

Abschlussbericht zum Werkvertrag

**zwischen dem Freistaat Bayern, vertreten durch das Bayerische Landesamt für
Umweltschutz (Auftraggeber),
und dem GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit
(Auftragnehmer)**

**Durchführung von Immissions- und Depositionsmessungen im
Rahmen der Errichtung einer Anlage zur Junghennenaufzucht in
Všeruby im Gebiet Eschlkam (Ldkr. Cham)
Ermittlung der Ammoniakimmissionskonzentration und der
Ammonium- und Nitratdeposition**

Berichtszeitraum
06.04.2000 - 12.09.2001

GSF-FE-Nr.: 76150

vorgelegt von

M. Kirchner, S. Braeutigam, E.A. Feicht und A. Kettrup

GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, GmbH
Institut für Ökologische Chemie

in Zusammenarbeit mit
S. Krysl

Hygienisches Labor des Distrikts Klatovy

28. Februar 2002

Inhalt

1.	Problemstellung	4
2.	Standort	4
3.	Auswahl der Messflächen	6
4.	Eingesetzte Messverfahren	8
4.1.	Passivsammler zur Messung der Ammoniakimmissionskonzentration in der Luft	8
4.2.	Kontinuierliche Ammoniakbestimmung mittels Denudersystem	9
4.3.	Ammonium- und Nitratdepositionsmessung	10
4.4.	Unsicherheiten bei Immissions- und Depositionsmessung	11
4.5.	Erfassung der meteorologischen Parameter	11
5.	Ergebnisse der Messungen vor Inbetriebnahme der Hühnerfarm (Phase 1)	12
5.1.	Passivsammler (Ammoniak)	12
5.2.	Bulkuntersuchungen (Ammonium- und Nitratdeposition)	17
5.3.	Meteorologie	18
6.	Ergebnisse der Messungen nach Inbetriebnahme der Hühnerfarm (Phase 2)	20
6.1.	Passivsammler (Ammoniak)	20
6.2.	Meteorologie	26
6.3.	Denudermessergebnisse (Ammoniak) in Abhängigkeit von Windverhältnissen	29
6.4.	Bulkuntersuchungen (Ammonium- und Nitratdeposition)	34
7.	Vergleich und Bewertung der Ergebnisse vor und nach der Inbetriebnahme der Hühnerfarm	35
7.1.	Passivsammlermessungen (Ammoniak)	35
7.2.	Stickstoffdepositionsmessungen (Ammonium, Nitrat)	38
8.	Literatur	41
9.	Anhang	
9.1.	Daten des Hygienischen Labors Klatovy	43
9.2.	Fotos der Messstellen	44

1. Problemstellung

Anfang September 2000 wurde von der Gesellschaft Ceska Drubec im Grenzort Všeruby (Neumarkt) in der Tschechischen Republik der Betrieb einer Hühnerfarm in einer ersten Ausbaustufe von etwa 200000 Junghennen begonnen. Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz hatte das GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit bereits zu Beginn des Jahres 2000 beauftragt, vor (Phase 1) und nach (Phase 2) der Inbetriebnahme der Anlage begleitende Ammoniakmessungen im Umfeld der Farm durchzuführen.

Insbesondere bei der Betrachtung der Versauerung und Eutrophierung von natürlichen und naturnahen Ökosystemen kommt dem Eintrag von Stickstoff eine Schlüsselrolle zu. Als Quellen hierfür stehen vor allem der Verkehr und die Landwirtschaft fest. Im Bereich der Landwirtschaft handelt es sich hierbei vornehmlich um Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung; Ammoniak wird unter bestimmten Voraussetzungen rasch in Ammonium umgewandelt und insbesondere in Ökosysteme eingetragen (PITCAIRN et al., 1998; BURKHARDT et al., 1998).

In der vorliegenden Untersuchung wurden von der GSF die Ammoniakimmissionskonzentrationen in der bodennahen Atmosphäre aktiv und passiv gemessen; daneben wurde auch die Deposition von Ammonium erfasst; hierbei wurden mit Hilfe von offenen Sammlern (Bulkdeposition) die gut messbaren Anteile aus nasser und trockener Deposition (Partikeldurchmesser > 100 µm) bestimmt.

Die Immissions- und Depositionsmessungen der GSF vor Inbetriebnahme der Hühnerfarm dienten dem Zweck, den ursprünglichen Zustand zu ermitteln. Durch den Vergleich mit der Situation nach Inbetriebnahme konnten Aussagen zu den möglichen Veränderungen abgeleitet werden. Vornehmliches Ziel der Untersuchung war es, die sich ergebende Zusatzbelastung im Bereich der Immission und der Deposition von stickstoffhaltigen Substanzen abzuschätzen. Parallel zu den Messungen der GSF fanden durch das Hygienische Labor Klatovy (Klattau) ab Juli 2000 auf tschechischem Gebiet entsprechende Erhebungen im Ortsbereich von Všeruby statt.

2. Standort

Die Gegend, in der sich die Anlage befindet, schließt naturräumlich gesehen an die Cham-Further-Senke an, die den Oberpfälzer vom Bayerischen Wald abtrennt (Abb. 1). Das Jahresmittel der Lufttemperatur liegt bei 7 – 8 °C, die jährliche Niederschlagssumme beträgt etwa 800 mm. Die Hauptwindrichtung ist SW, ein sekundäres Maximum liegt bei NO-Winden.

Die Anlage selbst befindet sich ca. 1,5 km von der deutsch-tschechischen Grenze in der Tschechischen Republik (Abb. 1). In der Nähe der Hühnerfarm auf tschechischem Gebiet liegt ein landwirtschaftlicher Betrieb mit Rinderhaltung (Weidebetrieb mit Gülleausbringung). Insgesamt befinden sich im Gemeindegebiet von Všeruby noch 4 weitere landwirtschaftliche Betriebe (Industriedünger: ca. 80 kg Stickstoff/ha auf Weiden; rd. 400 Rinder, damit knapp 0,8 Großvieheinheiten pro Hektar (GV/ha) mit starken punktuellen Abweichungen). Südöstlich des Grenzübergangs befindet sich ein Streifen wenig genutzter Flächen (Ödland). Die hydrologische Entwässerung der Flächen westlich der Farm findet über Hopfen- und Schanzbach in Richtung Bayern (Chamb/Kouba) statt. In Všeruby wurde eine mechanisch-biologische Kläranlage (für ca. 1000 Personen konzipiert) errichtet.

Auf den Gemeindegebieten von Eschlkam bzw. Furth im Wald befinden sich zahlreiche kleinere Betriebe mit Rinderhaltung; die Gülle wird ebenfalls auf den Wiesen ausgebracht. Die Tierdichte beläuft sich in beiden Gemeinden auf ca. 1,5 bis 2,0 GV/ha.



Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebiets

Tab. 1: Charakteristische Daten zur Hühnerfarm Všeruby (lt. Betreiber bzw. gemäß Literaturangaben)

Belegung	200000 Junghennen
Alter	1 Tag – 18 Wochen (W.)
Bestandsdichte	1 Tier / 340 cm ²
Art der Fütterung	Phasenfütterung: 1.-5. W.: Kükenstarter / 6.-10. W.: Kükenalleinfutter / 10.-15. W.: Junghennenfutter / 16.-18. W.: Vorlegemehl
Kotanfall	6.5 kg/Henne * Jahr; gesamt: 1300 t / Jahr
Zeiten der Hühnerkottausbringung	insbes. 25. - 28.4.2001
Orte der Kottausbringung	Äcker nordwestlich des Ortsbereichs von Všeruby (bis Waldbestand) und nördlich des Ortsbereichs von Maxov (sh. Abb.1)
Luftwechselrate (computergesteuert)	max. 680000 m ³ / h je nach Alter der Tiere und Witterung
Ammoniakimmissionskonzentration im Abgas	variabel
Geschätzter Emissionsmassenstrom für Ammoniak (aus Literatur)	8,8 kg/h (Oldenburg, 1989)
Abgastemperatur	bis 4.W.: keine Lüftung / 4.-6. W.: 26°C / 7.-22.W.: 22°C

3. Auswahl der Messflächen

Zur Ermittlung der Immissionskonzentrationen an Ammoniak im grenznahen Teil des Gemeindegebiets von Eschlkam wurden von der GSF in Abstimmung mit dem LfU ringförmig um die Anlage auf bayerischer Seite 19 Messstellen mit Passivsammlern eingerichtet; zur Ermittlung der Ammoniakimmissionskonzentrationen in der näheren Umgebung der Gemeinde Všeruby dienten weitere 8 Messpunkte (Abb. 2). Zusätzlich wurde an 10 Messpunkten vom Hygienischen Labor Klatovy (s. Anhang) gemessen. Die Gesamtzahl der Messstellen betrug somit 37. An der Messstelle 2 fand eine Doppelbestimmung (Immission) statt, um bei der evtl. zu erwartenden höheren Konzentration unmittelbar an der Anlage eine größere Messgenauigkeit zu erzielen. Tab. 2 beschreibt die Lage der Messpunkte der GSF unter Angabe der Lage zur Hühnerfarm und die landwirtschaftliche Nutzung auf den die Messpunkte umgebenden Flächen.

Darüber hinaus wurden auf bundesdeutschem Gebiet an 6 Messstellen Bulksammler zur Ermittlung der trockenen und nassen Ammonium- und Nitratdeposition (Messpunkte A – F) eingerichtet; mit entsprechenden Sammlern wurden auch einige Messstellen auf tschechischem Gebiet ausgestattet.

Die Erfassung der wichtigsten meteorologischen Parameter erfolgte ausschließlich auf bundesdeutschem Gebiet im grenznahen Bereich an der Messstelle M, wo auch Ammoniakimmissionsmessungen durchgeführt wurden (Messstelle M/A/14); die Stromversorgung erfolgte über das Anwesen von Herrn Pongratz, der dankenswerterweise auch den Messplatz zur Verfügung stellte. Kriterium für die Auswahl war die Repräsentativität der Messpunkte für die nähere Umgebung. Ziel war es, einen Hinweis auf die Ammoniakimmissionskonzentrationen in Abhängigkeit vom Abstand von der Anlage zu erhalten.

Da das Gelände an der Grenze als relativ inhomogen und strukturiert zu bezeichnen ist, konnten nur in erster Näherung ähnliche bzw. vergleichbare Standorte gefunden werden. Auf Grund früherer Erfahrungen mit Ammoniakprofilmessungen wurde darauf geachtet, keine Messpunkte in Waldbestände zu legen (KIRCHNER et al., 2000). Die Sammler wurden an Gemarkungsgrenzen bzw. Wiesen- und Ackerrändern errichtet, um das Risiko einer Beschädigung durch die Feld- und Wiesenbewirtschaftung gering zu halten; ebenfalls wichtig war eine gute Erreichbarkeit der Messpunkte.

