

Aus dem Institut für Agrarökologie

Stefan Schaaf
Karsten Mohr

Ulrich Dämmgen
Henning Meesenburg

Witterung, Spurengas- und Schwebstaub-Inhaltsstoff-Konzentrationen in der Umgebungsluft und in den Beständen des ANSWER-Projekts

Veröffentlicht in: Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 279, S. 57-68

Braunschweig

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)

2005

6 Witterung, Spurengas- und Schwebstaub-Inhaltsstoff-Konzentrationen in der Umgebungsluft und in den Beständen des ANSWER-Projekts

S. Schaaf¹, U. Dämmgen¹, K. Mohr², H. Meesenburg³

6.1 Witterung im Weser-Ems-Gebiet

Monatliche Mittel der am Standort gemessenen meteorologischen Größen lassen eine Bewertung im Hinblick auf die zeitliche und örtliche Repräsentativität der Konzentrationsmessungen und Flussbestimmungen zu. Im folgenden sollen daher die Klimaparameter Lufttemperatur und Niederschlag, wie sie innerhalb des ANSWER-Projekts⁴ am Standort Augustendorf im Untersuchungszeitraum aufgezeichnet wurden, beschrieben und mit langjährigen Mitteln der Station Friesoythe-Edewechedamm (Quelle: Deutscher Wetterdienst DWD), stellvertretend für das Klima des Weser-Ems-Gebietes, verglichen werden.

Die **Abbildungen 6.1 und 6.2** zeigen den Verlauf der Lufttemperatur und Niederschlagsmenge sowie deren langjährige Mittel. Hieraus folgt, dass die beiden Versuchsjahre als untypisch im Hinblick auf die Lufttemperatur und Niederschlagsstätigkeit, 2002 als warm-feuchtes Jahr, 2003 als warm-trockenes Jahr zu charakterisieren sind.

Für das gesamte Untersuchungsgebiet lässt sich das Witterungsgeschehen wie folgt charakterisieren: Der Temperaturverlauf in den Jahren 2002 und 2003 zeichnet sich durch sehr warme Sommer und einen überdurchschnittlich warmen Winter 2001/2002 aus (**Abbildung 6.1**). Lediglich die Monate Oktober und November 2002 und Februar und Oktober 2003 waren kälter als das langjährige Mittel. Mit 10,4°C und 10,0°C lagen die Jahresmitteltemperaturen um 1,7 bis 2,1 K über dem langjährigen Mittel.

Das Versuchsjahr 2002 wird durch seine große Niederschlagsstätigkeit mit hohen Regenfällen in den Sommermonaten Juni und August und im Oktober bestimmt (**Abbildung 6.2**). Im Vergleich zum langjährigen Mittel wurden 2002 etwa 100 mm mehr Niederschlag gemessen. Dagegen war das Jahr 2003 im gesamten Bundesgebiet durch anhaltende Trockenheit gekennzeichnet, was sich auch an den Versuchsstandorten, hier jedoch in stark abgeschwächter Form, zeigte.

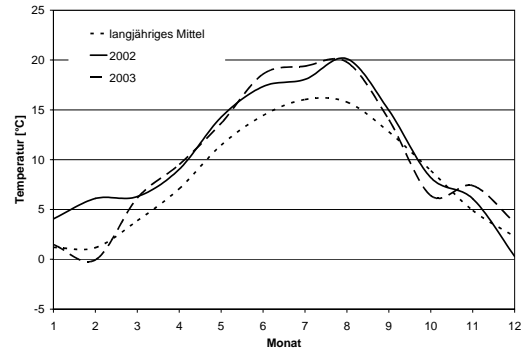


Abbildung 6.1: Vergleich langjähriger mittlerer Monats-temperaturen (DWD-Station Friesoythe-Edewechedamm 1949-2003) und der entsprechenden Temperaturen der Jahre 2002 und 2003.

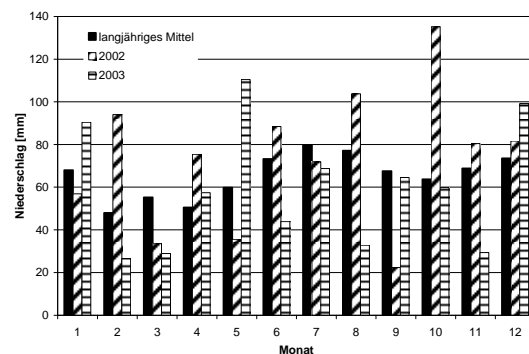


Abbildung 6.2: Vergleich langjähriger Niederschläge (DWD-Station Friesoythe-Edewechedamm 1949-2003) und der Niederschläge der Jahre 2002 und 2003.

So waren Frühjahr 2003 noch relativ und der Herbst 2003 durchschnittlich feucht, während der Sommer, insbesondere der Monat August, mit ca. 60 % geringeren Niederschlägen zu trocken war. Im Vergleich zum langjährigen Mittel von 785 mm a⁻¹ wurden für das gesamte Jahr 2003 allerdings nur eine etwa 70 mm (entsprechend ca. 10 %) geringere Niederschlagsmenge gemessen als im Durchschnitt. Deutlich größer war das Niederschlagsdefizit 2003 an

¹ Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, stefan.schaaf@fal.de

² Landwirtschaftskammer Weser-Ems, Mars-la-Tour-Str. 9-13, 26121 Oldenburg

³ Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt, Grätzelstr. 2, 37079 Göttingen

⁴ Zum Konzept des ANSWER-Projekts siehe MOHR *et al.* (2005a) und DÄMMGEN *et al.* (2005a), zu den Standorten MEESENBURG & MOHR (2005), zu den verwendeten Messverfahren und Modellen DÄMMGEN *et al.* (2005b) und SCHAAF & MEESENBURG (2005), zu den Ergebnissen SCHAAF *et al.* (2005), MOHR *et al.* (2005b) sowie MEESENBURG *et al.* (2005).

den Standorten Herrenholz und Holdorf (-25 %) und in Sandkrug (-20 %).

6.2 Konzentrationen von Ammoniak-, Stickstoffdioxid-, Schwefeldioxid- und Ozon-Konzentrationen in Augustendorf und Herrenholz

Im Hinblick auf die mögliche Übertragbarkeit der in Augustendorf bestimmten Flüsse wurden am Standort Herrenholz mit IVL-Passiv-Sammlern mittlere Konzentrationen auf der Freifläche von NH_3 , NO_2 , SO_2 und O_3 bestimmt und mit den entsprechenden Konzentrationen in Augustendorf verglichen.

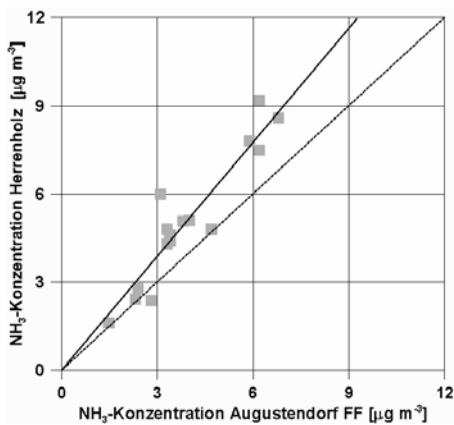


Abbildung 6.3: Vergleich von Monatsmitteln der NH_3 -Konzentrationen in Augustendorf und Herrenholz.

