werte betrachtet wird und hierbei keine Normalverteilung des Datensatzes vorausgesetzt wird. Die Aussage hinsichtlich Signifikanz der Trendentwicklung erfolgt rein nach relativer Veränderung der Zeitreihe (Österle et al., 1999).

Des Weiteren fanden Verfahren der Extremwertstatistik wie die Analyse der Minima und Maxima bzw. der Perzentilauswertung in Tages- und Jahresgang, im Verlauf einzelner Episoden und im Rahmen der bereits angesprochenen Trendanalyse Verwendung. Nach Streck (2003) erweisen sich hohe und niedrige Perzentilwerte als wesentlich unempfindlicher gegen Ausreißer als Maximal- bzw. Minimalwerte und werden deshalb als robuste Lagemaße bezeichnet. Auf Grund dessen wurden zur Darstellung von Hintergrund-, Dauer- und Extrembelastungen 10%-, 50%- und 95%-Perzentile auf Jahres- bzw. Monatsbasis berechnet. Dabei entspricht das nte-Perzentil demjenigen Wert unterhalb dessen n-Prozent der Werte der Datenreihe liegen. Da die Konzentrationsverläufe nicht saisonal unabhängig sind kamen bei der Ermittlung der Perzentilwerte auf Jahresbasis nur Jahre in denen mehr als 75 % der möglichen Datenpunkte vorhanden waren zum Einsatz. Besonders beachtet werden mussten dabei die Jahre an den Rändern der Zeitreihen, da gerade das Einbringen unvollständiger Randjahre zu erheblicher Beeinflussung der Regressionsfunktionen führen würde.

#### **Ozon**

Da lediglich Jahre, in denen mehr als 75 % der möglichen Datenwerte vorhanden sind, in die Berechnung der Perzentilwerte auf Jahresbasis eingehen, steht derzeit zur Trendauswertung bezüglich der Jahresperzentile von Ozon eine Datenreihe von 1986 bis 2006 zur Verfügung.

Ausgewertet wurden 10%-, 50%-, 95%-Perzentile zur Darstellung von Hintergrund-, Dauer- und Extrembelastungen (Abb. 5). Für die Hintergrundkonzentration, dargestellt durch 10%-Perzentile, ist bis zum Jahr 1999 ein Anstieg zu verzeichnen (vgl. Foken, 2003). In den 1980er Jahren lagen die 10%-Perzentilkonzentrationen größtenteils unterhalb 10 ppb, vereinzelt auch unterhalb 5 ppb.

Im Verlauf der 1990er Jahre ließ sich ein Anstieg bis auf über 16 ppb im Jahre 1999 beobachten. Danach zeichnete sich ein leichter Rückgang der Ozonhintergrundkonzentration auf Werte zwischen 10 ppb und 12 ppb bis zum Jahre 2006 mit den niedrigsten Werten um 2002 ( $< 8$  ppb) ab. Die mittlere Konzentration der Jahre 2002 und 2003 sollte jedoch hier und auch bei allen weiteren Auswertungen kritisch betrachtet werden. In diesem Zeitraum wurde als Folge von Umbauarbeiten eventuell wegen eines nicht wieder ordnungsgemäß verschlossenen Ansaugrohres ab dem 05.08.2002 mit  $\text{NO}_x$  angereicherte Innenluft des Messcontainers erfasst. Die Untersuchung der betroffenen Ozontagesgänge wies jedoch keine offensichtliche Beeinflussung der Ozonmessung auf.

Die Dauerbelastung durch Ozon, dargestellt als Reihe der 50%-Perzentile, zeigt einen ähnlichen Verlauf wie der Hintergrund. In den 1980er Jahren pendelte die Ozonkonzentration um einen Wert von ca. 20 ppb, steigt mit Beginn der 1990er Jahre auf Werte größer 30 ppb mit einem Maximum von fast 33 ppb im Jahr 1999 und wies anschließend einen leicht rückgängigen Trend bis 2006 mit Werten knapp unter 30 ppb auf. Für die 95%-Perzentile als Maß der Spitzenbelastung zeigt sich im Prinzip kein abweichendes Verhalten in den Jahren zwischen 1986 und 2006. Die Mittel der 1980er Jahre schwanken zwischen 40 ppb und 55 ppb und verweilen in den Jahren 1991 bis 2000 auf erhöhtem, aber relativ konstanten Niveau zwischen 60 ppb und 65 ppb. Die Jahre 2001 bis 2004 zeigen leicht verminderte Werte. Die letzten beiden Jahre 2005 und 2006 weisen jedoch erneut einen leichten Anstieg auf.

Auf Grund der unterschiedlichen langfristigen Veränderung der durchschnittlichen Witterungsverhältnisse in den Jahreszeiten und der Tatsache, dass der Ozonkonzentrationsverlauf nicht saisonal unabhängig ist, tragen auch die einzelnen Monate nicht gleichmäßig zu Trendentwicklungen der Ozonkonzentration bei. Aus diesem Grund werden die verschiedenen Perzentilreihen der einzelnen Monate unabhängig voneinander betrachtet. Bei den 10%-Perzentile sind nur in den Monaten der ersten Jahreshälfte Trendentwicklungen zu verzeichnen.

In den Monaten Januar und März sind hochsignifikante positive Konzentrationsentwicklungen mit Steigungen bei linearer Regression von bis zu 0.5 ppb pro Jahr, einhergehend mit dem stetigen Anstieg der Globalstrahlung, festzustellen.

Als Beispiel dafür ist die Zeitreihe der 10%-Perzentile der Ozonkonzentration und der Summe der Globalstrahlung im Januar mit linearer Regressionsfunktion in Abb. 6 und Abb. 7 aufgetragen. In den Monaten April bis August sind die entsprechenden Mittel nur bis Mitte bzw. Ende der 1990er Jahre angestiegen. Spätestens jedoch ab dem Jahr 2000, in den meisten Fällen schon früher, setzte eine leicht rückläufige Entwicklung ein. Dies ist beispielhaft in Abb. 8 für den Monat Juni dargestellt. Nur für Monat Mai kann ab dem Jahr 2004 ein erneuter leicht positiver Trend festgestellt werden. Für die Monate September bis Dezember konnten keinerlei signifikante Trendentwicklungen ausgemacht werden. In diesen Monaten bewegen sich die Werte mit geringen Schwankungen auf dem für den jeweiligen Monat und dem Standort typischen Niveau.

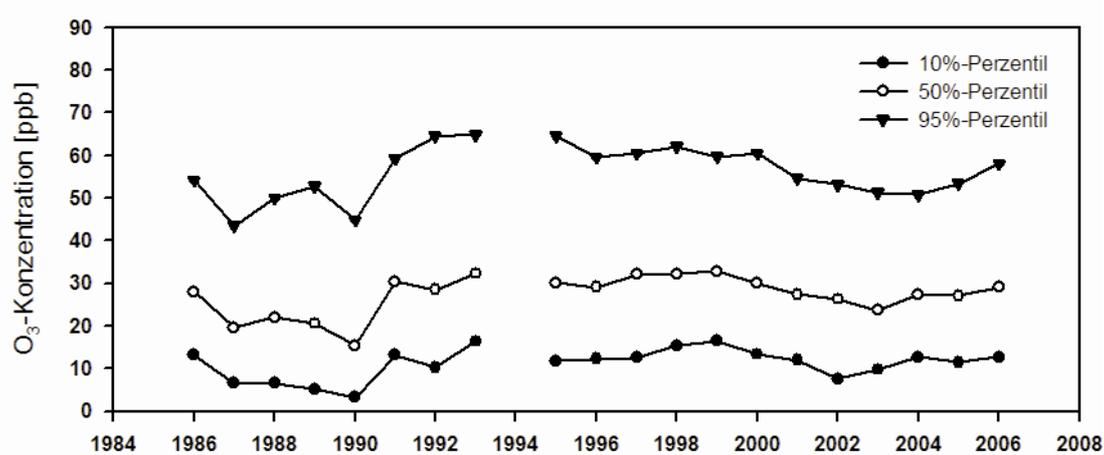


Abb. 5: 10%- /50%- und 95%-Jahresperzentile der Ozonkonzentration der 30-min Mittelwerte in ppb der Stationen Oberwarmensteinach/Wagenthal von 1986 bis 1993 und Waldstein/Pflanzgarten von 1995 bis 2006.

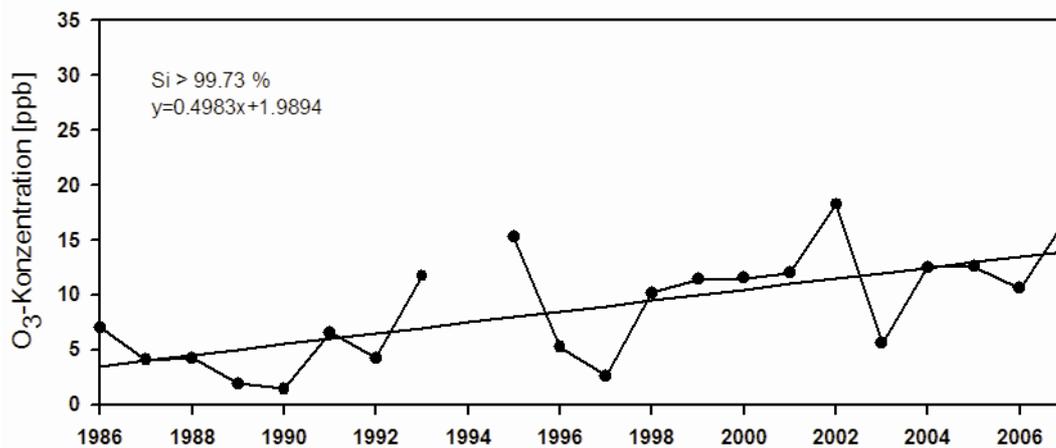


Abb. 6: 10%-Perzentile der Ozonkonzentration der 30-min Mittelwerte in ppb und linearer Trend im Januar der Stationen Oberwarmensteinach/Wagenthal von 1986 bis 1993 und Waldstein/Pflanzgarten von 1995 bis 2007. Si: Signifikanz nach Mann-Kendall.