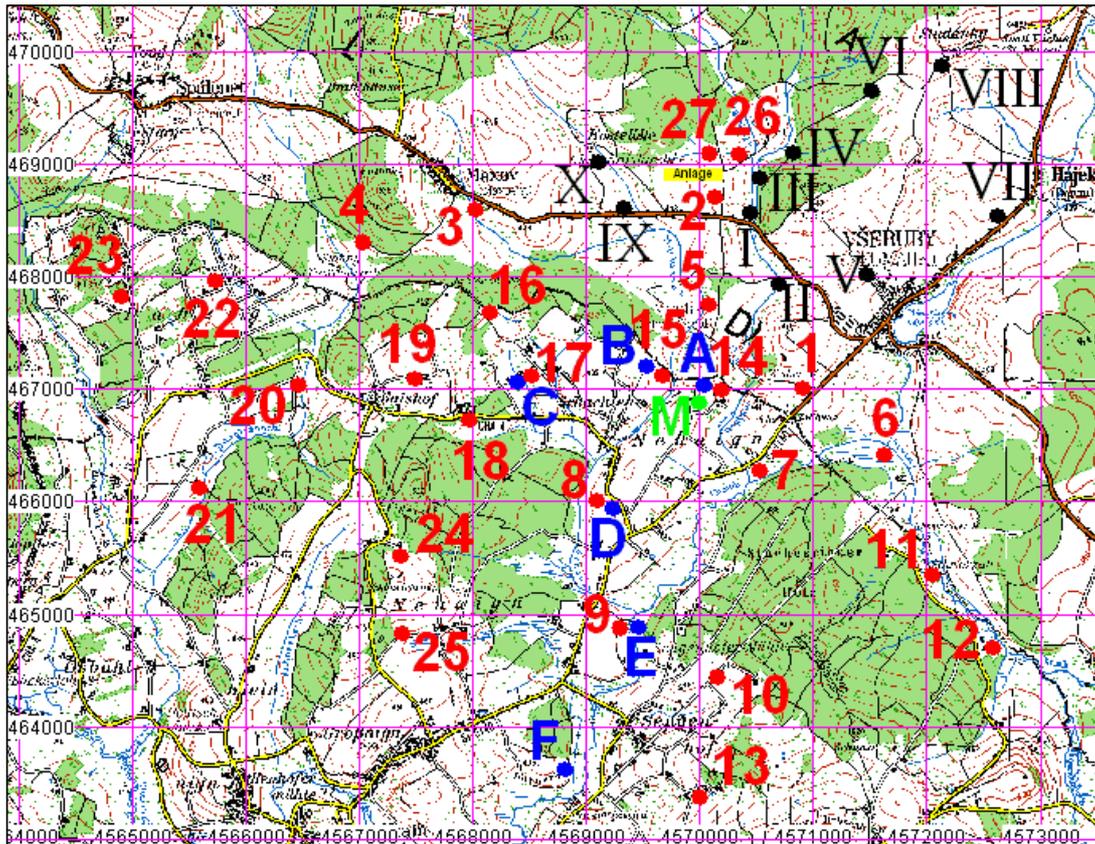


Abb. 2: Messstellen im Untersuchungsgebiet [GSF: 1 bis 27 (Passivsammler Ammoniak), A bis F (Bulksammler Ammonium- und Nitratdeposition), M (Meteorologie und Denuder Ammoniak); Hygienisches Labor Klatovy: I bis X (Passivsammler Ammoniak und Bulksammler Ammonium)]

Tab. 2: Beschreibung der Messpunkte der GSF in Bayern und Tschechien unter Angabe der Koordinaten, der Höhe, der Entfernung von der Hühnerfarm und der Art der Landnutzung in der Umgebung

Nr.	Nr. PS	GK rechts	GK links	Höhe (m)	Land	Distanz Farm (m)	Umgebung	Lage
1		4570993	5466938	439	CZ	2200	Brachland, Grünland	100 m nordöstlich des Grenzübergangs an Straße
2		4570063	5468595	457	CZ	100	Brachland, evtl. Bauland	südlich der Hühnerfarm im freien Gelände
3		4567802	5468628	460	CZ	1800	Brachland mit Sträuchern	Bachschenke 50 m südlich der Straße
4		4566900	5468123	441	CZ	3000	Waldrand	nördlich Wald, südlich Grünland, leicht abfallend
5		4569914	5467666	453	CZ	1100	Brachland (W), Grünland (O)	Bachschenke, 200 m westlich vom Waldrand
6		4571565	5466390	432	CZ	3050	Brachland	ehemaliger Grenzstreifen, freies Gelände, Bachufer
7		4570336	5466189	427	BY	2800	Grünland	zwischen Bundesstraße und Chamb, freies Gelände
8	D	4569068	5465925	444	BY	3100	Getreide und Grünland	20 m westl. der Straße (Parkbucht), in Osten z.T. Bäume
9	E	4569203	5464815	439	BY	4100	Grünland	Bachschenke, 300 m westlich Waldrand
10		4569937	5464237	433	BY	4600	Grünland	Gelände nach Süden abfallend, im Norden Wald
11		4572027	5465036	422	BY	4300	Grünland, Brachland	freies Gelände an der Grenze, nördl. Brachland, südl. Wald 200 m
12		4572518	5464610	427	BY	5100	Grünland, Brachland	freies Gelände an der Grenze, nördl. Brachland, südl. Wald 300 m
13		4569808	5463309	438	BY	5600	Mais (W), Grünland	hügeliges Gelände in der Umgebung mehrere Höfe
14	A	4569902	5466986	472	BY	1900	Brachland (N), Grünland (S)	an der Grenze im freien, hügeligen Gelände
15	B	4569517	5467105	446	BY	1800	Mais (N), Grünland (S)	an der Grenze im freien, hügeligen Gelände
16		4567996	5467642	447	BY	2100	Waldrand, Grünland	südöstlich Grünland, sonst Wald
17	C	4568287	5467028	449	BY	2300	Grünland	freies Gelände, im Westen z.T. Bäume und Sträucher
18		4567887	5466652	447	BY	2950	Waldrand	In einer Waldschneise an der Straße, hügelige Gelände
19		4567399	5466986	457	BY	3000	Grünland (O), Mais (W)	auf einer Geländekuppe
20		4566410	5466974	461	BY	4000	Grünland	Bachschenke, vereinzelt Bäume, 200 m südöstlich von Wald
21		4565513	5466005	458	BY	5200	Grünland	am Bach, 100 m westlich vom Wald
22		4565591	5467922	438	BY	4300	Grünland	freies Gelände an der Straße, nach Westen ansteigend
23		4564842	5468098	438	BY	5250	Grünland, Weizen	hügeliges Gelände, teilweise von Wäldern umgeben
24		4567277	5465409	442	BY	4300	Getreide, Obst, Grünland	in der Nähe eines kleinen Hofes, von N und O mit Wald umgeben
25		4567024	5464602	445	BY	4850	Grünland, Waldrand	50 m östlich vom Waldrand, sonst freies Gelände
26		4570180	5468905	465	CZ	200	Mais (NW), Getreide (SW)	östlich der Hühnerfarm im freien Gelände
27		4570099	5468935	463	CZ	150	Mais (O), Brachland	nördlich der Hühnerfarm
	F	4568754	5463573	441	BY	5500	Grünland, Waldrand	50 m südlich Wald, sonst freies Gelände mit Grünland und Raps
	M	4569844	5466831	463	BY	2000	Grünland	100 m nördlich von Anwesen, freies Gelände

4. Eingesetzte Messverfahren

4.1. Passivsammler zur Messung der Ammoniakimmissionskonzentration in der Luft

Passivsammler sind relativ einfach zu handhabende Messsysteme, die sich gut zur Ermittlung der räumlichen Verteilung von Luftschadstoffen eignen. Die Charakteristik von Passivsammlern allgemein und die Eignung des für diese Messungen ausgewählten Sammlers sind im GSF-Bericht 18/98 "Validierung von Passivsammlern zur Messung von Ammoniak im Freiland" (KIRCHNER et al., 1999a) zusammengestellt.

Der in den Untersuchungen eingesetzte Passivsammler (Ammoniak) stammt von der Bundesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, in Braunschweig, die auch die Analysen übernimmt. Dieser Passivsammler ist eine Modifizierung des vom Swedish Environmental Research Institut (KIRCHNER et al., 2000b) entwickelten Sammlers, welcher seinerseits eine Weiterentwicklung des Sammlers von Palmes darstellt. Er gehört zur Klasse der Badge-Sammler; durch Verkürzung der Diffusionsstrecke und Vergrößerung der Einlassfläche wird die Nachweisgrenze deutlich verbessert. Da die Einlassöffnung des Sammlers mit einer Membran geschützt ist, wird die turbulente Zone vermindert und die Sammelrate kann somit konstant gehalten werden.

Der Passivsammler von Typ 'Badge' besteht aus einem Polypropylentubus (Länge 10 mm, Öffnung 20 mm), der zur Exposition senkrecht befestigt wird. Die obere Tubusöffnung wird mit einem Schnappdeckel aus Polyethylen verschlossen. In diesem befestigt befindet sich ein beschichtetes Filter aus Zellulose (Schleicher & Schuell, Porengröße 0,45 µm). Die untere Öffnung wird von einem PTFE Filter (Millipore, Durchmesser 25 mm, Porengröße 1,0 µm) verschlossen. Dieser wird mit einem Edelstahlnetz (Maschenweite 0,125 mm, Drahtdurchmesser 0,08 mm) stabilisiert und vor grober Verschmutzung geschützt. PTFE Filter und Stahlnetz werden mit Hilfe eines zweiten Schnappdeckels auf den Tubus gedrückt. Er hat eine gestanzte Öffnung von 20 mm, die gleichzeitig die Sammelöffnung des Passivsammlers darstellt.

Zur Abscheidung von Ammoniak wird der Zellulosefilter mit demineralisiertem Wasser vorgewaschen (2 mal 30 min im Ultraschallbad), im Exsikkator getrocknet und dann mit 50 µl einer Lösung von Zitronensäure in Aceton (2%) imprägniert. Nach Trocknung der Filter im Exsikkator (10 min) wird der Passivsammler zusammengebaut und bis zur Exposition in einem gasdichten Transportcontainer (PP) aufbewahrt.

Nach Beendigung der Exposition werden die Passivsammler im Labor mit jeweils 5 ml demineralisiertem Wasser quantitativ im Ultraschallbad extrahiert. Die Analyse erfolgt schließlich photometrisch mit Hilfe der Segment Flow Analyse.

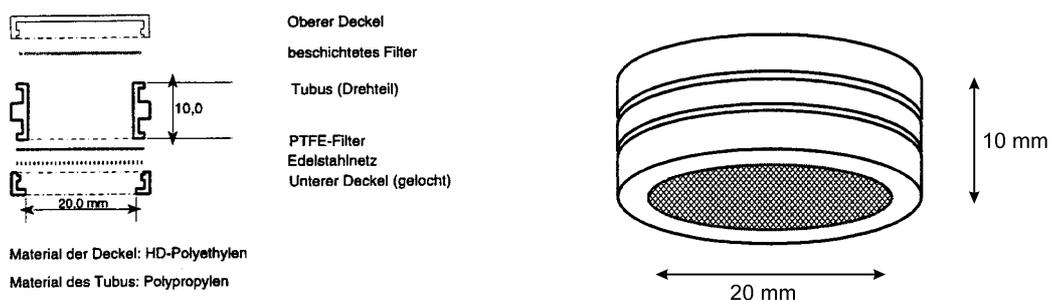


Abb. 3: Aufbau des Passivsammlers (Ammoniak)

Die Menge des auf dem beschichteten Filter absorbierten Ammoniums hängt von verschiedenen Faktoren ab:

$$c(\text{NH}_3) = \frac{n(\text{NH}_3)}{t \cdot D(\text{NH}_3)} \left(\frac{l_R}{A_R} + \frac{l_F}{A_F} + \frac{l_M}{A_M} + \frac{l_{\text{LBL}}}{A_{\text{LBL}}} \right), \quad (1)$$

- c = Außenkonzentration
- n = gesammelte Stoffmenge
- t = Expositionszeit
- D = Diffusionskoeffizient für Ammoniak
- l = Länge des Röhrchens (R), Dicke d. Filters (F), Dicke d. Membrane (M),
Dicke d. laminaren Schicht vor d. Sammler (LBL)
- A = Querschnittsfläche des Röhrchens (R), des Filters (F), der Membrane (M),
der laminaren Schicht vor d. Sammler (LBL)

Der Einfluss der Windgeschwindigkeit kann durch den guten Schutz der Membran vernachlässigt werden, so dass im Inneren des Sammlers laminare Strömungsverhältnisse angenommen werden können. Unter der Annahme eines konstanten Diffusionskoeffizienten und bei einem konstanten Elutionsvolumen kann die Ammoniakimmissionskonzentration in der Außenluft wie folgt berechnet werden:

$$c(\text{NH}_3) = \frac{c(\text{NH}_4^+) - c(\text{NH}_4^+)_{\text{blank}}}{t} \cdot K, \quad (2)$$

- $c(\text{NH}_4^+)$ = Konzentration von Ammonium im Filtereluat ($\mu\text{g/l}$)
- $c(\text{NH}_4^+)_{\text{blank}}$ = Blindwert im Filtereluat ($\mu\text{g/l}$)
- t = Expositionszeit (s)
- K = Konstante (muss experimentell ermittelt werden)

Bei der Exposition werden die Sammler unter einer Aluminiumscheibe befestigt, um sie vor Wittereinflüssen wie direkte Sonneneinstrahlung und Regen zu schützen. Die Höhe über dem Boden sollte nach Erfahrungen aus dem Vergleichsversuch der GSF mindestens 1 m betragen.

Die Sammler können nach der Exposition im Kühlschrank mindestens einen Monat gelagert werden. Bei einer Expositionszeit von einem Monat liegt der Messbereich für Ammoniakimmissionskonzentrationen im Bereich von 0,1 bis 100 $\mu\text{g/m}^3$.