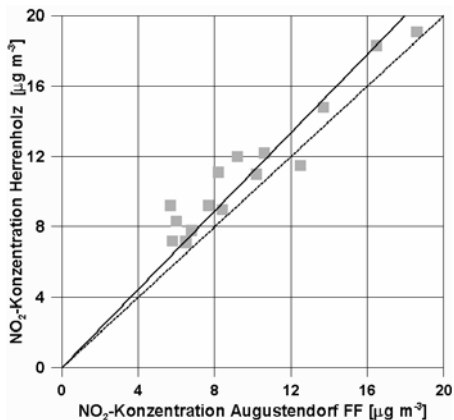


Abbildung 6.4: Vergleich von Monatsmitteln der NO_2 -Konzentrationen in Augustendorf und Herrenholz.

Alle betrachteten Konzentrationen (mit Ausnahme von SO_2) sind hoch miteinander korreliert; die Steigung b der Ausgleichsgeraden ist nahe bei 1: NH_3 : $R^2 = 0,87$, $b = 1,29$; NO_2 : $R^2 = 0,87$, $b = 1,11$; SO_2 : $R^2 = 0,51$, $b = 1,19$; O_3 : $R^2 = 0,93$; $b = 1,01$ (vgl. **Abbildungen 6.3 bis 6.6**). Für Ammoniak ergibt sich hieraus eine durchschnittlich um etwa 30 % höhere Belastung in Herrenholz, während die Unterschiede zwi-

schen den Konzentrationen der anderen Luftinhaltsstoffe deutlich geringer sind.

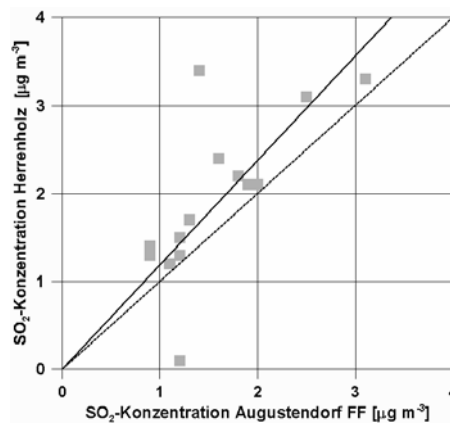


Abbildung 6.5: Vergleich von Monatsmitteln der SO_2 -Konzentrationen in Augustendorf und Herrenholz.

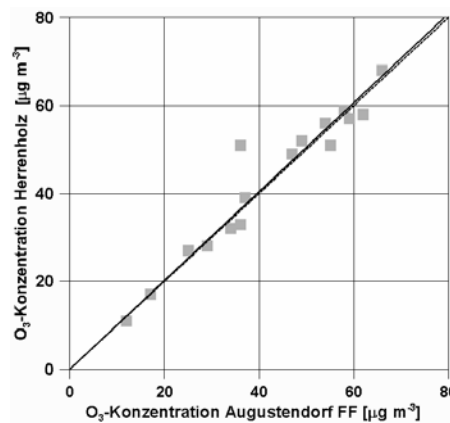


Abbildung 6.6: Vergleich von Monatsmitteln der O_3 -Konzentrationen in Augustendorf und Herrenholz.

6.3 Messungen der NH_3 -Konzentrationen mit Passivsammlern in der Umgebungsluft an den Messstellen Augustendorf, Holdorf und Sandkrug

An den Messstandorten Augustendorf, Holdorf und Sandkrug wurden die NH_3 -Konzentrationen mit Passivsammlern in unterschiedlichen Höhen über dem Bestand und im Bestand gemessen. Die Ergebnisse dieser fast 34 Monate dauernden Messungen (9.6.2001 bis 6.4.2004) sind in den **Abbildungen 6.7 und 6.8** dargestellt. Der Mittelwert betrug über den Beständen in Holdorf $8,6 \mu\text{g m}^{-3}$ NH_3 sowie in Sandkrug $5,7 \mu\text{g m}^{-3}$ NH_3 . In Augustendorf betragen die unter vergleichbaren Bedingungen wie in Holdorf und Sandkrug, jedoch in einem kürzeren Messzeitraum (9.4.02 bis 2.9.03, **Abbildung 6.9**) gemessenen NH_3 -Konzentrationen über dem Bestand im Mittel $8,2 \mu\text{g m}^{-3}$.

Im Kronenraum traten deutlich geringere NH₃-Konzentrationen auf. In Holdorf lagen sie mit 4,7 µg m⁻³ im Mittel 45 % unter den Außenluftkonzentrationen. In Sandkrug und Augustendorf reduzierten sich die NH₃-Konzentrationen im Kronenraum lediglich um 22 bzw. 19 %. Möglicherweise sind hierfür Unterschiede der Kronenraumstruktur zwischen den Standorten verantwortlich.

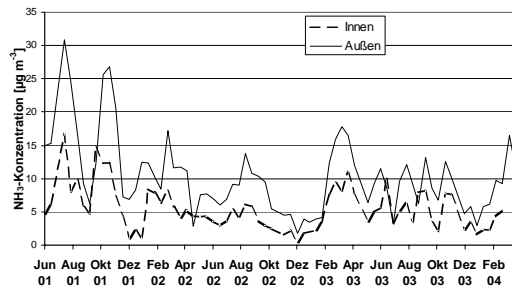


Abbildung 6.7: 2-Wochen-Mittel der NH₃-Konzentrationen in der Luft innerhalb der Bestände (innen) und ca. 2 m über den Beständen (außen) in Holdorf

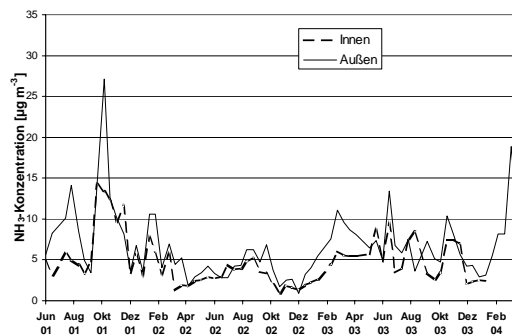


Abbildung 6.8: 2-Wochen-Mittel der NH₃-Konzentrationen in der Luft innerhalb der Bestände (innen) und ca. 2 m über den Beständen (außen) in Sandkrug

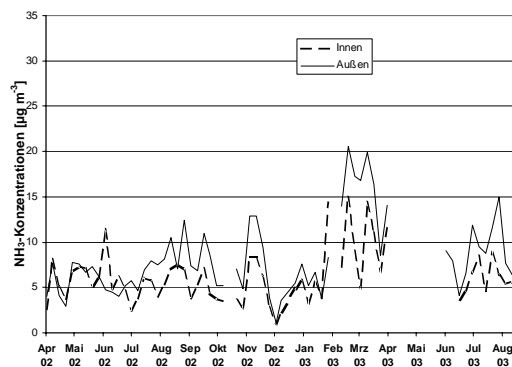


Abbildung 6.9: 2-Wochen-Mittel der NH₃-Konzentrationen in der Luft innerhalb der Bestände (innen) und ca. 2 m über den Beständen (außen) in Augustendorf

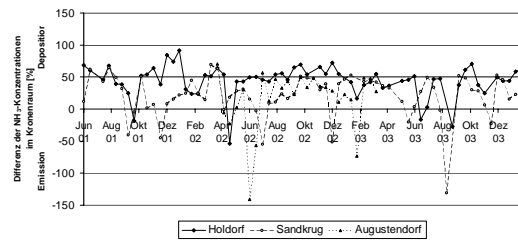


Abbildung 6.10: Prozentuale Abweichung der NH₃-Konzentrationen über dem Bestand gegenüber den NH₃-Konzentrationen im Bestand.