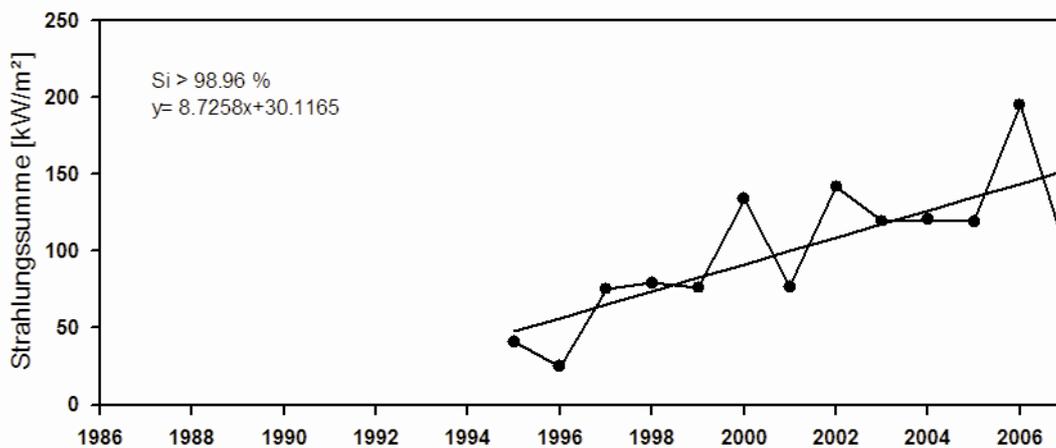


Abb. 7: Monatssummen der Globalstrahlung der 10-min Mittelwerte in kW/m<sup>2</sup> und linearer Trend im Januar der Station Waldstein/Pflanzgarten bzw. Waldstein/Weidenbrunnen von 1994 bis 2006. Si: Signifikanz nach Mann-Kendall.

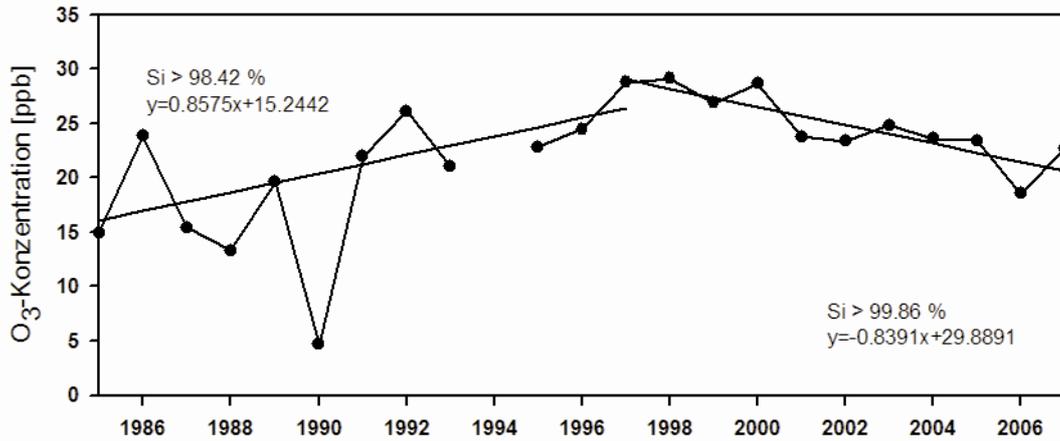


Abb. 8: 10%-Perzentile der Ozonkonzentration der 30-min Mittelwerte in ppb und partielle lineare Trends im Juni der Stationen Oberwarmensteinach/Wagenthal von 1985 bis 1993 und Waldstein/Pflanzgarten von 1995 bis 2007. Si: Signifikanz nach Mann-Kendall.

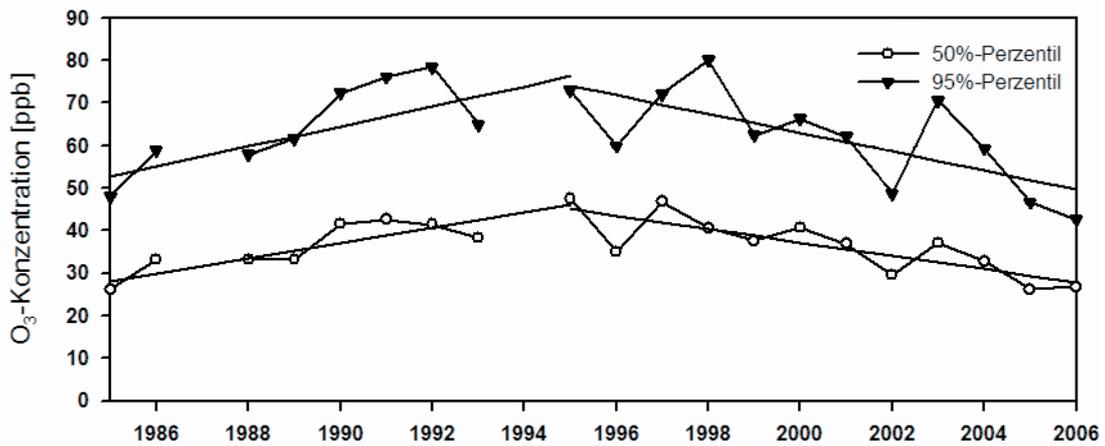


Abb. 9: 50%- und 95 Perzentile der Ozonkonzentration der 30-min Mittelwerte in ppb und partielle lineare Trends im August der Stationen Oberwarmensteinach/Wagenthal von 1985 bis 1993 und Waldstein/Pflanzgarten von 1995 bis 2006.

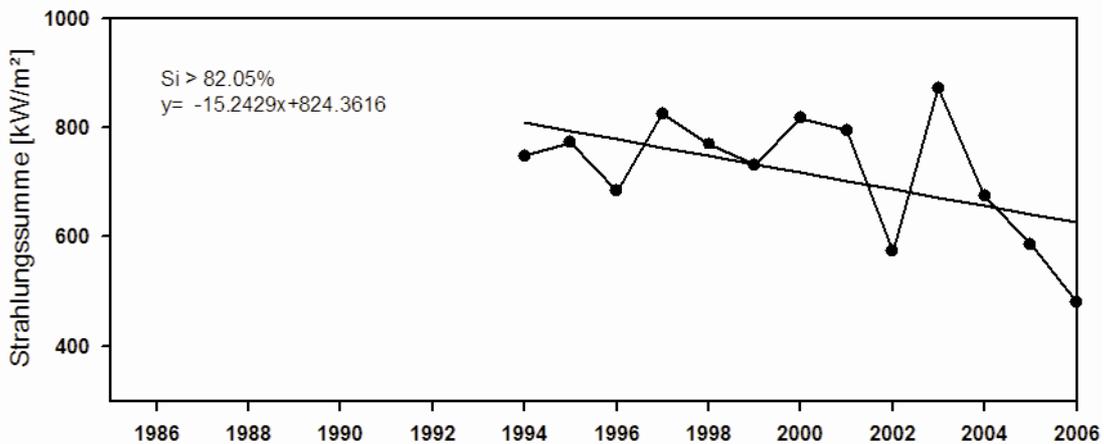


Abb. 10: Monatssummen der Globalstrahlung der 10-min Mittelwerte in kW/m<sup>2</sup> und linearer Trend im August der Station Waldstein/Pflanzgarten bzw. Waldstein/Weidenbrunnen von 1994 bis 2006. Si: Signifikanz nach Mann-Kendall.

Tab. 2: Signifikanzen (Si) und Gleichungen der Regressionsfunktionen (Rf) der 50%- und 95%-Perzentile der Ozonkonzentration im August der Zeiträume 1985 bis 1996 bzw. 1996 bis 2006 der Stationen Oberwarmensteinach/Wagenthal von 1985 bis 1993 und Waldstein/Pflanzgarten von 1995 bis 2006.

	<b>50%-Perz. 1985 - 1996</b>	<b>50%-Perz. 1996 - 2006</b>	<b>95%-Perz. 1985 - 1996</b>	<b>95%-Perz. 1996 - 2006</b>
<b>Si [%]</b>	99	100	97	99
<b>Rf</b>	$y=1.79x + 26.35$	$y=-1.57x + 46.69$	$y=2.37x + 50.32$	$y=-2.22x + 76.30$

Für die 50%-Perzentile ist ausnahmslos ein Anstieg der Monatswerte bis Mitte bzw. Ende der 1990er Jahre zu verzeichnen. Die Monate Januar, März, April und Dezember zeigen in den Folgejahren kaum Veränderungen. Für die Monate Februar, Juni, Juli und September bis November sind jeweils leicht rückgängige Werte festzuhalten. Der Monat Mai sticht ebenfalls wie bei den 10%-Perzentilen durch einen Einbruch in den Jahren 2001 bis 2003 und mit anschließend erneuten positiven Trend heraus. Besonders auffällig ist der stetige Rückgang der 50%-Perzentile von Ozon im August seit dem Jahr 1998 (Abb. 9, Tab. 2:).