4.2. Kontinuierliche Ammoniakbestimmung mittels Denudersystem

Nach der Inbetriebnahme der Hühnerfarm wurden für einige Wochen vor und nach der ersten großflächigen Ausbringung von Hühnermist, die südöstlich der Anlage etwa auf halbem Weg nach Všeruby erfolgte, grenznah auf bayerischem Gebiet (Messpunkt M) kontinuierliche Ammoniakimmissionskonzentrationsmessungen durchgeführt, um mögliche Effekte ermitteln zu können.

Zur kontinuierlichen Messung der Immission von Ammoniak auch in geringen Konzentrationen wurde das Wet Annular Denuder System (AMOR) verwendet (KIRCHNER et al., 1999a). Bei dem von der Netherlands Energy Research Foundation (ECN) entwickelten Verfahren wird die Umgebungsluft durch einen rotierenden Denuder gepumpt. Das gasförmige Ammoniak absorbiert im Denuder in einer schwach sauren Absorptionslösung, welche in Gegenrichtung durch den Denuder geleitet wird und in Folge der Rotation die Denuderoberfläche gleichmäßig mit einer dünnen Schicht bedeckt.

Die mit Ammonium angereicherte Probenlösung wird anschließend alkalisch gemacht und entlang einer Membran in den Leitfähigkeitsdetektor geführt. Einige der gebildeten freien Ammoniakmoleküle durchdringen die Membran und gelangen in einen Gegenstrom von destilliertem Wasser, in dem die Leitfähigkeit gemessen wird. Sie ist ein Maß für die Ammoniakimmissionskonzentration in der Außenluft. Diese Methode ist sehr selektiv und unabhängig von der Luftfeuchtigkeit; bei einer Zeitauflösung von 2 Minuten liegt der Messbereich zwischen 0,05 und 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

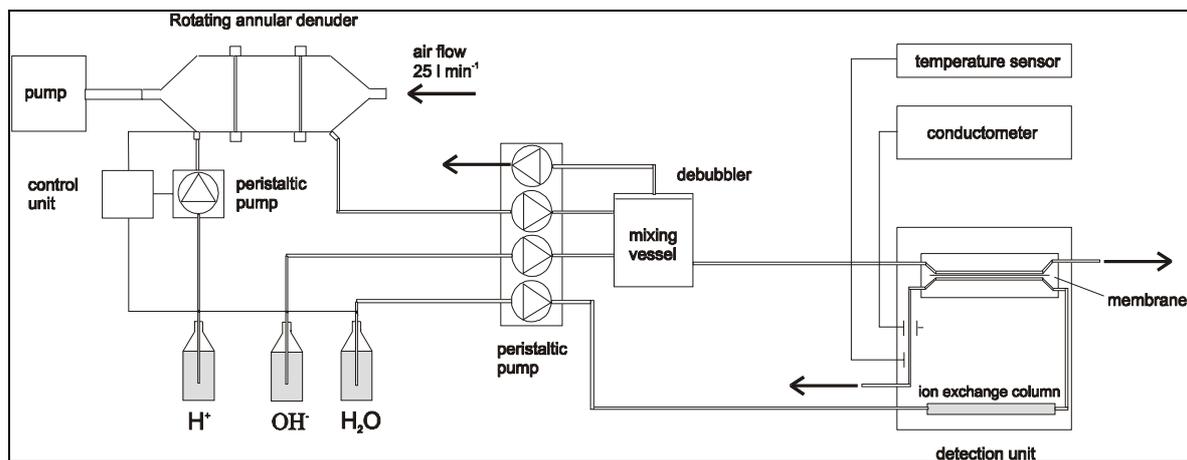


Abb. 4: Aufbau des automatisierten Denuders AMOR zur kontinuierlichen Messung von Ammoniak

4.3. Ammonium- und Nitratdepositions-messung

Um die Ammonium- und Nitratdeposition im Untersuchungsgebiet zu ermitteln, wurden offene Niederschlagssammler, sog. Bulks, an 6 Messpunkten (A bis F) installiert (Abb. 2). Es handelt sich um Sammler (RS-200), die vom Landesamt für Wald und Forstwirtschaft entwickelt wurden. Der Trichter mit einer Öffnung von 314,16 cm² und der ca. 5 l fassende Auffangbehälter bestehen aus Polyethylen. Im Verbindungsstück schützt ein Schmutzfilter aus PE die Probe vor Verunreinigungen. Die Bulksammler werden so installiert, dass sich die Öffnung ca. 2 m über dem Boden befindet.

Nach der 4-wöchigen Expositionszeit wurden vor Ort die Niederschlagsmenge, der pH-Wert und die Leitfähigkeit bestimmt. Im Labor wurden schließlich neben den für diese Untersuchungen relevanten Ionen Nitrat und Ammonium auch die Anionen SO₄²⁻, PO₄³⁻ und Cl⁻ sowie die Kationen Na⁺, K⁺, Ca²⁺ und Mg²⁺ mittels Ionenchromatographie ermittelt.

Bei der Bulk-Deposition werden die nassen und sedimentierbaren staubförmigen Anteile der Deposition (Partikeldurchmesser > 100 μm) berücksichtigt. Gas- und partikelförmige Anteile (Partikeldurchmesser < 100 μm) werden mit dieser Methode nicht bzw. nur teilweise erfasst. Da es in der vorliegenden Untersuchung jedoch vor allem auf einen Vergleich der Verhältnisse vor und nach der Inbetriebnahme der Hühnerfarm ankam, stellte die Verwendung der Bulksammler dennoch eine akzeptable Möglichkeit zur Abschätzung der Ammonium- und Nitratdeposition dar.

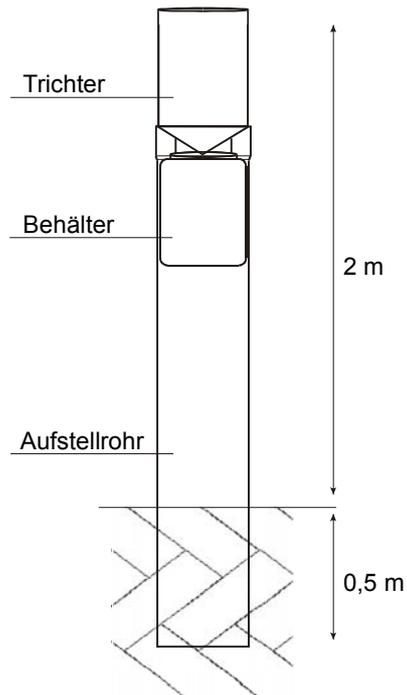


Abb. 5: LWF-Niederschlagssammler (Bulksammler zur Messung der Ammonium- und Nitratdeposition)

4.4 Unsicherheiten bei der Immissions- und Depositionsmessung

Aus dem in Aidling/Riegsee durchgeführten Passivsammlervergleichsversuch (Ammoniak) ergab sich für die vierwöchige Variante des verwendeten Sammlers (Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft) eine gute Übereinstimmung mit dem Referenzgerät. Die Reproduzierbarkeit der Einzelmessungen erwies sich im Vergleich zum wesentlich teureren Sammler des Swedish Environmental Research Institute zwar als eingeschränkt, liegt aber bei 9 ausgetesteten Diffusionssammlern im Mittelfeld. Hinsichtlich der meteorologischen Parameter lagen keine Abhängigkeiten vor (KIRCHNER et al., 1999a).

Bei der Bulkniederschlagsmessung können sich durch die Aufstellung der Geräte auf Grund von Unterschieden in der Anströmung Abweichungen bis zu 15 %, bei Schneeniederschlag bis 30% ergeben. Hinsichtlich der Analysen der Ionengehalte können die Unsicherheiten beim Ammonium bei 10 % und beim Nitrat bei 15 % liegen (KIRCHNER et al., 2000). Bei der hier durchgeführten Freilanddepositionsmessung können weder Aussagen auf den Eintrag in Waldbeständen noch Extrapolationen auf andere Pfade (insbes. gasförmig) getroffen werden.

4.5 Erfassung der meteorologischen Parameter

Zur besseren Interpretation der Ergebnisse wurde ca. 150 m südwestlich der deutsch-tschechischen Grenze am Standort M (Nähe Anwesen Pongratz) eine meteorologische Messstation errichtet. Der Standort wurde aufgrund der relativ freien Exposition nach allen Richtungen bzw. der guten Anströmbarkeit gewählt. Er liegt leicht erhöht ca. 2 km südlich der Hühnerfarm. Die Lage der Station kann aus meteorologischer Sicht als weitgehend repräsentativ für Freilandstandorte im nördlichen Ortsbereich von Eschlkam bezeichnet

werden. Entscheidend für die Standortwahl waren auch infrastrukturelle Voraussetzungen; über ein durch die GSF vom Anwesen zur Station verlegtes Erdkabel bestand die Möglichkeit einer Stromversorgung.

Die meteorologische Station bestand aus einem 10 m hohen Masten, an dem folgende Parameter ermittelt wurden:

- Windrichtung (in 10 m Höhe)
- Windgeschwindigkeit (in 10 m Höhe)
- Windgeschwindigkeit (in 3 m Höhe)
- Temperatur (in 2 m Höhe)
- relative Luftfeuchte (in 2 m Höhe)

Die Daten wurden im 2 Minutentakt aufgenommen und als Halbstundenmittel gespeichert. Messausfälle traten insbesondere durch Überspannungen (ggf. Blitzschlag) gelegentlich auf.

5. Ergebnisse der Messungen vor Inbetriebnahme der Hühnerfarm (Phase 1)

5.1. Passivsammler (Ammoniak)

In Tab. 3 sind die Ergebnisse der Passivsammleruntersuchungen für den Zeitraum 06.04.00 bis 13.09.00 vor Inbetriebnahme der Hühnerfarm dargestellt. Die Ergebnisse der Ammoniakimmissionskonzentrationen liegen mit Mittelwerten der jeweiligen Messstellen zwischen 2 und 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ im typischen Bereich für landwirtschaftlich genutzte Gebiete mit überwiegender Grünlandnutzung (KIRCHNER et al., 2000, ZIMMERLING et al., 2000). Vereinzelt Monatsmittel zwischen 10 und 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lassen auf zwischenzeitliche Gülleausbringung schließen. Die Ergebnisse einer kurzen Pilotuntersuchung an der Grenze (Nähe zu Messpunkten 14 und 15) im März 2000 (d.h. vor der eigentlichen Messphase) wiesen unauffällige Werte auf und werden deswegen nicht eigens aufgeführt.

Insgesamt wird deutlich, dass mit der Intensität der Gülleausbringung die Konzentrationen ansteigen; Messpunkte, die am Waldrand liegen, weisen in der Regel geringere Ammoniakimmissionen auf, da dort an den (z.T. feuchten oder nassen) Oberflächen eine schnelle Umsetzung zu Ammoniumsalz stattfindet. Die geringsten Ammoniakimmissionen wurden grenznah auf tschechischer Seite ermittelt, da dort die Viehdichte geringer ist, der Prozentsatz an Öd- bzw. Brachland insgesamt hoch ist und damit besonders an der Grenze weniger Gülle ausgebracht werden dürfte.