An den Zeitreihen wird die hohe zeitliche Variabilität der 2-Wochen-Mittelwerte ersichtlich. In Perioden der Düngerausbringung wurden in Holdorf häufiger Außenluftkonzentrationen von über 15 µg m⁻³ NH₃, in Sandkrug solche von 10 µg m⁻³ NH₃ festgestellt. Maximalwerte von über 25 µg m⁻³ im 2-Wochen-Mittel wurden innerhalb der 2-jährigen Messperiode an dem emittentennahen Messstandort Holdorf dreimal, in Sandkrug dagegen nur einmal festgestellt. Die horizontalen Unterschiede waren in diesen Perioden am höchsten. Innerhalb der kürzeren Messperiode in Augustendorf traten Konzentrationsspitzen von über 15 µg m⁻³ nur wenige Male zwischen März und April 2003 auf.

In den Sommer- und insbesondere in den Wintermonaten gingen die Immissionskonzentrationen deutlich, in Holdorf auf Werte um 5 µg m⁻³, in Sandkrug um 3 µg m⁻³ NH₃ zurück. Das niedrigere Niveau und die geringere horizontale Differenzierung lässt auf entsprechend geringere Abscheideraten im Kronenraum schließen.

Regionale Unterschiede der NH₃-Konzentrationen sind nicht nur Folgen unterschiedlicher Emissionen, sondern deuten auf voneinander abweichende NH₃-Flüsse in den Beständen hin. **Abbildung 6.10** zeigt, dass in der überwiegenden Zeit die NH₃-Konzentrationen über allen Beständen höher als im Kronenraum lagen, somit ein deutlich abwärts gerichteter NH₃-Fluss vorlag. NH₃-Konzentrationen über dem Bestand, die unter denen im Bestand liegen, deuten auf eine maßgebliche NH₃-Emission aus dem Bestand hin. In Holdorf trat diese Situation in den 24 Untersuchungsmonaten viermal, in Sandkrug siebenmal auf. In Augustendorf wurde mit 3 prägnanten Emissionsphasen innerhalb der 17-monatigen Messperiode eine ähnliche Häufung wie in Holdorf festgestellt. Stärkere Emissionen wurden durch Unterschreitungen der Außenluftkonzentrationen um 130 bis 140 % gegenüber den Konzentrationen im Bestand in Sandkrug und Augustendorf festgestellt (**Abbildung 6.10**). Demgegenüber lagen die NH₃-Konzentrationen im Bestand in Holdorf generell deutlich unter den Werten in der Außenluft. Dies ist vermutlich auch auf eine einheitlichere Oberflächenstruktur dieses Kiefernbestandes zurückzuführen, wodurch der Luftaus-

tausch geringer als in Augustendorf und Sandkrug sein dürfte.

Die zwischen Januar 2002 bis Oktober 2003 an 3 Standorten (Augustendorf, Holdorf, Sandkrug) gleichzeitig gemessenen NH_3 -Konzentrationen gibt **Abbildung 6.11** wieder. Wengleich die Messhöhen z.T. deutlich voneinander abweichen, wird das Belastungsniveau in räumlich und zeitlicher Ausprägung deutlich erkennbar.

Zeitweilig hohe NH_3 -Konzentrationen von über $12 \mu\text{g m}^{-3}$ im 4-Wochen-Mittel wurden an Standorten Augustendorf und Holdorf gemessen. Über den gesamten Vergleichszeitraum waren die mittleren NH_3 -Konzentrationen mit $8,5$ bzw. $8,8 \mu\text{g m}^{-3}$ hier nahezu gleich.

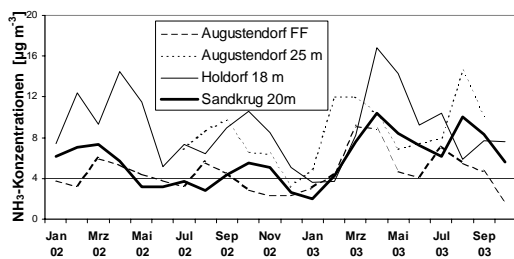


Abbildung 6.11: 4-Wochen-Mittel der NH_3 -Konzentrationen in der Luft an drei Messtandorten

Auf der Freifläche in Augustendorf war das Belastungsniveau in der Messhöhe von $5,3 \text{ m}$ mit $4,6 \mu\text{g m}^{-3}$ im Mittel deutlich niedriger. Am Standort Sandkrug lagen die NH_3 -Konzentrationen in einer Messhöhe von ca. 20 m in vergleichbarer Größenordnung ($5,8 \mu\text{g m}^{-3}$). Hier spielt vermutlich die geringere Anzahl von tierhaltenden Betrieben in der näheren Umgebung eine entscheidende Rolle.

In Augustendorf wurden Konzentrationsmessungen mit IVL-Passiv-Sammlern in ca. 4 m Höhe und mit Blatter/Neftel-Sammlern in ca. 2 m über dem Bestand vorgenommen. Die IVL-Sammler wurden im vierwöchigen Rhythmus beprobt, die Blatter/Neftel-Sammler im wöchentlichen Rhythmus. Der Wechsel erfolgte wie bei den Denudern dienstags, so dass die Expositionszeiträume (mit Ausnahme der Stunden des Wechsels, bei denen die Denuder nicht laufen) übereinstimmen. In Kronenhöhe befanden sich IVL-Sammler in 15 m Höhe am Turm und Blatter/Neftel-Sammler in gleicher Höhe zwischen Turm und Stamm einer benachbarten Kiefer.

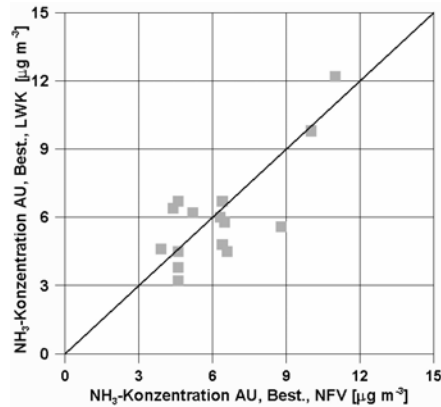


Abbildung 6.12: Vergleich von Monatsmitteln der NH_3 -Konzentrationen im Bestand in Stammnähe und am Turm, gemessen mit IVL-Sammlern (NFV) und Blatter/Neftel-Sammlern (LWK)

Die Zusammenhänge zwischen den Konzentrationen werden in **Abbildung 6.12** veranschaulicht. Die beiden Sammler spiegeln unterschiedliche Abstände zur wirksamen Senke wider. Bedenkt man, dass der typische Fehler dieser Messungen in der Größenordnung von $0,5 \mu\text{g m}^{-3}$ liegt, so ist die Übereinstimmung akzeptabel.

6.4 Untersuchungen zur Repräsentativität der Konzentrationsmessungen über der Freifläche im Hinblick auf die Verhältnisse über und im Bestand

Die Messungen über der "Freifläche" sollten dazu dienen, relevante Konzentrationen für die Berechnung der Flüsse zwischen Bestand und Atmosphäre zu gewinnen. Ursprünglich war angenommen worden, dass eine Messhöhe von etwa $5,5 \text{ m}$ einer Höhe von etwa 2 bis 3 m über $d + z_0$ des auf der "Freifläche" wachsenden, offenen und jungen Kiefernbestandes entspricht. Dies sollte experimentell belegt werden.

Ein Vergleich von über und im Bestand gemessenen Konzentrationen mit den über der Freifläche gemessenen zeigt, dass die Messungen am Turm im Bestand in 15 m Höhe und die Denuder-Messungen in der Freifläche in $5,3 \text{ m}$ Höhe recht gut übereinstimmen, die Messungen oberhalb der Bestände (etwa 10 m über $d + z_0$) zwar in der gleichen Größenordnung sind, jedoch im Einzelfall deutlich voneinander abweichen können (**Abbildungen 6.13 und 6.14**). (Der als x angegebene Wert in **Abbildung 6.13** wird als Ausreißer angesehen.)