Die Zeitreihe der Spitzenkonzentration auf Basis der 95%-Perzentile ist vergleichbar mit der der 50%-Perzentile. Alle Monate weisen in den letzten 20 Jahren eine positive Entwicklung bis Mitte bzw. Ende der 1990er Jahre auf. Danach zeigen sich ebenfalls rückläufige Werte. Im Vergleich zu allen anderen Monaten ist erneut wieder auf den Monat August hinzuweisen. Dieser zeichnet sich über die Jahre hinweg auch bei den erreichten Spitzenwerten durch ein stark rückläufige Niveau, einhergehend mit abnehmender Summe der Globalstrahlung aus (Abb. 9 Abb. 10, Tab. 2). Auch wenn die rückläufige Entwicklung der Strahlungssummen im August nicht als hochsignifikant einzustufen ist, ist der Zusammenhang zwischen dem Verlauf der Strahlung und der Ozonkonzentration offensichtlich und ein Hinweis auf veränderte Witterungsabläufe im Hochsommer in Oberfranken.

### *Stickoxide*

Bei Verwendung von Jahren, in denen mehr als 75 % der möglichen Datenpunkte vorhanden sind, ergibt sich für NO<sub>x</sub> eine Zeitreihe von 1989 bis 2007. Zusätzliche wurden Jahre mit offensichtlichen Ausreißerwerten ausgeschlossen. Ausgewertet wurden die 50%- und 95%-Perzentile zur Untersuchung der Dauer- und Spitzenbelastungen. 10%-Perzentile wurden in diesem Fall nicht herangezogen, da die Grundbelastung des Standortes auf Grund seiner ländlichen Lage fernab bedeutender Emissionsquellen äußerst gering ist. Da speziell NO am Waldstein generell in nur ist sehr geringer Konzentration vorkommt, werden die Stickoxide NO<sub>2</sub> und NO nicht einzeln, sondern in Form der Summendarstellung als NO<sub>x</sub> zusammengefasst. In Abb. 11 sind die Jahresmittel der 50%- und 95%-Perzentile der NO<sub>x</sub>-Konzentration zur Darstellung der Dauer- bzw. Spitzenbelastung abgebildet. Die 50%-Perzentile lagen im Verlauf der letzten 20 Jahre im Bereich von 2.5 ppb bis 6 ppb und weisen keinen Trend in der betrachteten Zeitspanne auf. Lediglich das Jahr 1990 lag mit einem Wert an die 9 ppb oberhalb dieser Konzentrationsspanne. Die 95%-Perzentile scheinen sich mit Werten Ende der 1980er Jahre zwischen 20 ppb und 25 ppb und mit Werten ab Ende der 1990er Jahre zwischen 10 ppb und 15 ppb rückläufig zu verhalten. Auf Grund der begrenzten und lückenhaften Datenlage ist diese Bewertung jedoch mit Bedacht zu gebrauchen.

Anhand des 95%-Perzentilverlauf auf Monatsbasis (Abb. 12) lässt sich gut die extreme Jahresschwankung mit hohen Werten in den Wintermonaten und niedrigen Werten in den Sommermonaten erkennen (komplementär zum Jahresgang des Ozons). Dabei bewegen sich die niedrigen Sommerwerte auf konstantem Niveau, wohingegen bei den Spitzenwerten im Winter evtl. eine rückläufige Entwicklung im Gange ist. Die Gründe für eine mögliche Abnahme der Spitzenwerte am Waldstein sind noch nicht abschließend geklärt. Bei Betrachtung der 95%-Perzentilreihen sortiert nach Monaten ist jedoch kein Monat mit besonders ausgeprägter Konzentrationsabnahme auszumachen. Die Wintermonate November bis Februar in den Jahren 1988, 1989 oder 1995 bis 1997 zeigen im Vergleich zum folgenden durchschnittlichen Niveau der Jahre ab 1997 deutlich erhöhte  $\text{NO}_x$ -Spitzenwerte, die ab 1988 nicht mehr auftreten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass am Standort Waldstein/Pflanzgarten die durch das LfU beschriebene Abnahme der  $\text{NO}_x$ -Werte durch verringerte  $\text{NO}$ -Konzentrationen nach Einführung des Drei-Wege-Katalysators (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2007b) kaum, bzw. nur bedingt wegen der Ferne von  $\text{NO}$ -Quellen aus dem Verkehr und hohe natürliche  $\text{NO}$ -Emissionen für die Spitzenwerte festgestellt werden kann.

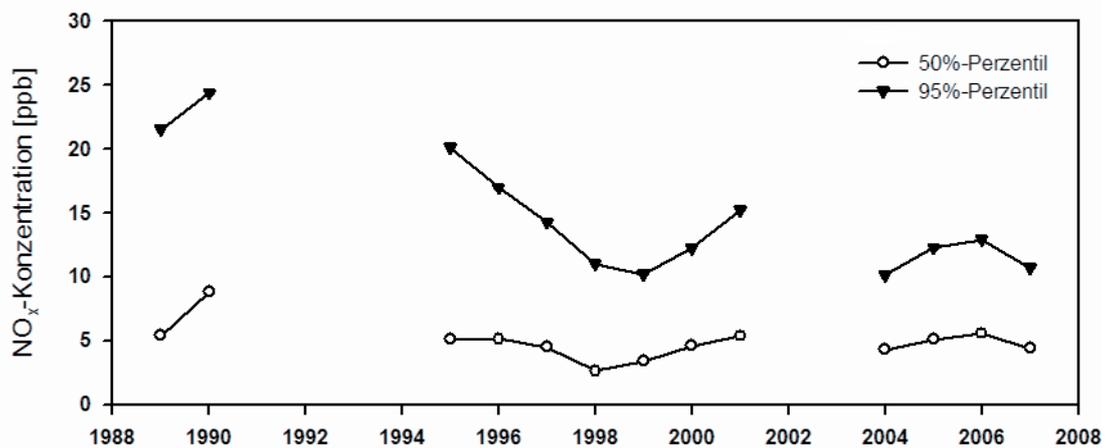


Abb. 11: 50%-und 95%-Jahresperzentile der  $\text{NO}_x$ -Konzentration der 30-min Mittelwerte in ppb der Stationen Oberwarmensteinach/Wagenthal von 1989 bis 1990 und Waldstein/Pflanzgarten von 1995 bis 2007.

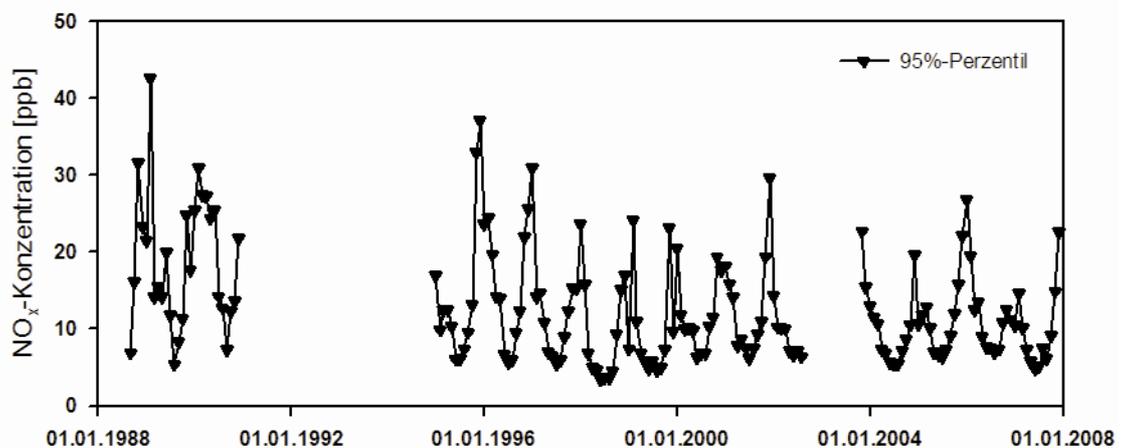


Abb. 12: 95%-Monatsperzentile der  $\text{NO}_x$ -Konzentration der 30-min Mittelwerte in ppb der Stationen Oberwarmensteinach/Wagenthal von September 1988 bis Dezember 1990 und Waldsteinpflanzgarten von Januar 1995 bis Dezember 2007.