Tab. 3: Ergebnisse der Passivsammlermessungen der GSF hinsichtlich Ammoniak vor Inbetriebnahme der Farm

Standort	06.04 - 26.04	26.04 - 23.05	23.05 - 22.06	22.06 - 19.07	19.07 - 16.08	16.08 - 13.09	Mittelwert der Messstelle über den gesamten Zeitraum
	00/13 NH ₃ [µg/m ³]	00/17 NH ₃ [µg/m ³]	00/21 NH ₃ [µg/m ³]	00/25 NH ₃ [µg/m ³]	00/29 NH ₃ [µg/m ³]	00/33 NH ₃ [µg/m ³]	
1	4,9	6,8	4,7	5,9	7,2	4,3	5,6
2/I	3,1	6,5	1,9	3,5	3,4	2,2	3,5
2/II	2,7	5,5	1,9	3,6	3,2	3,6	3,4
2/ MW	2,9	6,0	1,9	3,5	3,3	2,9	3,4
3	4,0	4,0	3,2	3,3	2,1	4,0	3,4
4	2,7	4,3	1,9	2,7	1,9	2,6	2,7
5	4,3	6,5	4,0	3,2	2,4	2,9	3,9
6	2,1	2,7	0,5	2,3	1,7	6,1	2,6
7	6,3	10,8	5,0	2,2	2,8	2,2	4,9
8	10,5	9,3	7,0	4,2	4,2	13,8	8,1
9	11,6	21,7	4,0	6,0	5,5	10,7	9,9
10	6,2	5,5	8,7	5,0	4,1	7,1	6,1
11	2,1	5,8	1,9	2,3	2,3	5,6	3,3
12	2,5	2,0	1,9	2,9	1,8	2,8	2,3
13	7,6	8,1	7,1	9,0	6,6	8,0	7,8
14	7,4	6,5	5,0	5,7	4,6	6,1	5,9
15	8,6	11,3	3,2	19,9	4,6	4,6	8,7
16	2,4	2,8	2,0	2,8	1,9	2,1	2,3
17	5,2	6,6	3,7	6,2	3,0	9,7	5,7
18	2,8	3,2	13,8	3,6	2,6	10,0	6,0
19	9,2	12,6	1,0	8,8	6,8	7,3	7,6
20	3,2	6,9	10,7	10,4	3,4	8,6	7,2
21	7,0	6,3	0,8	5,2	3,1	6,9	4,9
22	5,0	4,9	11,1	4,5	5,0	19,2	8,3
23	3,0	3,7	14,2	11,4	3,7	4,0	6,7
24	3,0	4,1	1,0	4,3	4,1	7,6	4,0
25	4,8	6,7	19,3	4,6	5,9	7,1	8,1
26	2,7	5,7	14,2	5,7	2,9	2,8	5,7
27	2,5	3,9	1,0	4,1	5,5	3,0	3,3
Mittelwert über alle Messstellen	5,0	6,6	5,7	5,6	3,8	6,4	5,5

In Abb. 6 sind die mittleren Ammoniakimmissionskonzentrationen der einzelnen Messstellen in Abhängigkeit von ihrer Distanz von der Hühnerfarm aufgetragen. Auf Grund der Verteilung der Viehdichte mit höheren GV auf bayerischer und geringeren GV auf tschechischer Seite ergibt sich (statistisch nicht gesichert) eher eine Abnahme zur Farm hin.

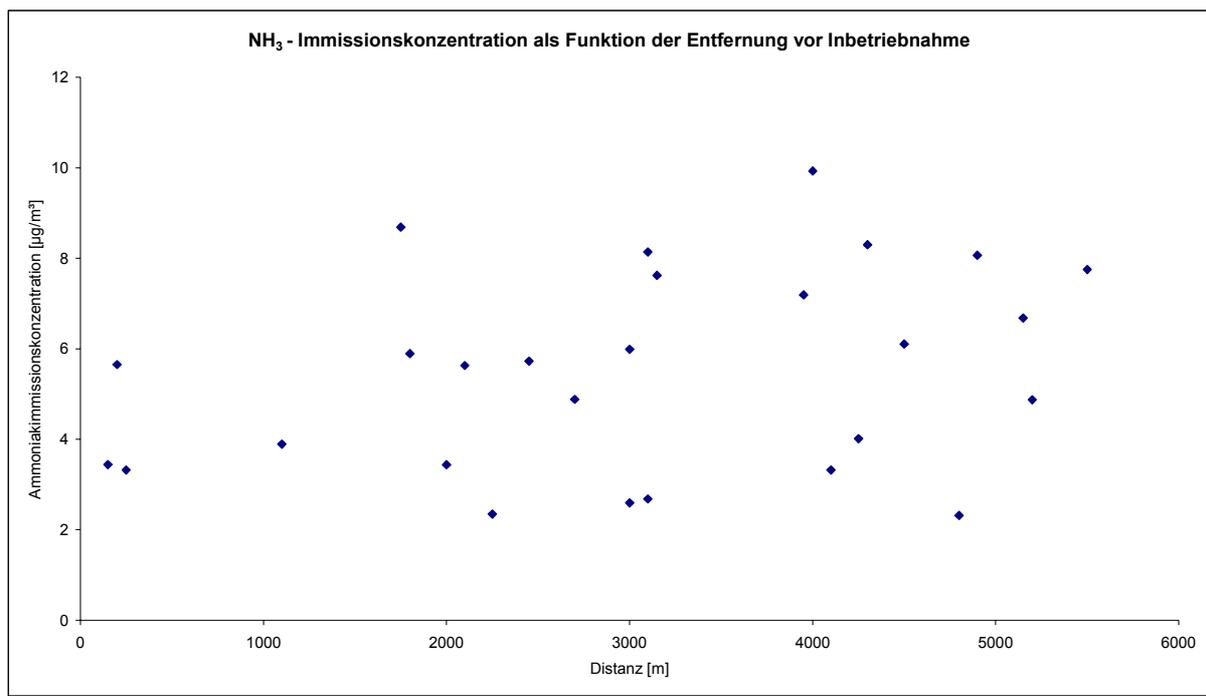


Abb. 6: Mittlere Ammoniakimmission an den Messpunkten in Abhängigkeit von der Entfernung zur Hühnerfarm während Phase 1 ($r^2=0.09$)

Entlang von sechs Transekten (Abb. 7), die sternförmig von der Hühnerfarm ausgehend nach SW bis SO (Stadt Furth im Wald / Gemeinde Eschlkam) zeigen und alle Messpunkte umfassen, soll nun der Verlauf der Immissionen nochmals dargestellt werden (Abb. 8 bis 14).

Der zeitliche Verlauf der Ammoniakimmissionskonzentrationen über die einzelnen Expositionsperioden läßt keinen Trend erkennen und erscheint eher zufällig; die Variabilität zwischen den einzelnen Messperioden ist relativ groß. Ursache hierfür ist die Tatsache, dass sich lokale Gülleausbringungen bereits nicht mehr in wenigen km Entfernung und nach wenigen Tagen im Ammoniakgehalt der Luft nachweisen lassen. Vor dem Hintergrund der Lage der Kleinemittenten zeigen sich vor Inbetriebnahme somit höhere Ammoniakimmissionskonzentrationen eher in größerer Entfernung von der Hühnerfarm auf bayerischer Seite.

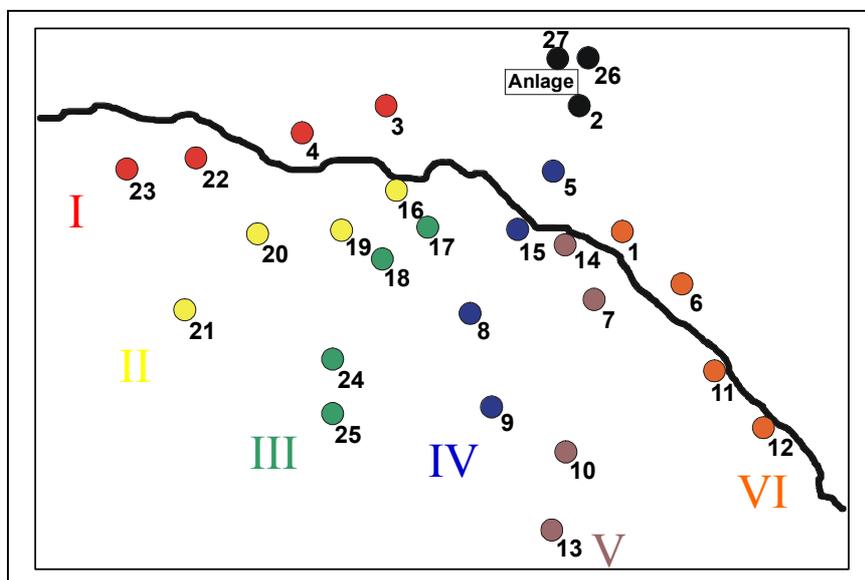


Abb. 7: Schematische Darstellung der verschiedenen Messtranssekte (I bis VI)

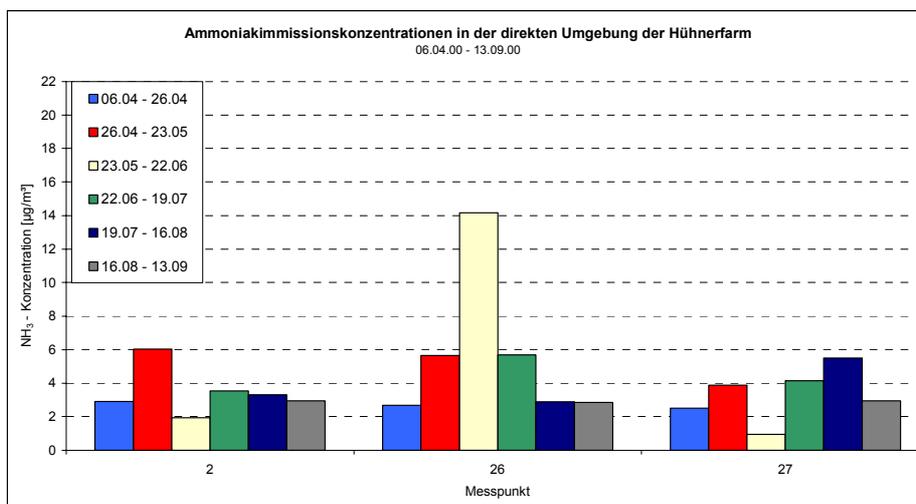


Abb. 8: Konzentrationsverlauf in der direkten Umgebung der Farm (Standorte 2, 26, 27) für Phase 1

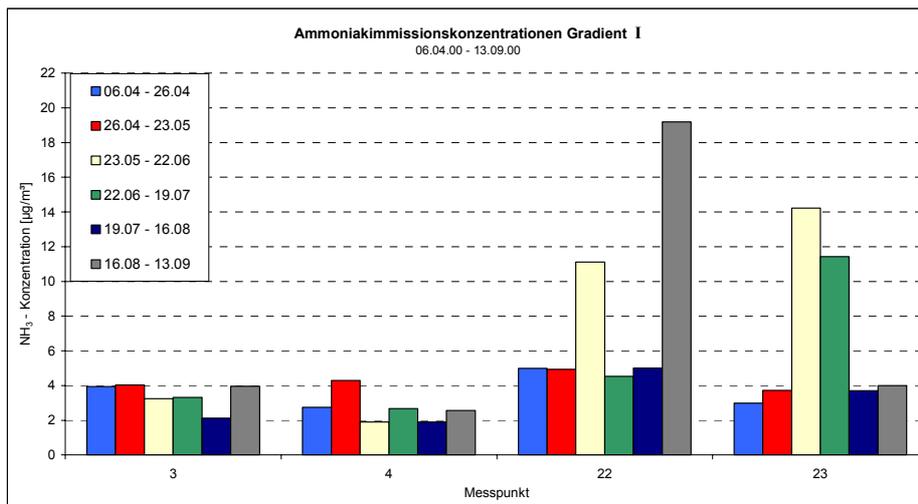


Abb. 9: Konzentrationsverlauf entlang dem Transsekt I (Standorte 3, 4, 22, 23) für Phase 1

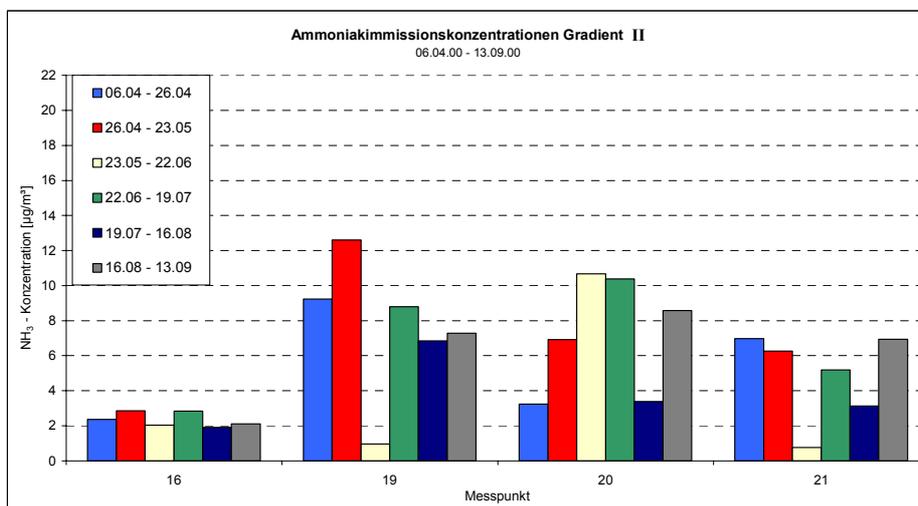


Abb. 10: Konzentrationsverlauf entlang dem Transsekt II (Standorte 16, 19, 20, 21) für Phase 1