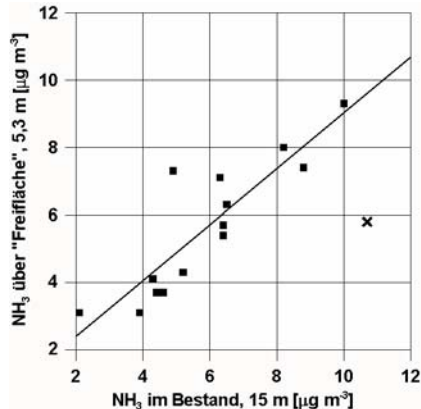


Abbildung 6.13: Im Bestand gemessene NH_3 -Konzentrationen (IVL-Passiv-Sammler) und mit Denudern über der Freifläche gemessene Konzentrationen. Monatsmittel. Die Regression berücksichtigt den Ausreißer (Februar 2003) nicht.

Die im Bestand durchgeführten Messungen wurden mit Konzentrationsprofilen verglichen. Hieraus sollte eine Information über die Lage der Messhöhe im Bezug auf d und z_0 erhalten werden. Für das Profil ergaben $d = 2 \text{ m}$ und $z_0 = 0,3 \text{ m}$ die höchsten Korrelationskoeffizienten, wenn man die Konzentrationen gegen die normierte Höhe z_{norm} aufträgt, wobei

$$z_{\text{norm}} = \ln \frac{z - d}{z_0}$$

ist.

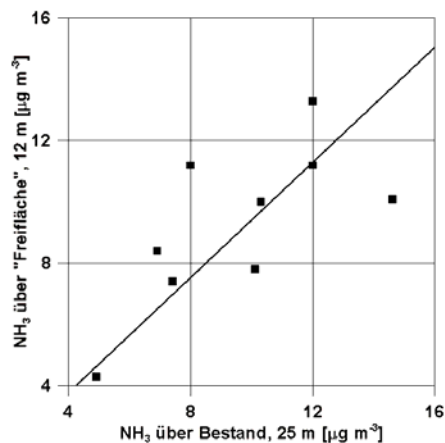


Abbildung 6.14: Über dem Bestand und über der Freifläche gemessene NH_3 -Konzentrationen (beide mit IVL-Passiv-Sammlern) Monatsmittel.

Durch graphische Auswertung von Darstellungen in **Abbildungen 6.15 und 6.16** wird deutlich, dass die Messhöhe im Wald 2,5 bis 4 m über $d + z_0$ liegen kann.

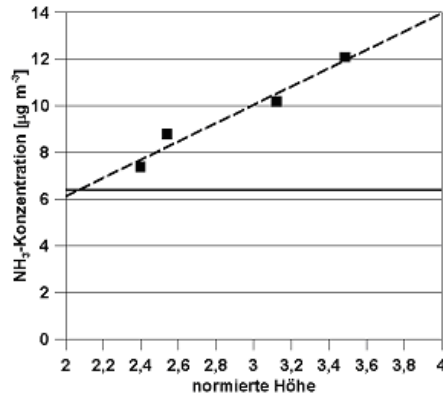


Abbildung 6.15: Einordnung der Konzentrationsmessung im Bestand (Mast, $z = 15 \text{ m}$, $\rho_{\text{NH}_3} = 6,4 \mu\text{g m}^{-3}$) in das Profil oberhalb der "Freifläche". Der normierten Höhe des Schnittpunktes der Regressionsgeraden entspricht ein $z = 4,5 \text{ m}$ bzw. von $d + z_0 + 2,2 \text{ m}$ (Juli 2003).

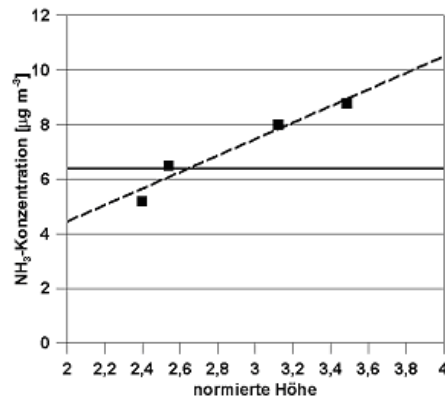


Abbildung 6.16: Einordnung der Konzentrationsmessung im Bestand (Mast, $z = 15 \text{ m}$, $\rho_{\text{NH}_3} = 6,4 \mu\text{g m}^{-3}$) in das Profil oberhalb der "Freifläche". Der normierten Höhe des Schnittpunktes der Regressionsgeraden entspricht ein $z = 6,5 \text{ m}$ bzw. von $d + z_0 + 4,2 \text{ m}$ (Juni 2003).

6.4.1 Regionaler Vergleich

Die zeitliche und die räumlich Repräsentativität der gemessenen Konzentrationen ist zu untersuchen.

Konzentrationsmessungen über längere Zeiträume wurden in Holdorf und Sandkrug durchgeführt. Sie wurden allerdings mit anderen Messmethoden durchgeführt und sind nur bedingt vergleichbar.

6.4.1.1 Nasschemische Messungen der NH_x -Konzentrationen in der Umgebungsluft an den Messstellen Holdorf und Sandkrug

Die Ergebnisse der bereits seit 1996 auf nasschemischem Wege mit Hilfe von Impingern durchgeführten Messungen der NH_x -Konzentrationen in der Luft über den Beständen Holdorf und Sandkrug sind in **Abbildung 6.17** dargestellt. Sie zeigt das erwartete Bild mit Konzentrationsmaxima im Frühjahr. Bis zum Projekt-

beginn 2001 war ein leicht rückläufiger Trend festzustellen.

Das unterschiedliche Konzentrationsniveau der beiden Messstellen ist erkennbar. Der Mittelwert der zwischen 1996 und 2001 gemessenen NH_x -Konzentrationen beträgt für Holdorf 5,9 und für Sandkrug $3,6 \mu\text{g m}^{-3}$ N.

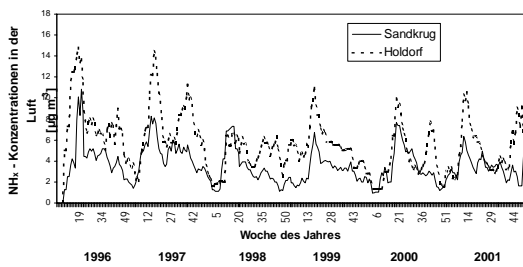


Abbildung 6.17: Verlauf der NH_x -N-Konzentrationen in der Luft über den Kiefernbeständen in Holdorf und Sandkrug.

Der bereits bei den NH_3 -Konzentrationen festgestellte 2-gipflige Verlauf wird in jedem Jahresgang der NH_x -Konzentrationen mehr oder minder deutlich. Lediglich im nasskalten Jahr 1998 kam dieser durch die langfristige Bodenvernässung, die damit verbundene Zeitverzögerung bei der Gülleausbringung und die reduzierte NH_3 -Freisetzung deutlich weniger zum Ausdruck. Nach der messtechnischen Umstellung im April 2002 lagen die gemessenen NH_x -Konzentrationen mit $14,6 \mu\text{g m}^{-3}$ N in Holdorf und $9,8 \mu\text{g m}^{-3}$ N in Sandkrug deutlich über den Vorjahreswerten (**Abbildung 6.18**).