### *Schwefeldioxid*

Zur Auswertung der SO<sub>2</sub>-Konzentrationsentwicklung auf Basis von Jahresperzentilen stehen nach bei Einbeziehung aller Jahre mit mehr als 75 % der möglichen Werte Daten zwischen 1985 und 2005 zur Verfügung. Aufgeführt sind die 50%- und 95%-Perzentile zur Darstellung von Dauer- und Extrembelastung in Abb. 13. Die Gleichungen der partiellen linearen Regressionsfunktionen und die zugehörigen Signifikanzen nach Mann-Kendall sind Tab. 3 zu entnehmen. Die 50%-Perzentile weisen lediglich einen minimalen jedoch signifikanten Rückgang der SO<sub>2</sub>-Dauerbelastung seit Mitte der 1980er Jahre auf Grund der ländlichen, emissionsfernen Lage des Standortes und der folglich ohnehin sehr geringen Grundbelastung auf. Bis Ende der 1980er Jahre lagen die 50%-Perzentilwerte bei ca. 2 ppb und sind bis zum Jahre 1998 auf unter 1 ppb gesunken. Bei den SO<sub>2</sub>-Spitzenwerten auf Basis der 95%-Perzentile zeigt sich ein hoch signifikanter Rückgang. Mitte der 1980er Jahr traten noch 95%-Perzentilwerte von bis zu 60 ppb bei Advektion mit SO<sub>2</sub> stark belasteten Luftmassen aus industriell geprägten Ursprungsgebieten im Osten auf. Auf Grund der im Zuge der Maßnahmen zur Luftreinhaltung eingeführten Rauchgasentschwefelung ist nach deren vollständiger Umsetzung auch in den tschechischen Kohlekraftwerken bis 1998 ein deutlicher Rückgang der 95%-Perzentile auf nur noch gut 5 ppb zu verzeichnen. Ab diesem Zeitpunkt blieb das Niveau bis ins Jahr 2004 auf außerordentlich niedrigen Jahresmittelwerten von knapp über 2 ppb. Das Jahr 2005 zeigte ein leicht erhöhtes mittleres 95%-Perzentil von 5.3 ppb.

Zur Verdeutlichung der Entwicklung der SO<sub>2</sub>-Konzentrationen seit dem Auftreten der letzten starken SO<sub>2</sub>-Episode im Jahre 1997 (vgl. Foken, 2003) sind in Abb. 14 die 95%-Perzentile in monatlicher Auflösung seit Januar 1997 aufgeführt. Von 1997 bis 2001 ist eine weitere Abnahme der mittleren monatlichen SO<sub>2</sub>-Spitzen auf Werte größtenteils kleiner 5 ppb zu verzeichnen. Vereinzelt Spitzenwerte im Winter erreichten ab dem Jahr 2000 nur noch knapp 10 ppb. In den Jahren 2001, 2002 und 2003 bewegten sich die SO<sub>2</sub>-Spitzen auf konstant niedrigem Niveau bei Werten kleiner 5 ppb. Seit Herbst 2004 zeigten sich erneut wieder geringfügig erhöhte Werte in erster Linie in den Wintermonaten. Im Januar 2006 wurde erstmals seit fast 10 Jahren wieder eine SO<sub>2</sub>-Spitze mit einem 95%-Perzentilwert der 30-Minutenmittel von über knapp 15 ppb gemessen.

Auch der Verlauf der SO<sub>2</sub>-Konzentrationen ist nicht saisonal unabhängig. Deshalb wurden auch im Falle des SO<sub>2</sub> die 50%- und 95%-Monatsperzentile zur Differenzierung zwischen Dauer- und Spitzenbelastung unabhängig voneinander hinsichtlich ihrer Entwicklung geprüft. Dabei ließ sich festzustellen, dass die stärksten Rückgänge der 50%-Perzentile in den Monaten Januar und Februar mit anfänglichen Höchstwerten in den 1980er und 1990er Jahren von teilweise über 10 ppb zu verzeichnen sind. Seit 1998 traten in diesen Monaten im Wesentlichen nur noch Konzentrationen bis 2.5 ppb auf. Auch in der Abfolge der Monate März ist noch eine deutliche Konzentrationsabnahme kennzeichnend. Jedoch sind in den Märzmonaten der 1980er und 1990er Jahre geringere 50%-Perzentile mit Höchstwerten um lediglich 5 ppb zu beobachten. Nach 1997 bewegten sie sich in ähnlichem Rahmen wie die Januar- und Februarwerte. In allen anderen Monaten spielt die Veränderung der 50%-Perzentile keine Rolle mehr. Im gesamten Zeitraum lagen diese in den meisten Fällen unterhalb von 5 ppb und zeigten wie bereits beschrieben eine, wenn überhaupt zu erkennende, Abnahme im Bereich von 2 ppb bis 3 ppb.

Zur Verdeutlichung der Unterschiede zwischen den Sommer- und Wintermonaten sind repräsentativ die 50%-Perzentile der Monate Februar und Juni in Abb. 15 dargestellt. Bei den Spitzenbelastungen auf Grundlage der 95%-Perzentile sind in der Abfolge der Monate Januar, Februar und März die größte Veränderung mit Werten der Größenordnung 40 ppb bis 60 ppb bis zum Jahre 1997 auszumachen. Auch vereinzelte Werte größer 80 ppb bzw. sogar größer 120 ppb wurden gerade Ende der 1980er Jahre beobachtet. Auch in den Monaten April, Mai und September bis Dezember traten bis 1997 deutlich erhöhte 95%-Perzentile auf. Extreme Spitzenwerte über 80 ppb kamen in diesen Monaten jedoch nicht vor. Im Wesentlichen wurden 95%-Perzentile bis zu 60 ppb gegen Ende der 1980er Jahre beobachtet. Nach 1990 kommen nur noch Höchstwerte bis um 40 ppb mit wenigen höheren Ausnahmewerten im Dezember vor. Nach 1997 werden im Wesentlichen nur noch mittlere Höchstwerte kleiner 10 ppb beobachtet. Die einzige Ausnahme bildet der Januar 2006 mit seiner erstmals seit 1997 wieder aufgetretenen SO<sub>2</sub>-Spitze mit knapp über 15 ppb. Das Auftreten von SO<sub>2</sub>-Spitzen in den Sommermonaten Juni, Juli und August spielt kaum eine Rolle. Es kommen nur wenige Überschreitungen von 20 ppb bis 1993 vor. Der höchste Wert erreicht dabei knapp 35 ppb. Nach 1993 treten nur noch Konzentrationen kleiner 10 ppb auf. Abschließend zeigt Abb. 16 die Unterschiede zwischen Sommer-, Winter- und den Übergangsmonaten repräsentativ anhand der Zeitreihen der 95%-Perzentile der Monate Februar, August und Oktober.

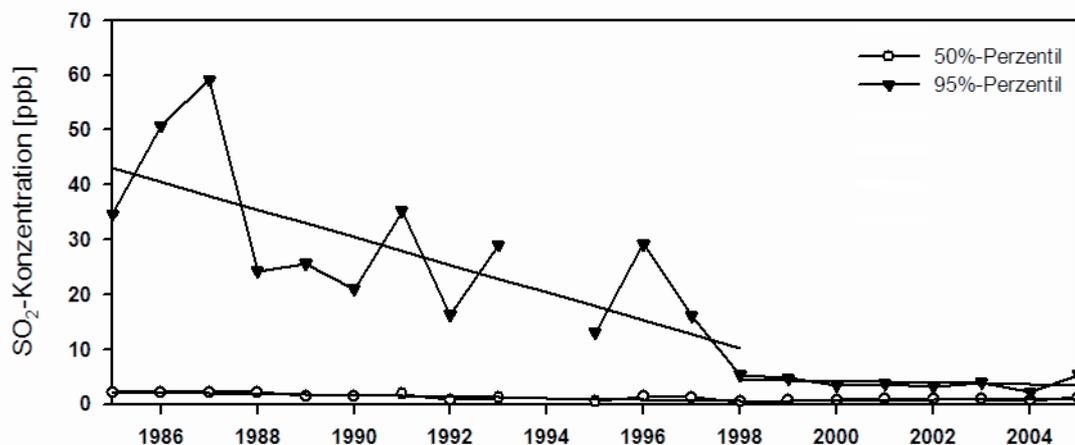


Abb. 13: 50%- und 95%-Jahresperzentile der SO<sub>2</sub>-Konzentration 30-min Mittelwerte in ppb und partielle lineare Trends der Stationen Oberwarmensteinach/Wagenthal von 1985 bis 1993 und Waldstein/Pflanzgarten von 1995 bis 2005.

Tab. 3: Signifikanzen (Si) und Gleichungen der Regressionsfunktionen (Rf) der 50%- und 95%-Jahresperzentile der SO<sub>2</sub>-Konzentration der Zeiträume 1985 bis 1998 bzw. 1998 bis 2005 der Stationen Oberwarmensteinach/Wagenthal von 1985 bis 1993 und Waldstein/Pflanzgarten von 1995 bis 2005.