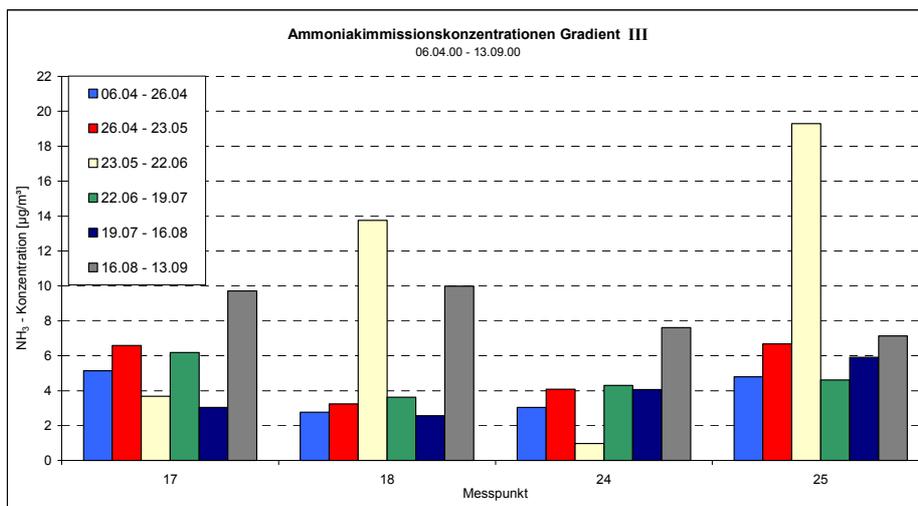


Abb. 11: Konzentrationsverlauf entlang dem Transsekt III (Standorte 17, 18, 24, 25) für Phase 1

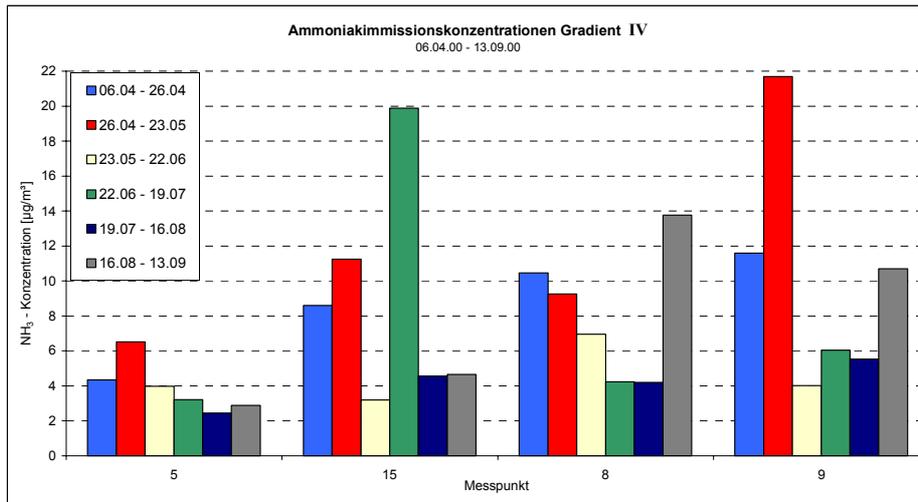


Abb. 12: Konzentrationsverlauf entlang dem Transsekt IV (Standorte 5, 15, 8, 9) für Phase 1

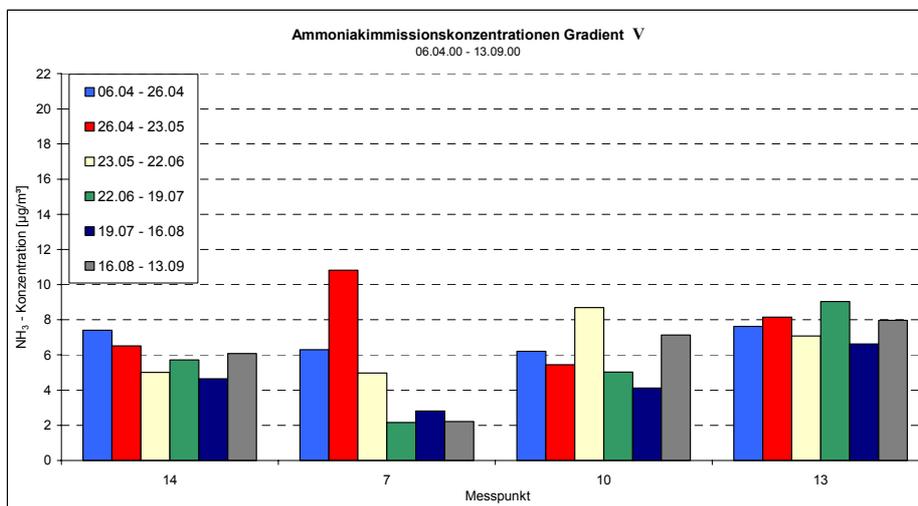


Abb. 13: Konzentrationsverlauf entlang dem Transsekt V (Standorte 14, 7, 10, 13) für Phase 1

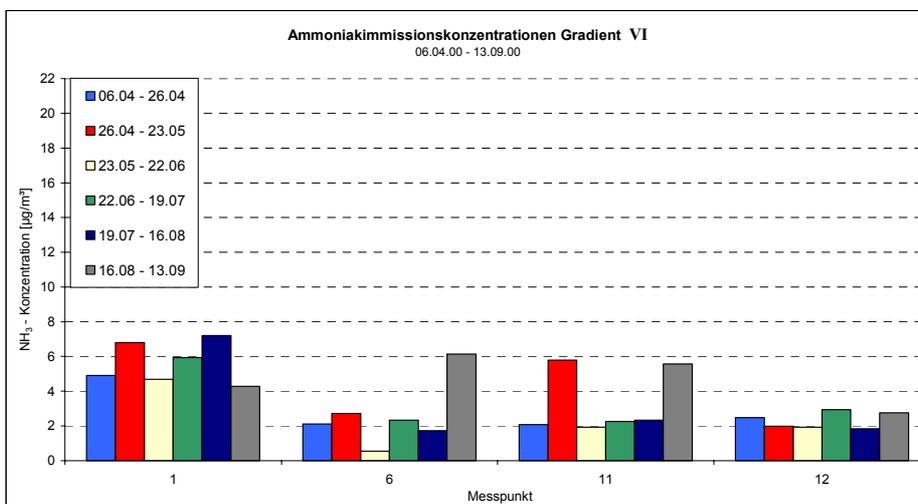


Abb. 14: Konzentrationsverlauf entlang dem Transsekt VI (Standorte 1, 6, 11, 12) für Phase 1

5.2. Bulkuntersuchungen (Ammonium- und Nitratdeposition)

In Tab. 4 und 5 werden die Ergebnisse der Ammonium- und Nitratdepositionsmessungen vor Inbetriebnahme der Anlage dargestellt. Nach einer augenscheinlichen Bewertung der Proben auf Verschmutzung und hinsichtlich einer Plausibilitätsprüfung bezüglich pH-Wert, Leitfähigkeit und den Ergebnissen der anderen untersuchten Ionen (v.a. Phosphat) mussten einige Proben wegen grober Verschmutzung und Algenbildung als für die Ergebnisberechnung unbrauchbar angesehen werden. Spritzer bei der Gülleausbringung, möglicherweise absichtliche Verunreinigungen, Vogelkot und Insekten sind hierfür verantwortlich zu machen. Von den sechs Sammlern waren A, B und F am häufigsten verschmutzt und/oder zeigten Algenbildung. Bei den übrigen Sammlern trat dies wesentlich seltener auf. Bei den vom Hygienischen Labor Klatovy durchgeführten Bulkuntersuchungen (Ammonium) auf tschechischer Seite traten ebenfalls derartige Verunreinigungen auf. Die Verunreinigungen sind so z.T. auch für die großen Schwankungen bei den Einträgen, die nicht mit der Ungenauigkeit bei der Niederschlagsmessung (max. 10%) erklärt werden können, verantwortlich.

Die Auswahl der für die Ergebnisberechnung heranzuziehenden Proben wurde auf Grund der Erfahrungen früherer Messungen hinsichtlich visueller Begutachtung und Einschätzung von pH-Wert, Leitfähigkeit, Phosphatgehalt etc. getroffen. Dennoch muss von einer Überschätzung des Freilandeintrags hinsichtlich Ammonium ausgegangen werden.

Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten wurden die mittleren Einträge pro Expositionsperiode bestimmt. Die Werte zeigen beim Ammonium einen positiven Gradienten vom Messpunkt F zum Messpunkt A (Tab. 4). Allerdings scheint Standort F durch Gülleausbringung im direkten Umfeld weniger belastet zu sein und steht im Einflussbereich eines Waldrandes, wo Ammoniak vermehrt ausgefiltert wird. Insgesamt muss diese Verteilung aber nicht zuletzt wegen der Probenauffälle als eher zufällig betrachtet werden. Im Gegensatz zum Ammonium zeigt sich beim Nitrat eine gleichmäßigere Verteilung über alle Standorte (Tab. 5).

Tab. 4: Ammoniumdeposition vor Inbetriebnahme der Hühnerfarm

Vor Inbetriebnahme			A				B				C				D				E				F				Mittel						
Messperiode	Von	Bis	NS	NH ₄	NH ₄	Amm-N	NS	NH ₄	NH ₄	Amm-N	NS	NH ₄	NH ₄	Amm-N	NS	NH ₄	NH ₄	Amm-N	NS	NH ₄	NH ₄	Amm-N	NS	NH ₄	NH ₄	Amm-N	NS	NH ₄	NH ₄	Amm-N	NH ₄		
			mm	mg/l	kg/ha	kg/ha	mm	mg/l	kg/ha	kg/ha	mm	mg/l	kg/ha	kg/ha	mm	mg/l	kg/ha																
00/13	31.03.00	26.04.00	17,3	2,9	0,5	0,4	20,4	8,6	1,8	1,4	18,4	*	*	*	17,4	*	*	*	18,7	2,2	0,4	0,3	21,6	2,1	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
00/17	26.04.00	23.05.00	39,3	*	*	*	41,3	*	*	*	36,7	12,0	4,4	3,6	48,8	2,4	1,2	1,0	48,1	5,5	2,6	2,2	49,7	*	*	*	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	
00/21	23.05.00	22.06.00	29,4	9,0	2,7	2,2	27,6	12,1	3,3	2,8	29,4	0,2	0,1	0,1	29,2	0,3	0,1	0,1	36,5	0,3	0,1	0,1	37,0	*	*	*	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
00/25	22.06.00	19.07.00	79,6	5,4	4,3	3,5	82,8	*	*	*	77,0	6,0	4,6	3,8	79,3	1,5	1,2	0,9	75,8	0,9	0,7	0,6	85,9	0,9	0,7	0,6	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	
00/29	19.07.00	16.08.00	67,0	1,8	1,2	1,0	67,4	1,1	0,8	0,6	62,4	0,3	0,2	0,2	68,2	6,7	4,6	3,8	73,2	0,2	0,2	0,1	84,4	0,4	0,3	0,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
00/33	16.08.00	13.09.00	88,8	*	*	*	94,5	*	*	*	80,6	0,5	0,4	0,3	65,9	0,3	0,2	0,2	60,5	5,9	3,5	2,9	64,6	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Mittlerer Eintrag pro Periode			2,2 1,8				2,0 1,6				1,9 1,6				1,4 1,2				1,3 1,0				0,4 0,3										
Jahreseintrag (hochgerechnet)			28,0 23,0				25,4 20,9				25,1 20,6				18,7 15,4				16,3 13,4				4,9 4,0										

* wegen starker Verschmutzung der Probe kein Messwert

NS = Niederschlag, NH₄ = Ammoniumdeposition, Amm-N = Ammoniumstickstoffdeposition