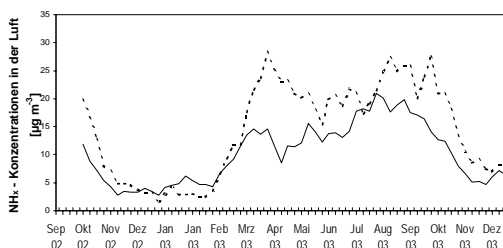


Abbildung 6.18: Verlauf der NH_x -Konzentrationen in der Luft über den Kiefernbeständen in Holdorf und Sandkrug.

Das Impinger-Verfahren ist kein wohldefiniertes Verfahren. Es ist zwar anzunehmen, dass die Differenz zu den parallel gemessenen NH_3 -Konzentrationen aus dem zusätzlich erfassten Anteil von partikulärem NH_4 herrührt; ob diese Annahme quantitativ belastbar ist, soll ebenfalls untersucht werden. Der Vergleich von NH_3 -N-Konzentrationen (Passiv-

Sammler) und NH_x -N-Konzentrationen (Impinger) in Holdorf und Sandkrug (**Abbildungen 6.19 und 6.20**, vgl. **Abbildung 4.27 und 4.28**) macht deutlich, dass die Annahme qualitativ zutrifft. Sie lässt ebenfalls erkennen, dass die NH_3 -Belastung in Sandkrug geringer, die Schwebstaub-N-Belastung aber offensichtlich deutlich höher sein sollte.

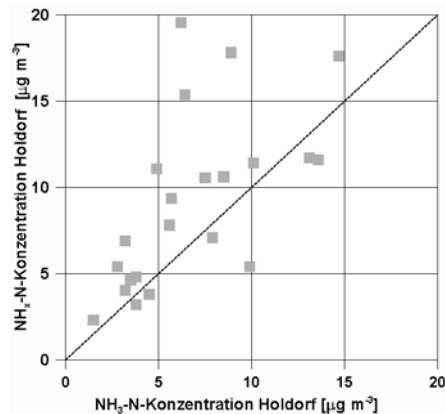


Abbildung 6.19: Vergleich von Monatsmitteln der NH_3 -N- und NH_x -N-Konzentrationen in Holdorf

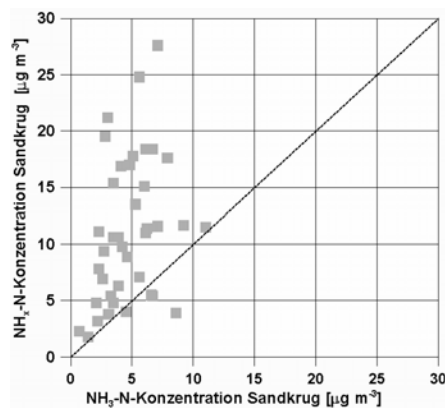


Abbildung 6.20: Vergleich von Monatsmitteln der NH_3 -N- und NH_x -N-Konzentrationen in Sandkrug

Nimmt man an, dass die Differenz von NH_x -N-Konzentrationen (Impinger) und von NH_3 -N-Konzentrationen (Passiv-Sammler) ein Maß für die NH_4 -N-Konzentration im Schwebstaub ist, so müsste bei großräumig vergleichbaren Schwebstaub-Konzentrationen ein Zusammenhang mit den Messwerten in Augustendorf (Denuder-Filter) erkennbar sein. **Abbildung 6.21** macht deutlich, dass dieser Weg nicht gangbar ist: Die Differenz kann in einem Ausmaß negativ sein, das mit Messfehlern nicht mehr zu beschreiben ist; ein Zusammenhang mit den Daten aus Augustendorf ist weder für Holdorf noch für Sandkrug zu erkennen.

Dagegen lässt sich beim Vergleich der mit Passiv-Sammlern erhaltenen Konzentrationen über dem

Wald (Abbildungen 6.22 und 6.29) erkennen, dass es angemessen ist, für Holdorf von mit Augustendorf vergleichbaren Belastungen auszugehen; in Sandkrug ist die NH_3 -Belastung größenordnungsmäßig halb so groß wie in Augustendorf. Die relativ gute Korrelation deutet darauf hin, dass bei gleichen Quelltypen offenbar unterschiedliche Quellstärken in der näheren Umgebung vorliegen. Dies ist im Einklang mit dem räumlichen Muster der Emissionsinventare (DÖHLER *et al.* 2002).

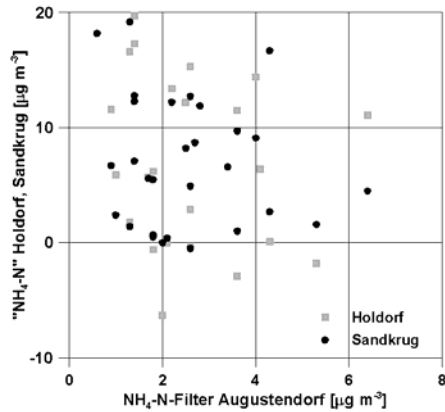


Abbildung 6.21: Vergleich von Monatsmitteln der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen in Augustendorf (Denuder-Filtermessungen) mit den Differenzen aus NH_x -Messungen (Impinger) und NH_3 -Messungen (Passiv) in Holdorf und Sandkrug

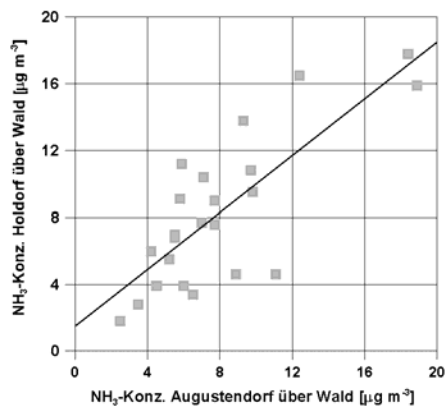


Abbildung 6.22: Vergleich von Monatsmitteln der NH_3 -Konzentrationen über Wald in Augustendorf und Holdorf (Passiv-Sammler)

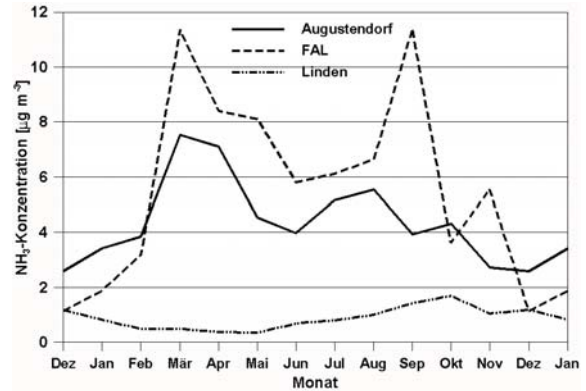


Abbildung 6.23: Mittlere Jahrgänge der NH_3 -Konzentrationen an unterschiedlichen Standorten. Zu Einzelheiten siehe Text.

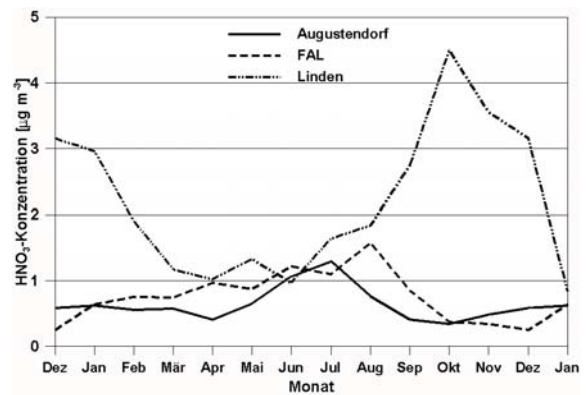


Abbildung 6.24: Mittlere Jahrgänge der HNO_3 -Konzentrationen an unterschiedlichen Standorten. Zu Einzelheiten siehe Text.