	<b>50%-Perz. 1985 - 1998</b>	<b>50%-Perz. 1998 - 2005</b>	<b>95%-Perz. 1985 - 1998</b>	<b>95%-Perz. 1998 - 2005</b>
<b>Si [%]</b>	100	96	99	62
<b>Rf</b>	$y = -0.13x + 2.42$	$y = 0.08x + 0.37$	$y = -2.52x + 48.11$	$y = -0.13x + 4.54$

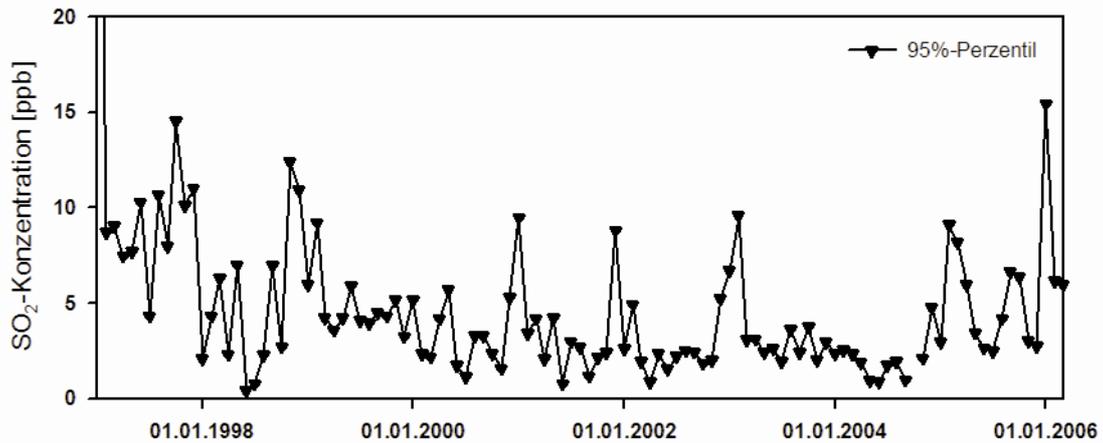


Abb. 14: 95%-Monatsperzentile der SO<sub>2</sub>-Konzentration der 30-min Mittelwerte in ppb der Station Waldstein/ Pflanzgarten von Januar 1997 bis März 2006 (95%-Perzentilwert im Januar 1997: 42.74 ppb).

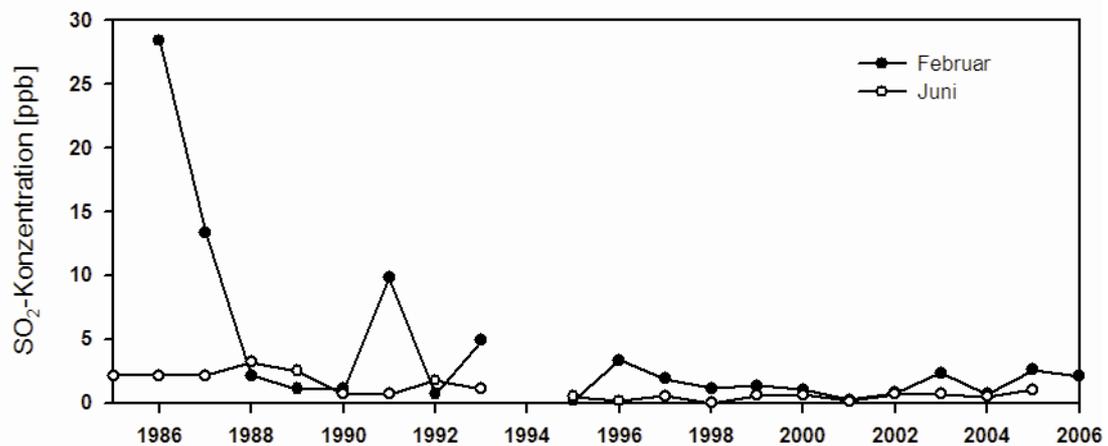


Abb. 15: 50%-Monatsperzentile der SO<sub>2</sub>-Konzentration der 30-min Mittelwerte der Monate Februar und Juni der Stationen Oberwarmensteinach/Wagenthal von 1985 bzw. 1986 bis 1993 und Waldstein/Pflanzgarten von 1995 bis 2005 bzw. 2006.

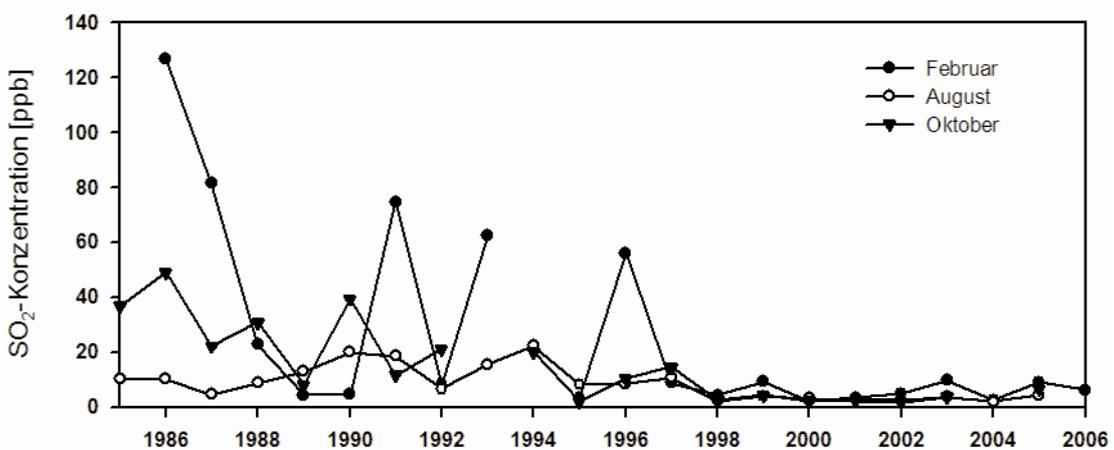


Abb. 16: 95%-Monatsperzentile der SO<sub>2</sub>-Konzentration der 30-min Mittelwerte der Monate Februar, August und Oktober der Stationen Oberwarmensteinach/Wagenthal von 1985 bzw. 1986 bis 1993 und Waldstein/Pflanzgarten von 1994 bzw. 1995 bis 2005 bzw. 2006.

### **3.2 Nasse Deposition**

Zur gesonderten Erfassung der nassen Deposition ist ein Wet-only-Sammler erforderlich, bei dem der Sammeltrichter während der niederschlagsfreien Zeit abgedeckt ist. Mit Hilfe eines Niederschlagsmelders wird der Deckel des Sammelgefäßes zu Beginn eines Niederschlagsereignisses geöffnet. Der Niederschlag wird im Inneren des Gerätes in einem Gefäß gesammelt und der Sammeltrichter nach Abklingen des Niederschlags und Abdunsten der Sensoroberfläche selbständig wieder geschlossen. Am Messcontainer Pflanzgarten des BayCEER wurde der automatische Niederschlagssammler NSA 181/KHS der Firma Eigenbrodt GmbH & Co. KG verwendet. Er besitzt eine Auffangfläche von 500 cm<sup>2</sup> (Eigenbrodt, 2007).

Während der Intensivmessperioden EGER IOP 1 und EGER IOP 2 (Serafimovich et al, 2008a, b) wurden Niederschlagsereignisse von einem bis mehreren Tagen entsprechend der synoptischen Situation gesammelt und auf deren Inhaltsstoffe untersucht. Außerhalb dieser Messzeiträume wurden in Abstimmung mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt Proben analysiert, die Niederschlag aus einem 4-wöchigen Zeitraum enthielten. Zur Überprüfung der Niederschlagsmengen wurden die konventionellen Niederschlagsmessungen herangezogen (Döbele, 2008).

Die Inhaltsstoffe der Niederschlagsproben wurden durch das Bayerische Landesamt für Umwelt in Augsburg ermittelt. Mit ICP MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) erfolgt die Analyse von Aluminium (Al), Arsen (As), Bismut (Bi), Calcium (Ca), Cadmium (Cd), Kobalt (Co), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Eisen (Fe), Kalium (K), Magnesium (Mg), Mangan (Mn), Molybdän (Mo), Natrium (Na), Nickel (Ni), Blei (Pb), Antimon (Sb), Titan (Ti), Vanadium (V) und Zink (Zn).

Die Analyse der im Niederschlag enthaltenen Ionen, wie Chlorid, Nitrit, Nitrat, Phosphat, Sulfat, Natrium, Ammonium, Kalium, Magnesium, Calcium erfolgt mit der Ionenchromatographie.

Die Ergebnisse der Analysen werden als Konzentration in mg L<sup>-1</sup> angegeben, die im Folgenden in Depositionsraten in mg m<sup>-2</sup> umgerechnet werden.

Die Daten vom 01/09/2007 bis 03/09/2008 sind in 13 Proben eingeteilt, deren jeweiliger Sammelzeitraum circa vier Wochen umfasst. Sammelzeitraum, Probenmenge in ml und mm und der mit dem konventionellen Niederschlagsmesser (Kippwaage) gemessene Niederschlag in mm können Tab. 4 entnommen werden.

Tab. 4: Vier Wochen Perioden Sammelzeitraum der Proben, Probenmenge in ml und mm und Niederschlag in mm.

Probennr.	Beginn	Ende	Probenmenge		Niederschlag
			in ml	in mm	in mm
1	01/09/2007	29/09/2007	7565	151	143
2	01/10/2007	29/10/2007	550	11	17
3	29/10/2007	29/11/2007	4215	84	106
4	29/11/2007	29/12/2007	3628	73	97
5	29/12/2007	23/01/2008	2672	53	77
6	24/01/2008	20/02/2008	1480	30	42
7	21/02/2008	20/03/2008	5765	115	101
8	21/03/2008	16/04/2008	4675	94	93
9	17/04/2008	13/05/2008	1490	30	37
10	14/05/2008	11/06/2008	1500	30	40
11	12/06/2008	07/07/2008	3705	74	80
12	09/07/2008	06/08/2008	3565	71	66
13	06/08/2008	03/09/2008	4460	89	98

Die Ergebnisse der ICP MS sind in Tab. 5 bzw. Abb. 17 und die der Ionenchromatographie in Tab. 6 bzw. Abb. 18 aufgelistet und gezeigt.