Tab. 5: Nitratdeposition vor Inbetriebnahme der Hühnerfarm

Vor Inbetriebnahme			A				B				C				D				E				F				Mittel					
Messperiode	Von	Bis	NS	NO ₃	NO ₃	Nitr-N	NS	NO ₃	NO ₃	Nitr-N	NS	NO ₃	NO ₃	Nitr-N	NS	NO ₃	NO ₃	Nitr-N	NS	NO ₃	NO ₃	Nitr-N	NS	NO ₃	NO ₃	Nitr-N	NS	NO ₃	NO ₃	Nitr-N	NO ₃	
			mm	mg/l	kg/ha	kg/ha	mm	mg/l	kg/ha	kg/ha	mm	mg/l																				
00/13	31.03.00	26.04.00	17,3	5,7	1,0	0,2	20,4	5,5	1,1	0,3	18,4	*	*	*	17,4	*	*	*	18,7	5,1	1,0	0,2	21,6	4,9	1,1	0,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
00/17	26.04.00	23.05.00	39,3	*	*	*	41,3	*	*	*	36,7	1,9	0,7	0,2	48,8	2,2	1,1	0,2	48,1	1,7	0,8	0,2	49,7	*	*	*	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
00/21	23.05.00	22.06.00	29,4	2,4	0,7	0,2	27,6	1,4	0,4	0,1	29,4	0,7	0,2	0,0	29,2	1,6	0,5	0,1	36,5	2,3	0,8	0,2	37,0	*	*	*	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
00/25	22.06.00	19.07.00	79,6	2,1	1,7	0,4	82,8	*	*	*	77,0	2,0	1,6	0,4	79,3	2,1	1,6	0,4	75,8	2,2	1,7	0,4	85,9	2,0	1,7	0,4	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
00/29	19.07.00	16.08.00	67,0	2,0	1,4	0,3	67,4	1,9	1,3	0,3	62,4	2,1	1,3	0,3	68,2	2,1	1,4	0,3	73,2	2,1	1,6	0,4	84,4	1,9	1,6	0,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
00/33	16.08.00	13.09.00	88,8	*	*	*	94,5	*	*	*	80,6	1,8	1,4	0,3	65,9	1,7	1,1	0,3	60,5	1,5	0,9	0,2	64,6	0,0	0,0	0,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Mittlerer Eintrag pro Periode			1,2 0,3				0,9 0,2				1,0 0,2				1,1 0,3				1,1 0,3				1,1 0,2									
Jahreseintrag (hochgerechnet)			15,3 3,4				12,1 2,7				13,6 3,1				14,8 3,4				14,6 3,3				14,1 3,2									

* wegen starker Verschmutzung der Probe kein Messwert

NS = Niederschlag, NO₃ = Nitratdeposition, Nitr-N = Nitratstickstoffdeposition

5.3. Meteorologie

Die Aufnahme der meteorologischen Parameter erfolgte im 2-Minuten Takt, die Daten wurden anschließend als Halbstundenmittelwerte gespeichert. Zwischen dem 23.05.00 und dem 22.06.00 liegen keine Messwerte vor, da der Datenspeicher aufgrund einer Überspannung (Gewitter) gelöscht wurde. In den Abb. 15 und 16 sind Angaben zur Lufttemperatur und zu Windgeschwindigkeit zu finden. Tab. 6 zeigt in einer Übersicht die Windverteilung. Eine Aufteilung der mittleren Windgeschwindigkeit auf die verschiedenen Himmelsrichtungen sowie eine Windrichtungsverteilung sind Inhalt der Abb. 17 und 18; diese zeigen, dass die vorherrschenden Windrichtungen WSW bis SW und ONO bis N sind. Die mittlere Windgeschwindigkeit (ca. 2,1 m/s) in der betrachteten Zeit entspricht auch dem langjährigen Mittel.

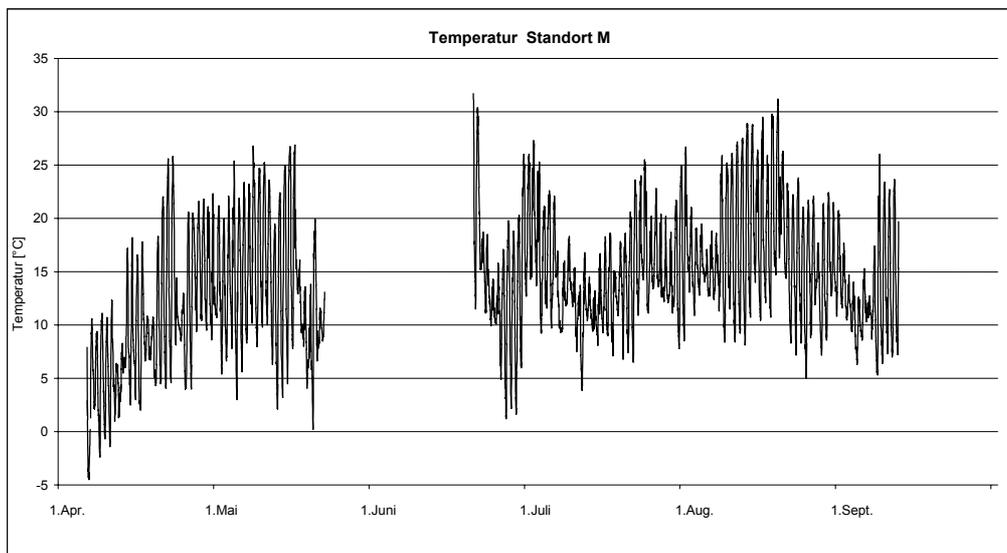


Abb. 15: Lufttemperatur am Standort M (Phase 1)

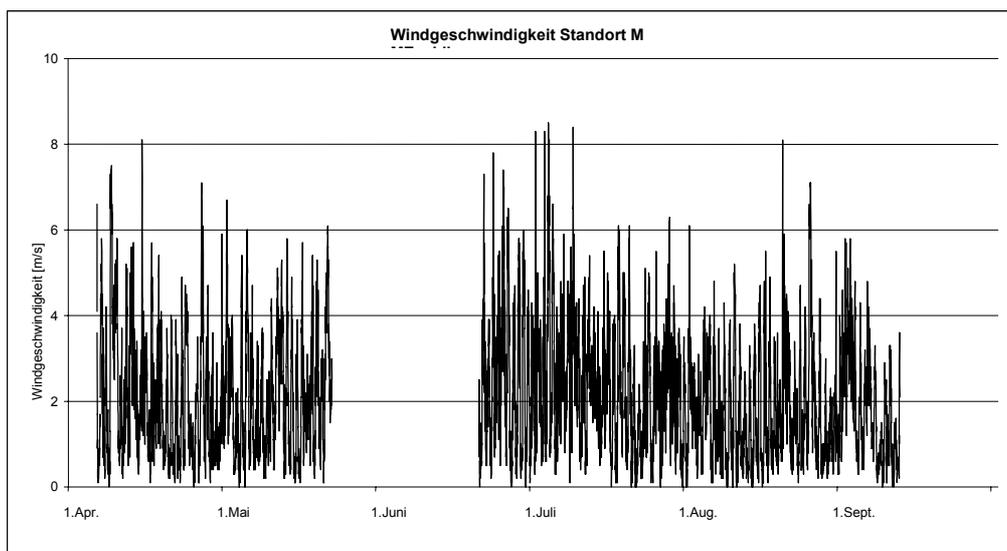


Abb. 16: Windgeschwindigkeit am Standort M (Phase 1)

Tab. 6: Windrichtungsverteilung an der Messfläche M (Phase 1)

vorhandene Vergleichsdaten		6265 Halbstundenmittel		= 131 Tage		Messausfall: 23.05.00 - 21.06.00											
Mittlere Windgeschwindigkeit				2,09 m/s													
Anteil der Windrichtungen	N	NNO	NO	ONO	O	OSO	SO	SSO	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	nicht definiert
	6,9%	5,7%	6,6%	6,1%	4,1%	2,8%	1,9%	1,6%	3,2%	7,3%	16,2%	15,5%	6,5%	2,9%	2,1%	3,9%	7%
Windgeschw. - Windrichtung	N	NNO	NO	ONO	O	OSO	SO	SSO	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Windgeschw.
Mittelwert [m/s]	2,0	1,7	1,9	2,8	1,6	1,1	0,9	1,1	1,7	2,2	2,4	2,8	3,0	2,4	1,8	1,7	< 0,5 m/s

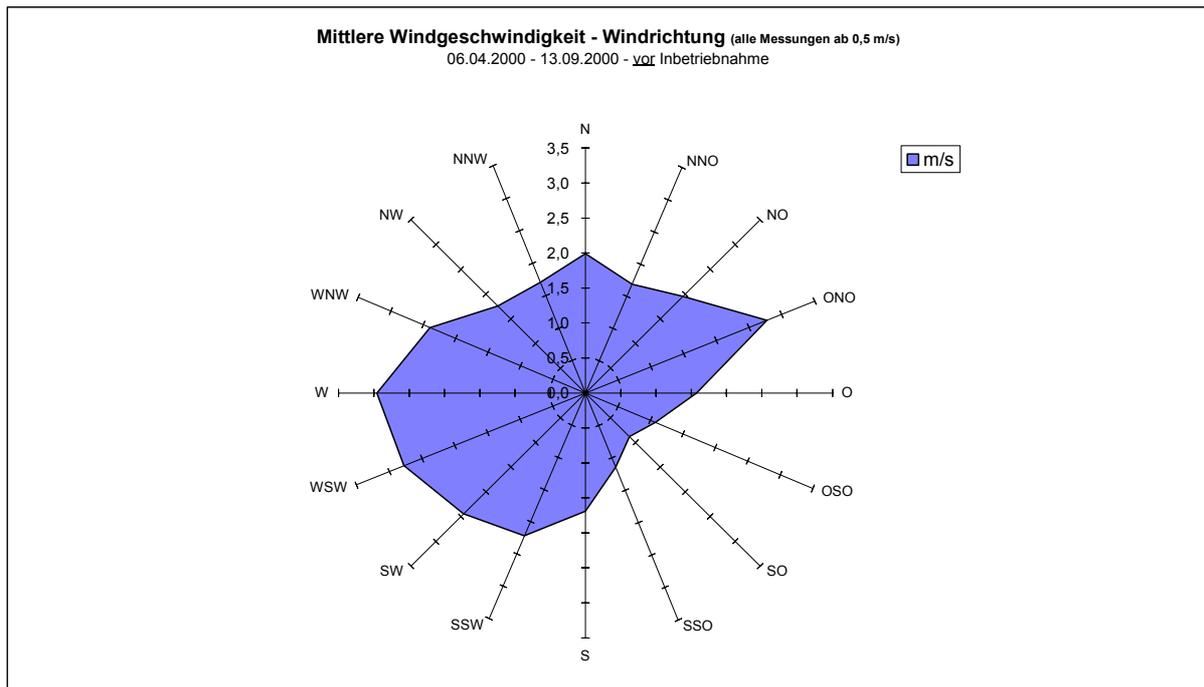


Abb. 17: Windgeschwindigkeitsverteilung am Standort M (Phase 1)

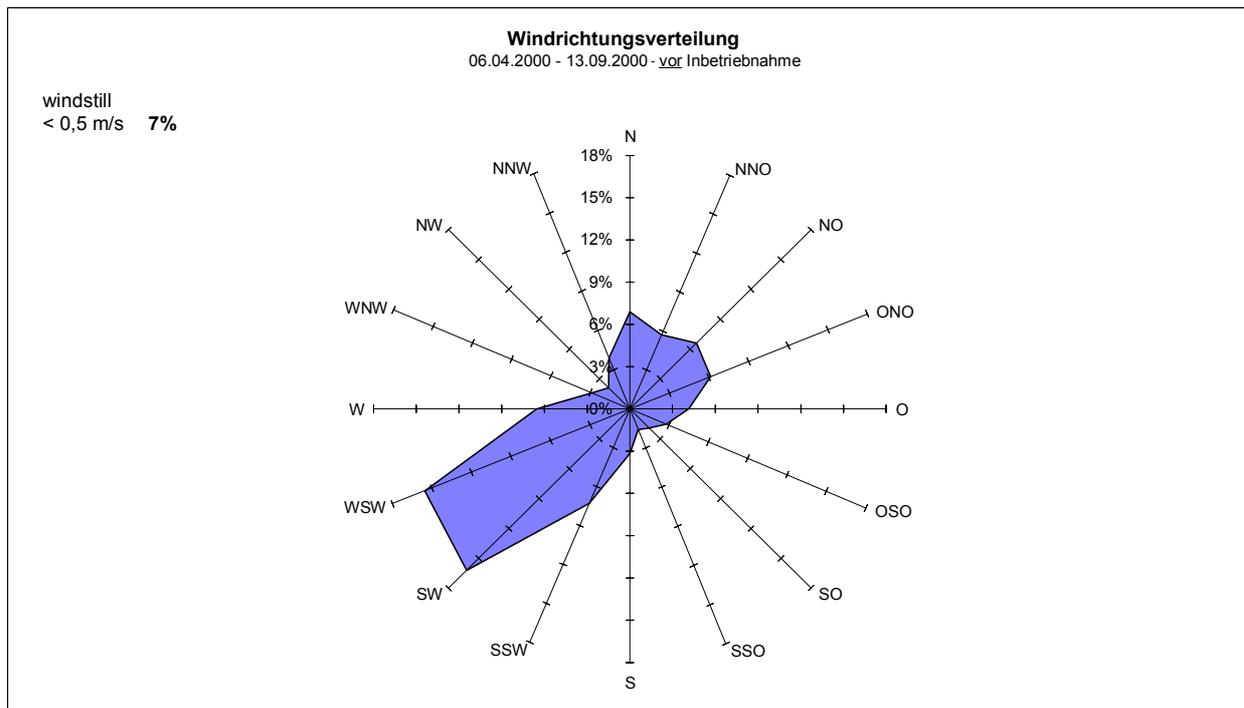


Abb. 18: Windrichtungsverteilung am Standort M (Phase 1)

6. Ergebnisse der Messungen nach Inbetriebnahme der Hühnerfarm (Phase 2)

6.1. Passivsammler (Ammoniak)

Phase 2 des Untersuchungsprogramms umfasst die Zeit nach der Inbetriebnahme der Hühnerfarm. Die Hühnerkötterabfuhr auf tschechischer Seite fand im Dezember 2000 (bei Maxov), zwischen 25. und 30. April 2001 (östlich des Bestandes zwischen Hühnerfarm und dem Ort Všeruby) und am 21./22. August 2001 (westlich des Bestandes zwischen Hühnerfarm und Všeruby) statt. Auf den bayerischen Flächen wurde ab März 2001 kontinuierlich Gülle ausgebracht; der Schwerpunkt hierfür lag laut einer Befragung der betroffenen Landwirte im Zeitraum 25. April bis 21. Mai 2001.