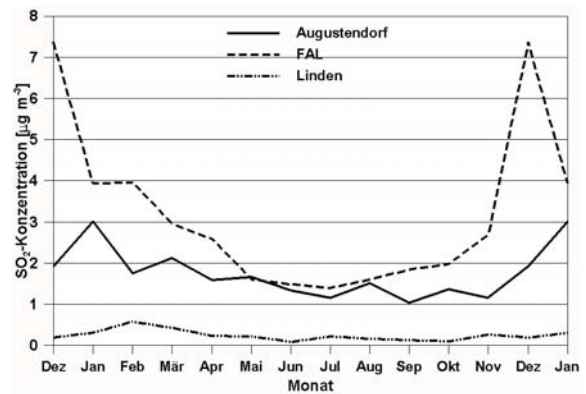


Abbildung 6.25: Mittlere Jahrgänge der SO_2 -Konzentrationen an unterschiedlichen Standorten. Zu Einzelheiten siehe Text.

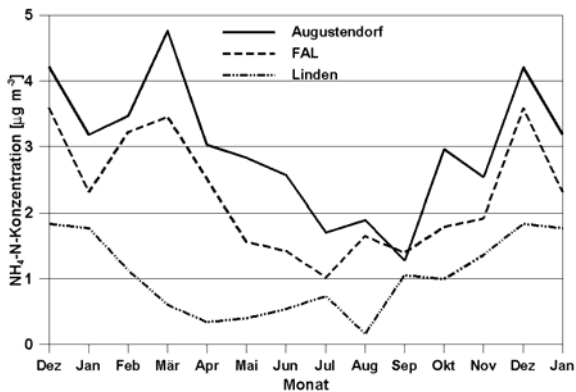


Abbildung 6.26: Mittlere Jahressgänge der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen an unterschiedlichen Standorten. Zu Einzelheiten siehe Text.

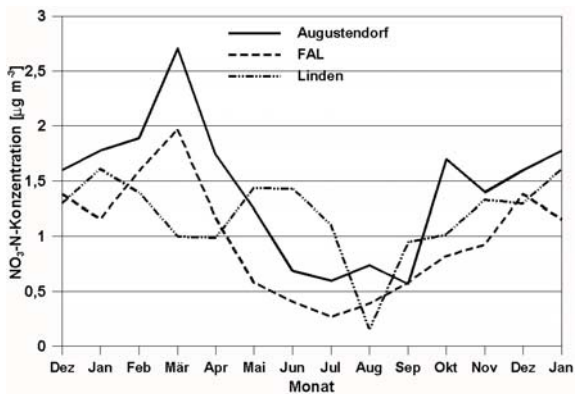


Abbildung 6.27: Mittlere Jahressgänge der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentrationen an unterschiedlichen Standorten. Zu Einzelheiten siehe Text.

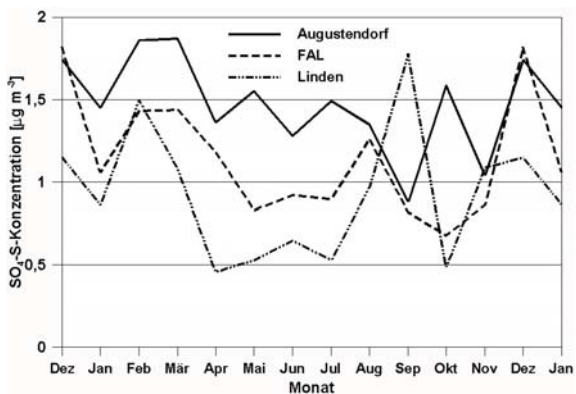


Abbildung 6.28: Mittlere Jahressgänge der $\text{SO}_4\text{-S}$ -Konzentrationen an unterschiedlichen Standorten. Zu Einzelheiten siehe Text.

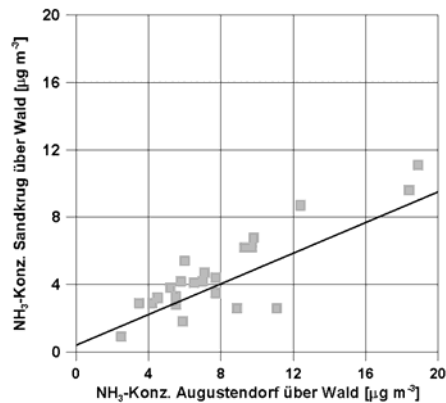


Abbildung 6.29: Vergleich von Monatsmitteln der NH_3 -Konzentrationen über Wald in Augustendorf und Holdorf (Passiv-Sammler)

6.4.1.2 Ammoniak-Konzentrationen am Standort Bösel

Im Jahr 2002 wurde zwischen dem Niedersächsischen Landesamt für Ökologie (NLÖ), LWK-WE und FAL vereinbart, am Standort Bösel des NLÖ (etwa 20 km NO von Augustendorf) Vergleichsmessungen von NH_3 -Konzentrationen durchzuführen. Neben den im ANSWER-Projekt eingesetzten Passiv-Sammlern setzt NLÖ ein in Erprobung befindliches Konverter-Gerät ein. Die Messungen mit den Passiv-Sammlern begannen im August 2002. Das Konvertergerät arbeitet seit Juni 2002 im wesentlichen zufrieden stellend.

Die erheblichen Unterschiede zwischen den NH_3 -Konzentrationen in bzw. über dem Wald (Augustendorf) und über landwirtschaftlichen Nutzflächen gehen beispielhaft aus **Abbildung 6.30** hervor.

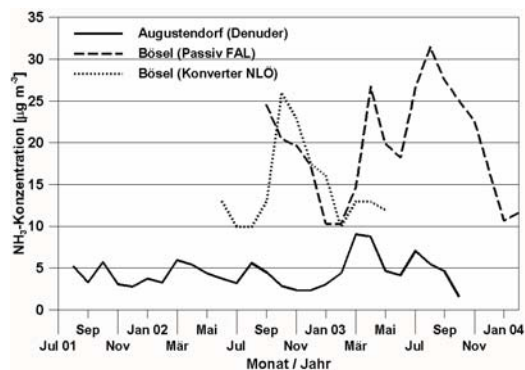


Abbildung 6.30: NH_3 -Konzentrationen über dem Wald, Denuder-Filter-Daten, und in der Umgebungsluft bei Bösel, Passiv-Sammler-Daten FAL, Konverter-Daten aus BÄCHLIN *et al.* (2003).

Tabelle 6.1: Monatsmittel der Konzentrationen von Spurengasen und Schwebstaub-Inhaltsstoffen, Augustendorf, Freifläche. Messhöhe 5,3 m, Mittelwerte aus Tag- und Nachtmessungen berechnet aus Wochendaten. In $\mu\text{g m}^{-3}$ der angegebenen Spezies.