In der ersten Probe sind einige Schwermetalle sehr hoch konzentriert. Dies kann auch ein Artefakt sein, da das Gerät unmittelbar vorher in betrieb genommen worden ist. In den ersten 8 Proben (01/09/2007 – 16/04/2008) ist Natrium das Element mit den größten Konzentrationen, in den Proben 9 bis 13 (17/04/2008 – 03/09/2008) ist es Calcium, wobei die Werte des jeweils anderen Elements und von Kalium und Magnesium um ein Vielfaches übertroffen werden.

Bei der Ionenchromatographie liegen Nitrit und Phosphat in allen 13 Proben unterhalb der jeweiligen Nachweisgrenze. Kalium liegt nur in Probe 10 über der Nachweisgrenze. Bei den Ionen ist auffällig, dass die Konzentration und Depositionsrate von Chlorid und Natrium exakt dem gleichen Verlauf folgen, wobei jedoch der Eintrag von Chlorid überwiegt. Wie auch bei den Ergebnissen des IPC MS ist Natrium in den Proben 1 bis 8 häufig, in den Proben 9 bis 13 jedoch Calcium. Dies deutet auf einen stärkeren maritimen Einfluss im Winterhalbjahr hin. Die Ergebnisse sind im Anhang nochmals graphisch dargestellt.

Tab. 5: Ergebnisse vierwöchiger Messperioden der ICP MS in  $\mu\text{g m}^{-2}$  von September 2007 bis August 2008.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Al	1341	105	426	175	132	107	479	1454	286	764	1928	204	114
As	30.13	1.97	9.15	4.83	5.17	2.08	7.32	10.90	8.26	7.46	6.45	3.11	6.37
Bi	3.87	0.16	0.49	0.54	0.78	1.55	1.34	1.65	0.46	0.50	1.15	0.36	0.31
Ca	25408	1423	5098	4536	3820	2713	11078	11306	7787	7605	32493	13094	12435
Cd	16.00	0.81	3.84	2.87	1.34	0.71	2.03	3.75	1.28	1.47	1.76	1.40	1.33
Co	13.67	1.47	3.44	3.31	0.952	1.92	2.02	3.67	1.08	1.57	11.41	4.84	51.72
Cr	11.54	<5.50	10.99	<5.08	<3.74	2.41	<8.07	9.94	3.08	5.81	-	<4.99	<6.24
Cu	944	64	143	64	42	30	76.	217	40	63	138	94	86
Fe	924	119	542	266	262	118	519	1721	365	979	1207	434	211
K	8795	737	4932	8100	3969	2468	9495	12997	1712	4134	3951	5339	5900
Mg	8163	1149	5729	4305	3225	1313	6233	3108	1290	1771	4603	3140	2558
Mn	296	26	78	68	64	50	140	135	68	169	232	127	121
Mo	9.32	1.14	7.40	3.38	3.37	3.17	6.46	6.40	2.28	<0.75	5.07	4.78	4.74
Na	35690	3796	41075	29508	24306	10308	41748	24382	2664	1237	6790	9507	9676
Ni	86.9	10.6	23.3	21.5	14.0	6.1	26.2	38.5	12.7	14.7	29.8	29.6	28.5
Pb	553.2	39.9	156.2	55.0	39.9	18.9	60.4	286.1	36.8	42.7	82.2	28.4	20.1
Sb	20.84	2.75	14.01	5.92	6.15	1.46	11.20	8.37	4.04	4.55	4.93	3.78	5.10
Ti	16.91	<1.10	7.22	4.81	3.94	15.36	7.59	27.94	7.19	36.94	41.70	6.20	6.10
V	25.86	3.388	18.41	9.47	13.3	7.60	18.05	16.74	5.43	8.25	16.07	11.13	10.55
Zn	2157	187	889	364	231	209	525	1242	175	183	778	292	370

Tab. 6: Ergebnisse vierwöchiger Messperioden der Ionenchromatographie in  $\text{mg m}^{-2}$  von September 2007 bis August 2008.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Chlorid	-	7.6	70.0	35.6	33.7	8.9	74.0	29.0	<6.0	<6.0	-	17.1	<17.8
Nitrit	-	<0.60	<4.22	<3.63	<2.67	<1.48	<5.77	<4.68	<1.49	<1.50	-	<3.57	<4.46
Nitrat	297	33	162	93	94	44	206	241	72	90	142	129	112
Phosphat	-	<2.2	<16.9	<14.5	<10.7	<5.9	<23.1	<18.7	<6.0	<6.0	-	<14.3	<17.8
Sulfat	199.5	19.0	103.7	49.3	57.7	22.5	98.0	96.3	38.7	54.9	69.5	62.0	51.7
Natrium	-	5.0	45.5	26.8	25.1	6.8	47.3	23.4	<3.0	<3.0	-	10.0	8.9
Ammonium	107.0	14.4	52.3	23.2	28.3	12.7	84.2	95.4	35.5	54.0	57.0	49.2	44.6
Kalium	-	<2.2	<16.9	<14.5	<10.7	<5.9	<23.1	<18.7	<6.0	6.0	-	<14.3	<17.8
Magnesium	-	1.43	5.90	4.35	3.74	<1.48	8.07	4.68	1.49	1.80	-	3.57	<4.46
Calcium	31.8	2.5	9.3	10.9	5.3	3.3	13.8	10.3	8.0	7.2	29.3	15.7	13.4

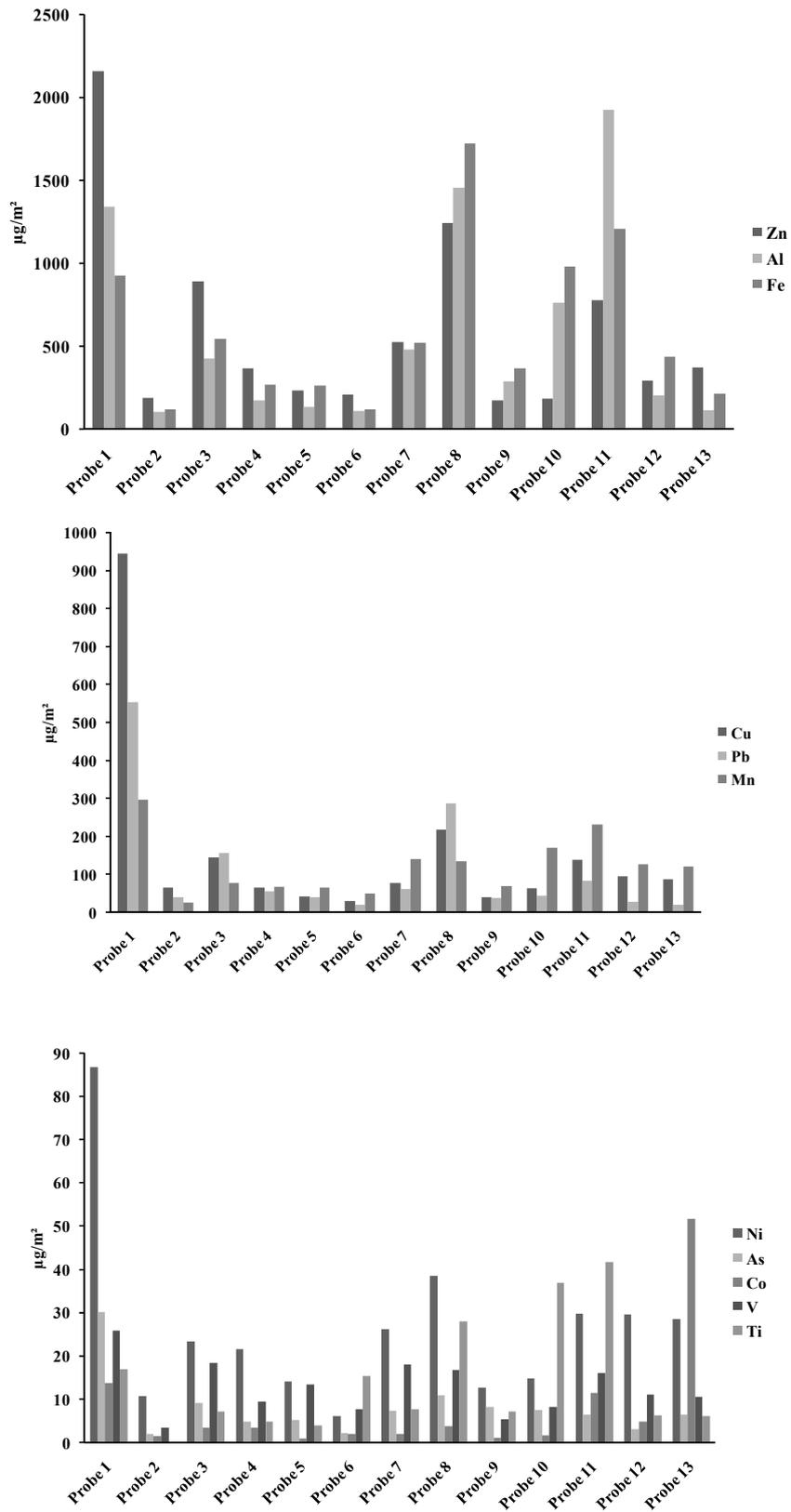


Abb. 17a: Ergebnisse vierwöchiger Messperioden der ICP MS in  $\mu\text{g m}^{-2}$  von September 2007 bis August 2008.