In Tabelle 7 sind die Ergebnisse der Passivsammleruntersuchungen der GSF im Zeitraum 13.09.00 bis 12.09.01 dargestellt.

Zu erkennen sind relativ hohe Werte in der Zeit von Ende April bis Mitte Juni 2001 an den Messpunkten 15, 8, 9, 19 und 23; die Ursache hierfür ist in der lokalen Gülleabfuhr im Umfeld dieser Messpunkte zu suchen.

Tab 7: Ergebnisse der Passivsammlermessungen der GSF (hinsichtlich Ammoniak) nach Inbetriebnahme der Farm

Standort	13.09-10.10	10.10-07.11	07.11-05.12	05.12-03.01	03.01-31.01	31.01-27.02	27.02-27.03	27.03-25.04	25.04-21.05	21.05-20.06	20.06-17.07	17.07-13.08	13.08-12.09	Mittelwert der Messstelle über den gesamten Zeitraum
	00/37 NH ₃ [µg/m ³]	00/41 NH ₃ [µg/m ³]	00/45 NH ₃ [µg/m ³]	00/49 NH ₃ [µg/m ³]	01/01 NH ₃ [µg/m ³]	01/05 NH ₃ [µg/m ³]	01/09 NH ₃ [µg/m ³]	01/13 NH ₃ [µg/m ³]	01/17 NH ₃ [µg/m ³]	01/21 NH ₃ [µg/m ³]	01/25 NH ₃ [µg/m ³]	01/29 NH ₃ [µg/m ³]	01/33 NH ₃ [µg/m ³]	
1	3,3	6,1	3,9	2,4	2,4	2,2	2,7	3,4	8,7			3,7		3,9
2/I	2,6	3,7	5,1	3,1	7,7	2,0	3,7	7,8	9,8		3,7	4,8	9,1	5,2
2/II	2,2	3,6	4,5	3,4	6,3	1,8	5,0	4,8	9,0		4,8	4,5	9,5	4,9
2/ MW	2,4	3,6	4,8	3,2	7,0	1,9	4,4	6,3	9,4		4,2	4,7	9,3	5,0
3	1,8	2,7	1,2	2,8	1,9	0,9	2,3	1,5	3,0		2,0	4,0	3,4	2,2
4	1,5	2,4	1,7	0,8	0,7	1,2	1,3	3,1	5,1		2,1	3,3	4,3	2,2
5	2,6	5,8	3,3	2,1	2,2	1,2	2,4	2,2	3,2		2,9	3,4	4,8	2,9
6	1,7	2,7	1,2	0,8	1,2	0,9	1,6	1,8	2,6		2,8	3,2	3,4	1,9
7	2,8	12,1	5,8	1,7	2,1	1,5	3,2	4,0	8,4		4,2	12,7	5,8	5,1
8	7,5	8,6	5,7	2,7	3,5	3,1	7,2	3,7	17,2		4,9	7,4	4,8	6,0
9	6,5	14,7	15,0	2,6	2,9	2,2	7,9	0,9	16,3		6,8	6,0	3,6	7,0
10	4,8	7,7	3,6	1,3	1,8	1,3	2,0	3,3	6,9		2,6	5,2	2,3	3,4
11	5,4	3,4	4,8	1,0	1,2	0,8	0,9	1,7	2,7		1,4	4,9	16,6	3,5
12	2,7	2,9	1,4	0,7	0,8	0,7	0,5	2,4	4,1		1,6	7,7	7,7	2,6
13	6,4	9,7	8,2	3,3	2,5	3,1	3,7	5,6	11,3		8,1	11,0	8,3	6,5
14	5,4	12,9	6,0	5,2	3,0	2,0	4,2	3,1	7,4		3,8	11,6	3,4	5,3
15	4,4	15,2	9,7	2,6	3,4	2,1	2,4	4,7	16,4		3,7	4,6	4,1	5,7
16	2,5	5,5	2,0	1,1	1,0	0,6	1,2	1,7			2,6	2,3	3,5	2,0
17	4,5	13,9	5,6	2,1	1,9	1,2	1,7	2,4	6,8		3,0	5,9	5,6	4,3
18	2,1	3,0	5,3	1,0	1,1	0,8	1,2	1,8	2,8		4,3	2,4	7,0	2,7
19	6,2	12,0	7,7	2,8		2,7	4,6	5,2	19,5		5,4	5,2		7,1
20	3,2	10,5	8,2	1,4	1,5	0,5	1,5	3,1	8,5		4,2	5,4	8,9	4,5
21	9,5	10,3	3,2	1,5	1,3	1,1	1,2	4,4	7,7		4,1	7,2	3,6	4,3
22	4,6	8,5	4,7	1,9	2,2	1,8	1,5	4,5	9,5		4,3	4,6	5,4	4,3
23	2,6	7,7	2,3	1,1	1,3	1,0	1,5	2,7	13,1		2,8	4,4	3,3	3,4
24	3,0	6,5	2,9	1,4	1,2	1,4	1,7	4,6	3,7		1,5	5,7	4,2	3,0
25	3,0	13,9	2,4	1,0	1,6	1,7	2,0	4,5	5,4		9,2	13,6	5,5	5,1
26	2,9	6,2							14,7		10,6	9,1	19,2	10,4
27	1,6	3,7	4,3	4,9	4,1	2,0	3,7	4,5	11,6		3,0	4,2	7,1	4,4
Mittelwert über alle Messstellen	3,9	7,9	4,6	2,0	2,0	1,5	2,5	3,2	8,4	3,9	5,9	5,9	1,9	4,4

Der Jahresmittelwert der Ammoniakimmissionskonzentrationen der einzelnen Messstellen lag wie bereits vor Inbetriebnahme der Hühnerfarm zwischen 2 und 10 µg/m³. Die Mittel der einzelnen Messperioden variierten zwischen 1,5 und 8,5 µg/m³. Dabei lagen die Werte in den Wintermonaten, in denen die Gülleausbringung per Verordnung untersagt ist, deutlich niedriger als während der übrigen Jahreszeiten, insbes. im Frühjahr. Die Monatsmittel einiger Standorte stiegen bis auf 20 µg/m³ an, was auf intensive Bewirtschaftung in unmittelbarer Nähe zurückzuführen ist. Insgesamt liegen die Ergebnisse wiederum im typischen Bereich für landwirtschaftlich genutzte Gebiete mit überwiegender Grünlandnutzung. Das Mittel über alle Messperioden und Stationen nahm im Vergleich zum Zeitraum vor der Inbetriebnahme leicht ab.

In Abb. 19 sind für den Zeitraum nach Inbetriebnahme der Hühnerfarm die mittleren Ammoniakimmissionskonzentrationen der einzelnen Messstellen der Messtranssekte I bis VI (vgl. Abb. 7) in Abhängigkeit von ihrer Distanz von der Hühnerfarm aufgetragen. Die Abbildung zeigt nach wie vor eine recht zufällige Verteilung. Ein statistisch gesicherter Zusammenhang zwischen Immission und Distanz von der Anlage liegt bei den gegebenen Messpunkten wie vor der Inbetriebnahme nicht vor.

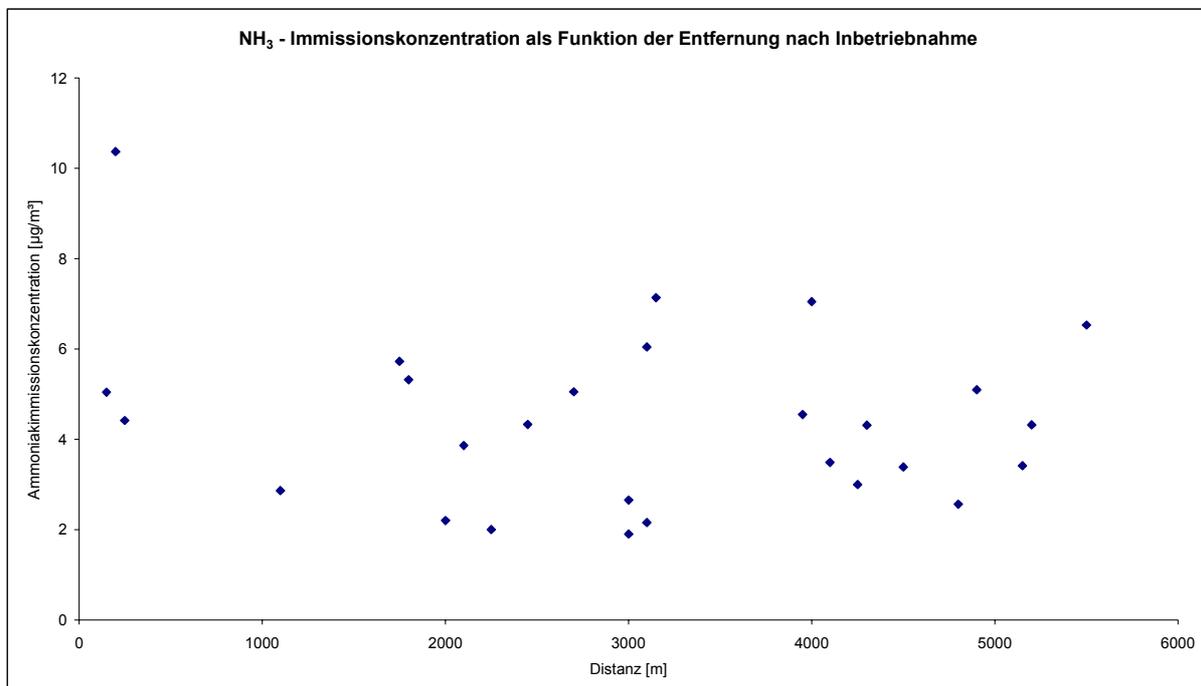
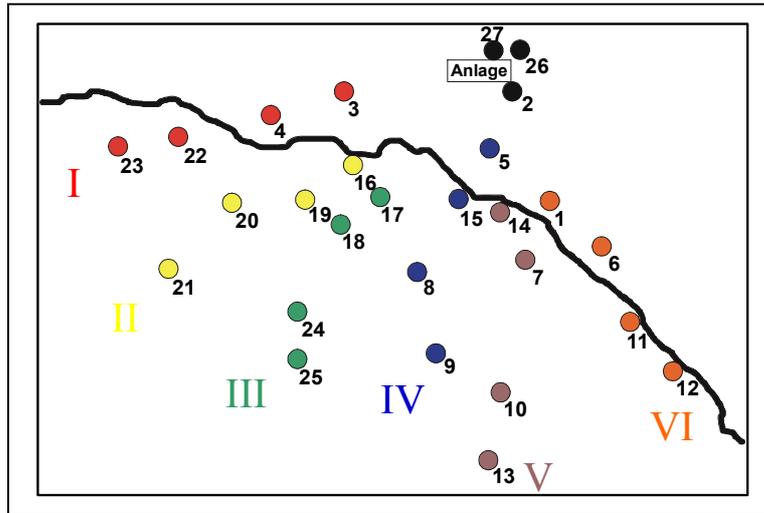


Abb. 19: Ammoniakimmission an den Messpunkten aller Messtranssekte (in Abhängigkeit von der Entfernung zur Hühnerfarm während Phase 2 ($r^2=0.03$))

Die Ergebnisse der Untersuchungen in verschiedenen Messtranssekten gemäß Abb. 7 zeigen die folgenden Abbildungen (Abb. 20 bis 26). Es ist zu erkennen, dass an den einzelnen Messpunkten die Konzentration stark schwankt. Abhängigkeiten ergeben sich von Ereignissen der Gülleausbringung. So ist an einigen Punkten die mittlere Ammoniakimmissionskonzentration Ende April bis Ende Mai 2001, einem Zeitraum, wo in Eschlkam besonders intensiv Gülle ausgebracht wurde, sehr hoch. An keinem der Messtranssekte konnte allerdings eine kontinuierliche Zunahme der Konzentrationen mit Annäherung an die Hühnerfarm beobachtet werden; somit sind mögliche von der Hühnerfarm ausgehende Effekte auf die Ammoniakimmissionskonzentration der Luft auf bayerischer Seite kaum zu erkennen. So geht z.B. aus Transsakt IV (Abb. 24) hervor, dass an Messpunkt 5 die Ammoniakimmissionskonzentrationen während aller Messintervalle geringer als an Messpunkt 15 sind; ähnliches gilt auch für die übrigen Transsekte.