Jahr	Monat	Gase					Schwebstaub-Bestandteile				
		NH ₃	HNO ₂	HNO ₃	SO ₂	HCl	NH ₄ -N	NO ₃ -N	SO ₄ -S	Cl	Na
2001	8	5,25	0,22	1,35	1,78		1,84	0,56	1,41	0,51	
	9	3,31	0,18	0,41	0,85	0,19	1,02	0,49	0,70	0,87	0,37
	10	5,68	0,74	0,45	1,72		4,14	2,46	2,36	1,04	0,68
	11	3,09	0,70	0,73	1,61	1,02	1,63	1,04	0,81	1,22	0,75
2002	12	2,83	0,73	0,69	1,26	0,47	2,86	1,57	1,35	0,90	0,25
	1	3,80	1,42	0,66	2,13	0,46	3,05	1,75	1,58	1,82	
	2	3,26	0,32	0,58	1,71		1,13	0,75	0,80	1,51	
	3	5,98	0,29	0,48	1,81	0,32	3,24	1,64	1,43	2,12	
	4	5,36	0,29	0,52	2,03	0,33	4,26	2,42	2,02	0,84	
	5	4,39	0,30	0,69	1,62	0,79	3,24	1,30	1,80	0,75	
	6	3,82	0,38	1,02	1,51	0,67	3,51	0,63	1,52	0,66	
	7	3,22	0,28	0,57	1,26	0,48	1,74	0,59	1,26	0,85	
	8	5,59	0,42	0,80	1,50	0,24	2,45	0,85	1,60	0,80	
	9	4,55	0,40	0,41	1,25	0,18	1,54	0,66	1,05	0,73	
	10	2,93	0,41	0,25	1,04	0,32	1,78	0,93	0,82	0,86	
	11	2,37	0,63	0,25	0,72	0,24	3,45	1,77	1,28	1,39	
2003	12	2,35	1,31	0,50	2,58	0,43	5,56	1,63	2,13	1,32	
	1	3,07	1,22	0,61	3,89	0,30	3,32	1,81	1,33	2,49	
	2	4,44	0,75	0,53	1,81	0,18	5,80	3,03	2,91	1,15	
	3	9,11	0,63	0,67	2,44	0,38	6,30	3,77	2,32	1,71	
	4	8,85	0,20	0,30	1,17	0,18	1,80	1,06	0,70	1,19	
	5	4,69	0,29	0,61	1,71	0,14	2,43	1,20	1,29	0,96	0,39
	6	4,16	0,33	1,10	1,18	0,33	1,64	0,74	1,05	1,13	0,18
	7	7,11	0,38	2,02	1,07	0,31	1,69	0,62	1,72	0,62	
	8	5,50	0,57	0,74	1,55	0,41	1,33	0,64	1,09	0,53	
	9	4,71	0,66	0,77	1,90	0,48	2,80	1,34	1,28	0,83	
10	1,64	0,31	0,09	0,60	0,12	0,73	0,55	0,49	0,28		

Tabelle 6.2: Monatsmittel der Konzentrationen von Spurengasen, Augustendorf, Messungen mit Passiv-Sammlern. Freifläche und Turm. Konzentrationen in $\mu\text{g m}^{-3}$ der angegebenen Spezies.

Jahr	Monat	Augustendorf Freifläche				Turm 15 m				Turm 25 m			
		NH ₃	NO ₂	O ₃	SO ₂	NH ₃	NO ₂	O ₃	SO ₂	NH ₃	NO ₂	O ₃	SO ₂
2002	1	3,1	21,8	31,2	1,8								
	2	3,5	12,4	49,4	1,6								
	3	5,9	8,7	49,1	1,5								
	4	10,3	7,9	53	1	6,3	8,9	60,5	1,4	9,4	9,1	65,1	1,6
	5	3,4	6,5	55	0,1	5	7,7	59	1,4	6,2	7,8	64	1,5
	6	3	5,1	53,1	2,1	4,5	7,1	68,7	1,6	7	7,2	66,5	1,7
	7	3,3	5,8	47,2	1,1	4,5	6,3	60,5	1,6	6,9	6,8	64,7	1,9
	8	3,1	5,7	36,0	0,9	6,3	7,9	58,3	2,0	8,7	8,4	68,3	2,2
	9	3,8	8,2	36,0	0,9	6,5	9,8	49,4	1,4	9,7	10,4	52,6	1,6
	10	2,8	10,6	28,5	1,1	4,3	14,2	32,4	1,6	6,6	16,0	37,6	1,9
	11	2,3	12,5	11,8	1,2	4,4	18,9	19,0	1,5	6,4	21,6	17,9	1,8
	12	1,5	13,7	16,5	3,1	2,1	16,5	17,2	3,4	3,2	18,1	21,1	4,1
2003	1	2,4	16,5	34,2	2,0	3,9	18,0	34,1	2,2	4,9	17,7	36,2	2,6
	2	5,9	18,6	24,8	2,5	10,7	21,3	28,9	3,3	12,0	21,3	31,6	4,1
	3	6,8	9,2	49,0	1,8	10,0	11,0	63,0	2,5	12,0	11,0	63,0	2,6
	4	6,2	7,7	65,6	1,9	8,2	8,8	74,9	2,4	10,3	8,6	80,4	2,5
	5	3,3	6,0	54,4	1,2	4,9	7,3	62,5	1,5	6,9	7,2	74,2	1,8
	6	3,4	6,5	59,2	1,3	6,4	6,7	71,4	1,8	7,4	6,8	74,3	0,0
	7	4,0	6,8	58,4	1,2	6,4	7,7	66,9	1,6	8,0	7,5	74,8	1,8
	8	6,2	8,4	61,5	1,6	8,8	8,9	72,9	2,0	14,6	9,0	78,5	2,1
	9	4,7	10,2	36,9	1,4	11,0	12,3	52,2	2,3	10,1	12,6	60,4	2,9
	10	2,1	12,6	26,4	1	3,7	16,3	31,3	1,6	6,2	17,6	36	2
	11	3,8	18,7	11,2	1,4	10	21,2	13,6	2	6,7	23,1	16	2,2
	12	2,1	17,4	23,9	1,5	4,1	19,6	32,5	2	5,9	20,8	27,2	2,1

6.4.2 Überregionaler Vergleich

Die Daten aus den beiden vollständigen Messjahren 2002 und 2003 sind in **Tabelle 6.1** zusammengestellt. Sie werden zunächst mit gleichartigen Datensätzen verglichen (**Abbildungen 6.23 bis 6.28**). Hierzu dienen folgende Messstellen:

- FAL, westlich von Braunschweig: eigene laufende Messungen
- Linden in der Nähe von Gießen, eigene laufende Messungen
- Rotenkamp, östlich von Braunschweig: ZIMMERLING *et al.* (1996b)
- Müncheberg, zwischen Berlin und Frankfurt/O., und Britz, nordöstlich von Eberswalde: ZIMMERLING *et al.* (2000), ZIMMERLING & DÄMMGEN (2002).

Die bei DÄMMGEN & SUTTON (2001) zusammengestellten mittleren Konzentrationsdaten für NH_3 und $\text{NH}_4\text{-N}$ im Schwebstaub lassen erkennen, dass die Atmosphäre über dem Kiefernbestand von Augustendorf der einer durch intensive Viehhaltung geprägten Situation in der Nähe der Tierhaltungsanlagen selbst entspricht. Hierauf weist auch der Vergleich der Daten mit denen von Braunschweig (FAL) hin. Als typische Konzentrationen über Wäldern sind eher solche im Bereich von $1 \mu\text{g m}^{-3}$ anzusehen.

Die Konzentrationen der Säure HNO_3 sind außerordentlich gering. Sie entsprechen denen der FAL; beide sind durch jedoch das hohe NH_3 -Angebot geprägt und entsprechen größenordnungsmäßig der jeweiligen Gleichgewichtskonzentration. Der Jahresgang folgt der Strahlungsintensität nicht.

Die Konzentrationen des Säurebildners SO_2 entsprechen denen der FAL. Sie sind sehr gering. Die **Abbildung 6.25** veranschaulicht den Erfolg der Maßnahmen zur Luftreinhaltung im vergangenen Jahrzehnt (Zu Zeitreihen für Konzentrationen im Raum Braunschweig vgl. GRÜNHAGE *et al.* 1988).