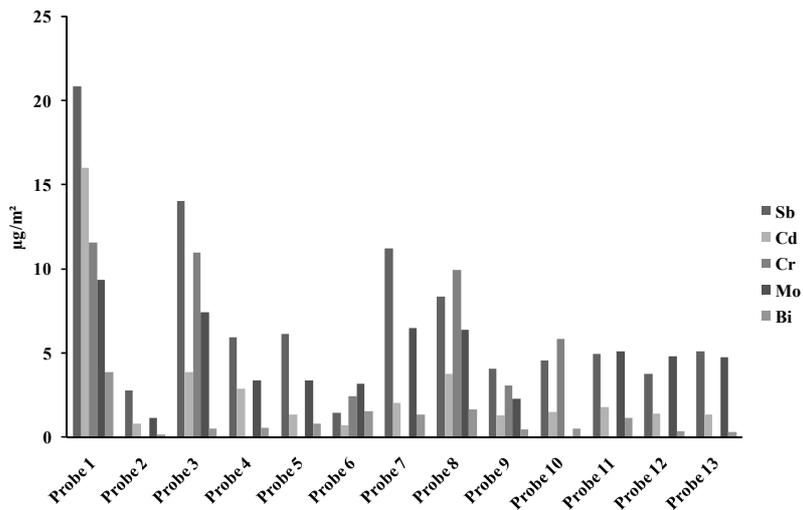


Abb. 17b: Ergebnisse vierwöchiger Messperioden der ICP MS in  $\mu\text{g m}^{-2}$  von September 2007 bis August 2008.

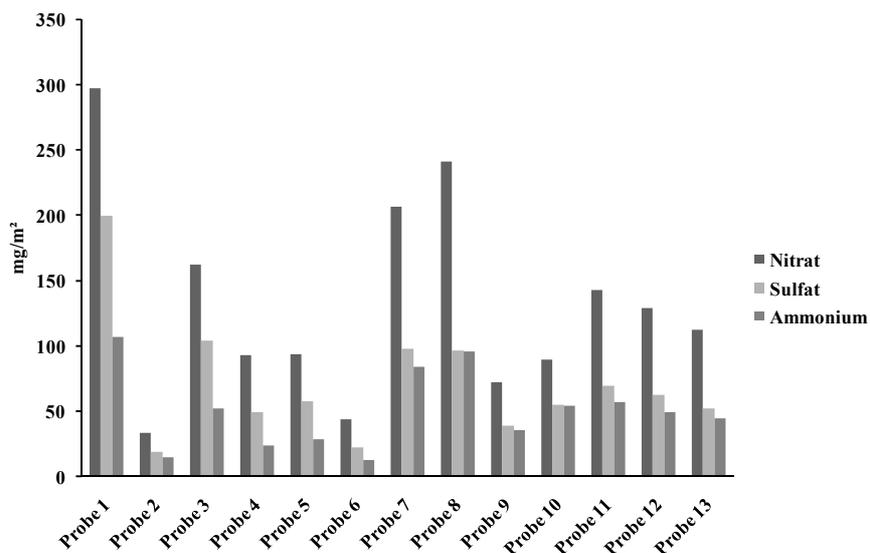
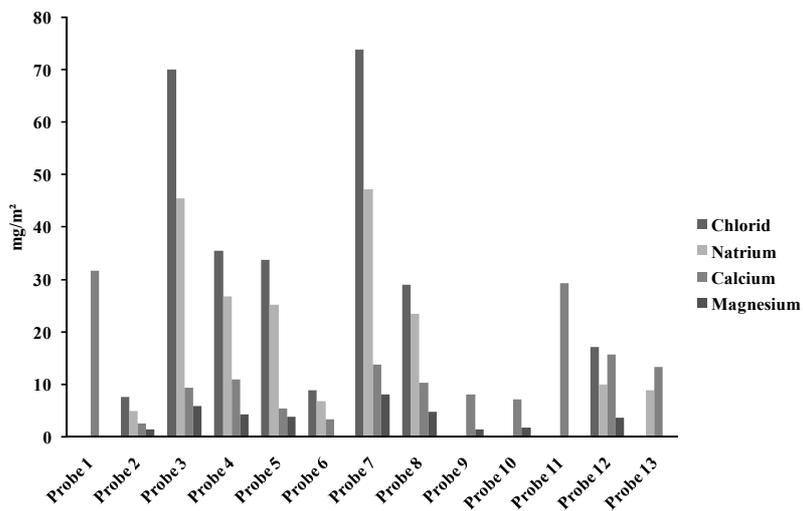


Abb. 18: Ergebnisse vierwöchiger Messperioden der Ionenchromatographie in  $\text{mg m}^{-2}$  von September 2007 bis August 2008.

## 4 Schlussfolgerungen

Dank der Unterstützung der Oberfrankenstiftung ist es gelungen, die meteorologischen und lufthygienischen Routinemessungen zu stabilisieren und vorhandene Forschungskapazitäten für die Bearbeitung der Daten einzusetzen. Wesentliche Ausgaben war der Kauf eines Ultraschallanemometers für die FLUXNET-Station DE-Bay und die Verlegung eines Stromanschlusses für die Station Voitsumra. Mit den bislang abgerufenen Mitteln in Höhe von 22.5 k€ liegen die Ausgaben innerhalb der Planung.

Die Weiterführung der bis zum Jahr 2000 bearbeiteten lufthygienischen Trends zeigt allgemein eine Stabilisierung der Luftschadstoffe auf hohem Niveau. Geringe Rückgänge der Ozonkonzentrationen in einzelnen Monaten sind eindeutig auf Rückgänge der Globalstrahlung zurückzuführen. Dies kann durchaus als Ergebnis des Klimawandels gewertet werden, denn mit der Zunahme der Temperaturen sind auch höhere Wasserdampfkonzentrationen und damit eine stärkere Bewölkung zu erwarten. Beim Schwefeldioxid treten wieder einzelne winterliche Episoden mit leicht erhöhten Konzentrationen auf.

Die Messungen der nassen Deposition befinden sich noch in der Anfangsphase und erlauben noch keine weitreichende Bewertung.

Für 2009 ist die Inbetriebnahme der Verdunstungs- und Kohlendioxidaustauschmessungen an der Station Voitsumra vorgesehen sowie die Bearbeitung der seit 1996 durchgeführten Verdunstungs- und Kohlendioxidaustauschmessungen an der FLUXNET-Station DE-Bay am Waldstein/Weidenbrunnen. Des Weiteren soll durch den Austausch von Datenübertragungstechnik die Anfälligkeit gegenüber Blitzschlag reduziert werden.

## 5 Literatur

- Baldocchi, D, Falge, E, Gu, H., L, Olson, R, Hollinger, D, Running, S, Anthoni, P, Bernhofer, C, Davis, K, Evans, R, Fuentes, J, Goldstein, A, Katul, G, Law, B, Lee, XH, Malhi, Y, Meyers, T, Munger, W, Oechel, W, PawU, KT, Pilegaard, K, Schmid, HP, Valentini, R, Verma, S, Vesala, T (2001): FLUXNET: A new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem-scale carbon dioxide, water vapor, and energy flux densities, *Bull Amer Meteorol Soc*, 82, 2415-2434.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2007a): Lufthygienischer Jahresbericht 2006, 145 S.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2007b): Umweltbericht Bayern 2007, 170 S.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2008a): Das Lufthygienische Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB), 6 S.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2008b): Lufthygienisches Landesüberwachungssystem (LÜB). Dokumentation der Luftmessstationen. <http://inters.bayern.de/luebdoc/html/luebdocu.php> (Stand: 16.12.2008).
- Beierkuhnlein, C., Foken, T. (2008): Klima Wandel in Bayern. Auswirkungen und Anpassungsmöglichkeiten. *Bayreuther Forum Ökologie*, 113, 501 S.
- Döbele, T. (2008): Nassdeposition, Waldstein Messcontainer, Pflanzgarten, September 2007 bis September 2008, Abschlussbericht Forschungspraktikum, Univ. Bayreuth, Abt. Mikrometeorol, 76 S.
- Eiden, R., Peters, K., Trautner, F., Hertrich, R., Gietl, G. (1989): Air pollution and deposition, in Schulze, E.-D., Lange, O.L., Oren, R. (Editors): *Forest decline and air pollution*. Ecological Studies 77, Springer Berlin, Heidelberg, 57-103.
- Eigenbrodt. (2007): Betriebs- und Wartungsanleitung Automatischer Niederschlagssammler NSA 181/KHS. Eigenbrodt GmbH & Co. KG.
- Finlayson-Pitts, B. J., Pitts, J. M. Jr. (2000): *Chemistry of the upper and lower atmosphere*, Academic Press, San Diego, 969 S.
- Foken, T (Editor), (2003): Lufthygienisch-Bioklimatische Kennzeichnung des oberen Egertales, *Bayreuther Forum Ökologie*, 100, 69+XLVIII S.
- Foken, T, Dlugi, R, Kramm, G (1995): On the determination of dry deposition and emission of gaseous compounds at the biosphere-atmosphere interface, *Meteorol Z*, 4, 91-118.
- Helbig, A, Baumüller, J, Kerschgens, MJ (Editors) (1999): *Stadtklima und Luftreinhaltung*. Springer, Berlin, Heidelberg, 467 S.
- Ihle, P (Editor), (2001) *Atmosphärische Deposition in der Bundesrepublik Deutschland*. Schriftenreihe des Instituts für Energetik und Umwelt. B. G. Teubner, Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden, 240 S.
- Klemm, O. (2001): Local and Regional Ozone, a Student Study Project, *Journal of Chemical Education*, 78, No. 12, 1641-1646.
- Klemm, O., Lange, H. (1999): Trends of Air Pollution in the Fichtelgebirge Mountains, Bavaria, *Environmental Science & Pollution Research*, 6, 193-199.
- Klemm, O., Mangold, A. (2001): Ozone deposition at a forest site in NE Bavaria, *Water, Air, and Soil Pollution*, Focus 1, 223-232.
- Lüers, J., Klemm, O. (2004): Klimatologie und Deposition von Luftschadstoffen im Fichtlgebirge; in BITÖK-Abschlussbericht 2001-2004: Grundlagen zur nachhaltigen Entwicklung von Ökosystemen bei veränderter Umwelt, Projekt 0339476 D, 21-58.
- Österle, H., Glauer, J., Denhard, M. (1999): Struktur, Aufbau und statistische Programmbibliothek der meteorologischen Datenbank am Potsdamer-Institut für Klimaforschung. PIK-Report Nr. 49, Potsdam, 109 S.
- Rebmann, C, Anthoni, P, Falge, E, Göckede, M, Mangold, A, Subke, J-A, Thomas, C, Wichura, B, Schulze, ED, Tenhunen, J, Foken, T (2004): Carbon budget of a spruce forest ecosystem, in E