Die in der gesamten Region Nordwest-Niedersachsen erhöhten NH_3 -Emissionen führen offenbar zu hohen Konzentrationen von Sekundärstäuben, deren wesentliche Bestandteile NH_4NO_3 und $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ sind. Diese Aerosole sind jedoch nicht mehr – wie noch vor einem Jahrzehnt – vornehmlich durch $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ geprägt, sondern eher durch NH_4NO_3 : Der wasserlösliche Massenanteil am Schwebstaub ($\text{PM}_{2,5}$) bestand in den Monaten Januar bis März zu etwa 50 % aus NH_4NO_3 , zu etwa 30 % aus $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ und zu 20 % aus NaCl.

6.4.3 Messungen an Schwebstaub-Inhaltsstoffen am Standort Bösel

Im Rahmen eines Projektes führte das Niedersächsische Landesamt für Ökologie (NLÖ) am Standort Bösel vom 1.1.02 bis zum 1.4.03 Untersuchungen zur Belastung der Umgebungsluft mit Schwebstäuben

PM10 durch (BÄCHLIN *et al.* 2003). Hierbei wurden auch Staubinhaltsstoffe analysiert. Ein Vergleich zwischen den in Augustendorf mit Denuder-Filter-Sammlern bestimmten Daten für einen Teil des Schwebstaubs (den wasserlöslichen Teil mit NH_4 , NO_3 , SO_4 , Cl und Na, genannt {PM 2.5}) ergab im wesentlichen eine gute Übereinstimmung: Die Zusammensetzung des löslichen Teils ist angesichts der Entfernung und der Tatsache, dass in Bösel PM10, in Augustendorf aber PM2.5 erfasst wurden, im Mittel gut vergleichbar (**Abbildung 6.31**).

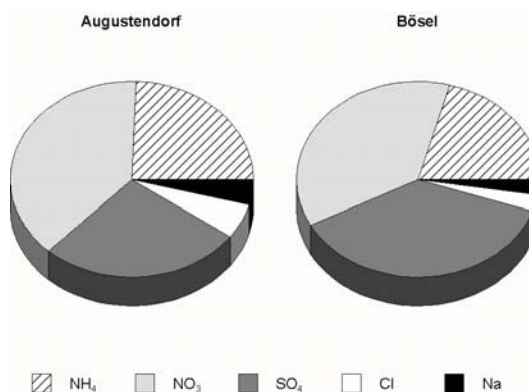


Abbildung 6.31: Zusammensetzung der Schwebstäube in Augustendorf (Denuder-Filter-Sammler, PM 2.5, und Bösel, PM 10). Mittelwert (April 02 bis März 03)

Auffällig ist der größere Anteil an NH_4NO_3 in Augustendorf, ebenso der größere NaCl-Anteil. Nahezu 50 Gewichts-% der in Bösel gemessenen Stäube entfallen auf die hier beschriebene lösliche anorganische Fraktion.

Die während der Zeit von März 2002 bis Oktober 2003 parallel gemessenen Staubinhaltsstoffkonzentrationen {PM 2.5} und die gravimetrischen Staubkonzentrationen PM 10 in Bösel korrelieren recht gut miteinander (**Abbildung 6.32**). BÄCHLIN *et al.* (2003) berichten keine Zeitreihen von Analysen der Inhaltsstoffe, so dass sich weitergehende Vergleiche verbieten. Es erscheint in jedem Fall bemerkenswert, dass deutlich erkennbar ist, in welchem Maße eine Reduktion von NH_3 -Emissionen zur Verringerung der Belastung der Umgebungsluft mit Schwebstäuben beitragen könnte.

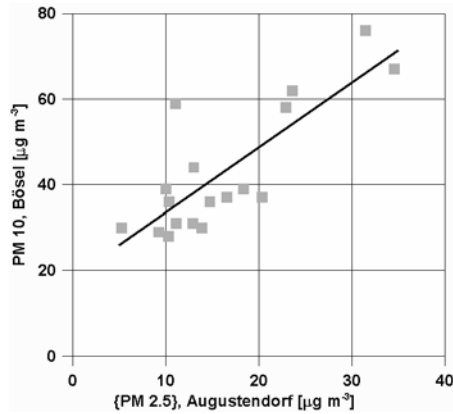


Abbildung 6.32: Zusammenhang zwischen dem löslichen Anteil der N- und S-Spezies sowie von Na und Cl am Schwebstaub {PM 2.5} in Augustendorf und der Schwebstaub-Konzentration (PM 10) in Bösel.

6.5 Literatur

- Bächlin W, Lohmeyer A, Kuhlbusch T, Dreiseidler A, Baumbach G, Giesen K-P, Heits B, Müller WJ, Klasmeyer E, Schmidt H (2003) Aerosolbudget in einem landwirtschaftlich geprägten Gebiet in Niedersachsen. Schlussbericht Projekt 1890 des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie, Hannover. Ingenieurbüro Lohmeyer, Radebeul, 107 S.
- Dämmgen U, Mohr K, Meesenburg H (2005a) Die Bestimmung von Flüssen reaktiver Stickstoff-Spezies in hoch mit Stickstoff belasteten Wald-Ökosystemen – methodische Grundlagen, Randbedingungen und Konzept der Messungen und Modellierungen im ANSWER-Projekt. Landbauforsch Völkendorf SH 279:9-18.
- Dämmgen U, Schaaf S, Horváth B, Meesenburg H, Mohr K (2005b) Methoden zur Bestimmung von Stoffflüssen und -konzentrationen im ANSWER-Projekt. Landbauforsch Völkendorf SH 279:23-44.
- Dämmgen U, Sutton MA (2001) Die Umwelt-Wirkungen von Ammoniak-Emissionen. In KTBL (Hrsg.): Messmethoden für Ammoniak-Emissionen. KTBL, Darmstadt, S. 14-25.
- Grünhage L, Dämmgen U, Jäger H-J (1988) Auswirkungen luftgetragener Stoffe auf Vegetation und Boden von Grünlandökosystemen. II. Die Entwicklung der Konzentrationen ausgewählter Luftinhaltsstoffe in Südostniedersachsen in den vergangenen zwei Jahrzehnten. Landbauforsch Völkendorf 38:196-210.
- Meesenburg H, Mohr K (2005) Die Untersuchungsstandorte im ANSWER-Projekt. Landbauforsch Völkendorf SH 279:17-22.
- Meesenburg H, Mohr K, Dämmgen U, Schaaf S, Meiwes KJ, Horváth B (2005) Stickstoff-Einträge und - Bilanzen in den Wäldern des ANSWER-Projekts – eine Synthese. Landbauforsch Völkendorf SH 279:95-108.

Mohr K, Meesenburg H, Dämmgen U (2005a) Die Stickstoff-Belastung von Waldökosystemen – Wirkungen, Wirkungspfade, offene Fragen, Gesamtkonzept. Landbauforsch Völkendorf SH 279:1-8.

Schaaf S, Meesenburg H (2005) Modellierung der Stoffflüsse in Waldbeständen im ANSWER-Projekt. Landbauforsch Völkendorf SH 279:45-56.

Zimmerling R, Dämmgen U (2002) Concentrations of Air-Borne Acidifying and Eutrophying Species in the Schorfheide Nature Reserve in Brandenburg, Germany. J Appl Bot 76:52-61

Zimmerling R, Dämmgen U, Behrens U (2000) Konzentrationen versauernd und eutrophierend wirkender Spurengase und Aerosol-Bestandteile in Nordost-Brandenburg. Landbauforsch Völkendorf SH 213:43-93.

Zimmerling R, Dämmgen U, Küsters A, Wolff D (1996b) Konzentrationen von Luftinhaltsstoffen. II. non-criteria pollutants (N-, S- und Cl-Spezies). Landbauforsch Völkendorf SH 170:222-273.