- Matzner (Editor): Biogeochemistry of Forested Catchments in a Changing Environment - a German case study, Ecological Studies, Springer, Berlin, Heidelberg, 143-160.
- Schönwiese, C.-D. (2000): Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. 3.Auflage, Gebrüder Bornträger, Berlin, Stuttgart, 298 S.
- Seinfeld, J. H., Pandis, S. N. (1998): Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change, Wiley, New York, 1326 S.
- Serafimovich, A, et al. (2008a): ExchanGE processes in mountainous Regions (EGER), Documentation of the Intensive Observation Period (IOP1), September, 6<sup>th</sup> to October, 7<sup>th</sup> 2007. Arbeitsergebn, Univ. Bayreuth, Abt. Mikrometeorol, 36, ISSN 1614-8916, 145 S.
- Serafimovich, A, et al. (2008b) ExchanGE processes in mountainous Regions (EGER), Documentation of the Intensive Observation Period (IOP2), June, 1<sup>st</sup> to July, 15<sup>th</sup> 2008. Arbeitsergebn, Univ. Bayreuth, Abt. Mikrometeorol, 37, ISSN 1614-8916, 178 S.
- Staudt, K, Foken, T (2007): Documentation of reference data for the experimental areas of the Bayreuth Centre for Ecology and Environmental Research (BayCEER) at the Waldstein site. Arbeitsergebn, Univ. Bayreuth, Abt. Mikrometeorol, 35, ISSN 1614-8916, 35 S.
- Streck, G. (2003): Einführung in die Statistik für Geoökologen und andere Umweltnaturwissenschaftler, Books on Demand GmbH, Norstedt, 178 S.
- Stroh, K. (2004a): Bodennahes Ozon. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, S. 1-8.
- Stroh, K. (2004b): Umweltmedium Luft. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, S. 1-12.
- Tekan AG (1989): Manual CLD 700 AL, Chemilumineszenz NO/NO<sub>x</sub>-Analysator.
- Thermo Environmental Instruments Inc., (1996): Manual Model 43 C, Trace Level Pulsed Fluorescence SO<sub>2</sub> Analyzer, Franklin.
- VDI (1999): Messung partikelförmiger Niederschläge, Bestimmung des Staubbiederschlags mit Auffanggefäßen aus Glas (Bergerhoff-Verfahren) oder Kunststoff. VDI-Richtlinie 2119, Blatt 2.
- Wrzesinsky, T, Scheer, C, Klemm, O (2004): Fog deposition and its role in biogeochemical cycles of nutrients and pollutants, in E Matzner (Editor): Biogeochemistry of Forested Catchments in a Changing Environment, a German case study, Ecological Studies, Springer, Berlin, Heidelberg, 191-202.

Bisher erschienene Bände der Reihe „Arbeitsergebnisse, Universität Bayreuth, Abt. Mikrometeorologie“

Nr	Author(s)	Title	Year
01	Foken	Der Bayreuther Turbulenzknecht	01/1999
02	Foken	Methode zur Bestimmung der trockenen Deposition von Bor	02/1999
03	Liu	Error analysis of the modified Bowen ratio method	02/1999
04	Foken et al.	Nachfrostgefährdung des ÖBG	03/1999
05	Hierteis	Dokumentation des Experimentes Dlouhá Louka	03/1999
06	Mangold	Dokumentation des Experimentes am Standort Weidenbrunnen, Juli/August 1998	07/1999
07	Heinz et al.	Strukturanalyse der atmosphärischen Turbulenz mittels Wavelet-Verfahren zur Bestimmung von Austauschprozessen über dem antarktischen Schelfeis	07/1999
08	Foken	Comparison of the sonic anemometer Young Model 81000 during VOITEX-99	10/1999
09	Foken et al.	Lufthygienisch-bioklimatische Kennzeichnung des oberen Egertales, Zwischenbericht 1999	11/1999
10	Sodemann	Stationsdatenbank zum BStMLU-Projekt Lufthygienisch-bioklimatische Kennzeichnung des oberen Egertales	03/2000
11	Neuner	Dokumentation zur Erstellung der meteorologischen Eingabedaten für das Modell BEKLIMA	10/2000
12	Foken et al.	Dokumentation des Experimentes VOITEX-99	10/2000
13	Bruckmeier et al.	Documentation of the experiment EBEX-2000, July 20 to August 24, 2000	01/2001
14	Foken et al.	Lufthygienisch-bioklimatische Kennzeichnung des oberen Egertales	02/2001
15	Göckede	Die Verwendung des Footprint-Modells nach Schmid (1997) zur stabilitätsabhängigen Bestimmung der Rauigkeitslänge	03/2001
16	Neuner	Berechnung der Evaporation im ÖBG (Universität Bayreuth) mit dem SVAT-Modell BEKLIMA	05/2001
17	Sodemann	Dokumentation der Software zur Bearbeitung der FINTUREX-Daten	08/2002
18	Göckede et al.	Dokumentation des Experiments STINHO-1	08/2002
19	Göckede et al.	Dokumentation des Experiments STINHO-2	12/2002
20	Göckede et al.	Characterisation of a complex measuring site for flux measurements	12/2002
21	Liebenthal	Strahlungsmessgerätevergleich während des Experiments STINHO-1	01/2003
22	Mauder et al.	Dokumentation des Experiments EVA_GRIPS	03/2003
23	Mauder et al.	Dokumentation des Experimentes LITFASS-2003, Dokumentation des Experimentes GRASATEM-2003	12/2003
24	Thomas et al.	Documentation of the WALDATEM-2003 Experiment	05/2004
25	Göckede et al.	Qualitätsbegutachtung komplexer mikrometeorologischer Messstationen im Rahmen des VERTIKO-Projekts	11/2004
26	Mauder & Foken	Documentation and instruction manual of the eddy covariance software package TK2	12/2004
27	Herold et al.	The OP-2 open path infrared gas analyser for CO <sub>2</sub> and H <sub>2</sub> O	01/2005
28	Ruppert	ATEM software for atmospheric turbulent exchange measurements using eddy covariance and relaxed eddy accumulation systems and Bayreuth whole-air REA system setup	04/2005
29	Foken (Ed.)	Klimatologische und mikrometeorologische Forschungen im Rahmen des Bayreuther Institutes für Terrestrische Ökosystemforschung (BITÖK), 1989-2004	06/2005
30	Siebeke & Serafimovich	Ultraschallanemometer-Überprüfung im Windkanal der TU Dresden 2007	04/2007

Nr	Author(s)	Title	Year
31	Lüers & Bareiss	The Arctic Turbulence Experiment 2006 PART 1: Technical documentation of the ARCTEX 2006 campaign, May, 2nd to May, 20th 2006	08/2007
32	Lüers & Bareiss	The Arctic Turbulence Experiment 2006 PART 2: Near surface measurements during the ARCTEX 2006 campaign, May, 2nd to May, 20th 2006	08/2007
33	Bareiss & Lüers	The Arctic Turbulence Experiment 2006 PART 3: Aerological measurements during the ARCTEX 2006 campaign, May, 2nd to May, 20th 2006	08/2007
34	Metzger & Foken et al.	COPS experiment, Convective and orographically induced precipitation study, 01 June 2007 – 31 August 2007, Documentation	09/2007
35	Staudt & Foken	Documentation of reference data for the experimental areas of the Bayreuth Centre for Ecology and Environmental Research (BayCEER) at the Waldstein site	11/2007
36	Serafimovich et al.	ExchanGE processes in mountainous Regions (EGER) - Documentation of the Intensive Observation Period (IOP1), September, 6th to October, 7th 2007	01/2008
37	Serafimovich et al.	ExchanGE processes in mountainous Regions (EGER) - Documentation of the Intensive Observation Period (IOP2), June, 1st to July, 15th 2008	10/2008
38	Siebicke	Footprint synthesis for the FLUXNET site Waldstein/Weidenbrunnen (DE-Bay) during the EGER experiment.	12/2008
39	Lüers & Foken	Jahresbericht 2008 zum Förderprojekt 01879 – Untersuchung der Veränderung der Konzentration von Luftbeimengungen und Treibhausgasen im hohen Fichtelgebirge, 2007 – 2013	01/2009