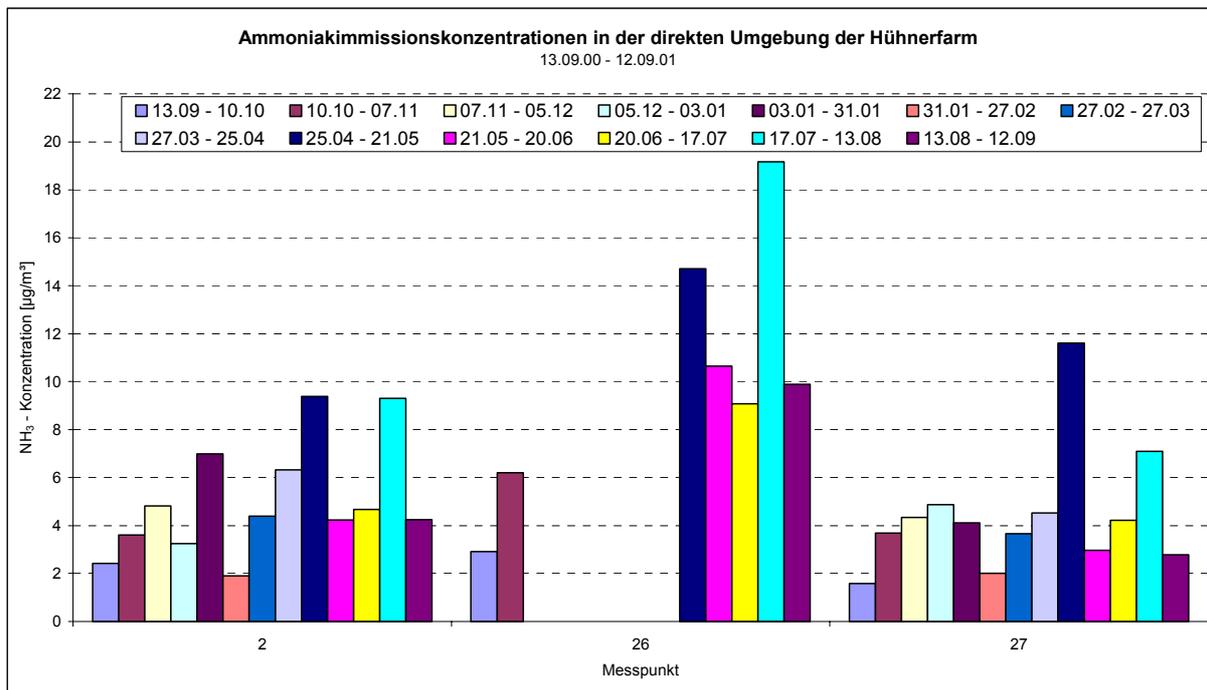


Abb. 20: Konzentrationsverlauf in der direkten Umgebung der Farm (Standorte 2, 26, 27) für Phase 2

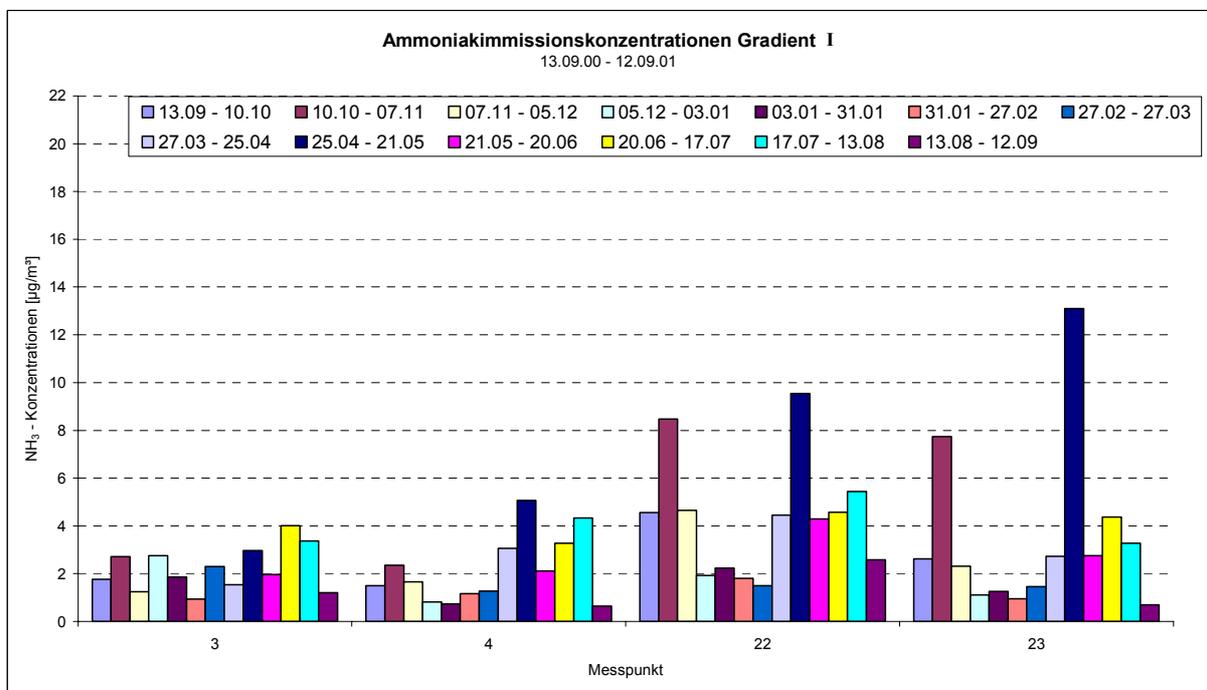


Abb. 21: Konzentrationsverlauf entlang dem Transsekt I (Standorte 3, 4, 22, 23) für Phase 2

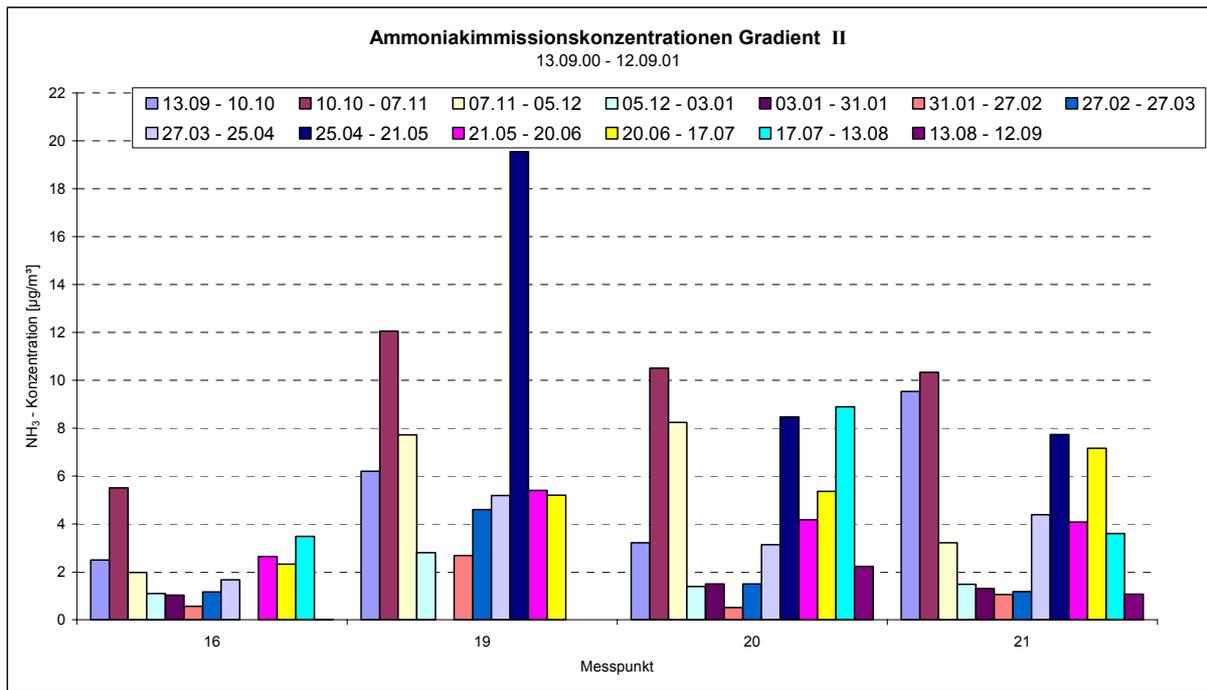


Abb. 22: Konzentrationsverlauf entlang dem Transsekt II (Standorte 16, 19, 20, 21) für Phase 2

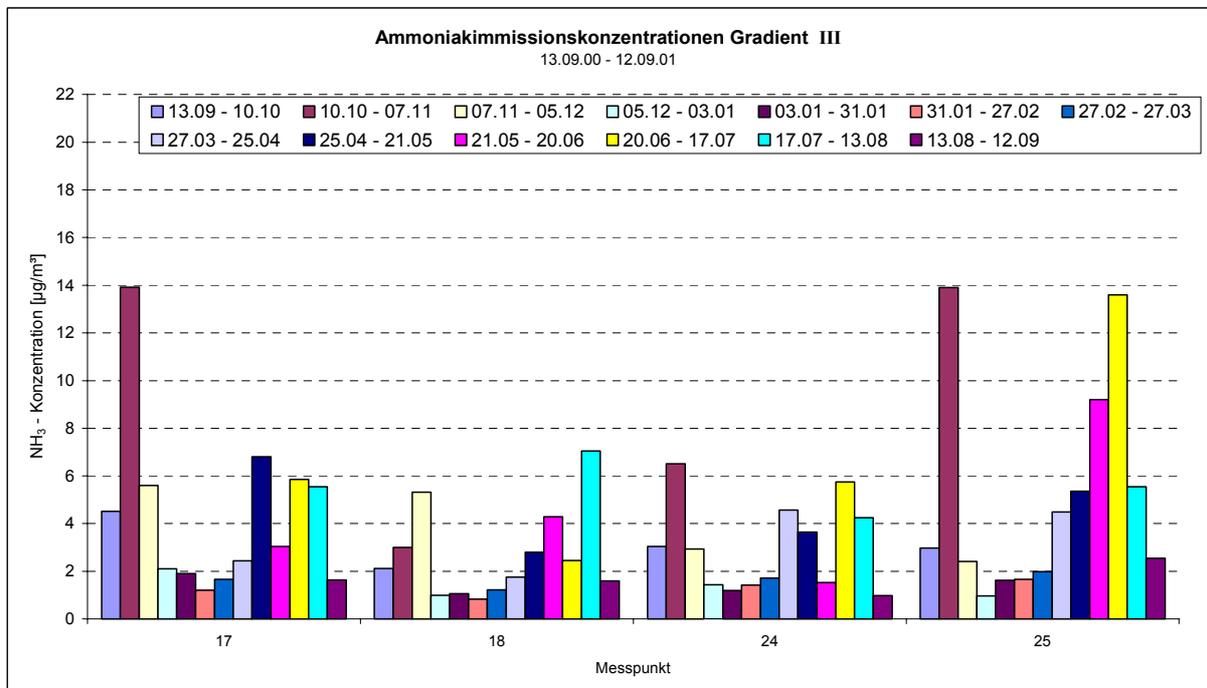


Abb. 23: Konzentrationsverlauf entlang dem Transsekt III (Standorte 17, 18, 24, 25) für Phase 2

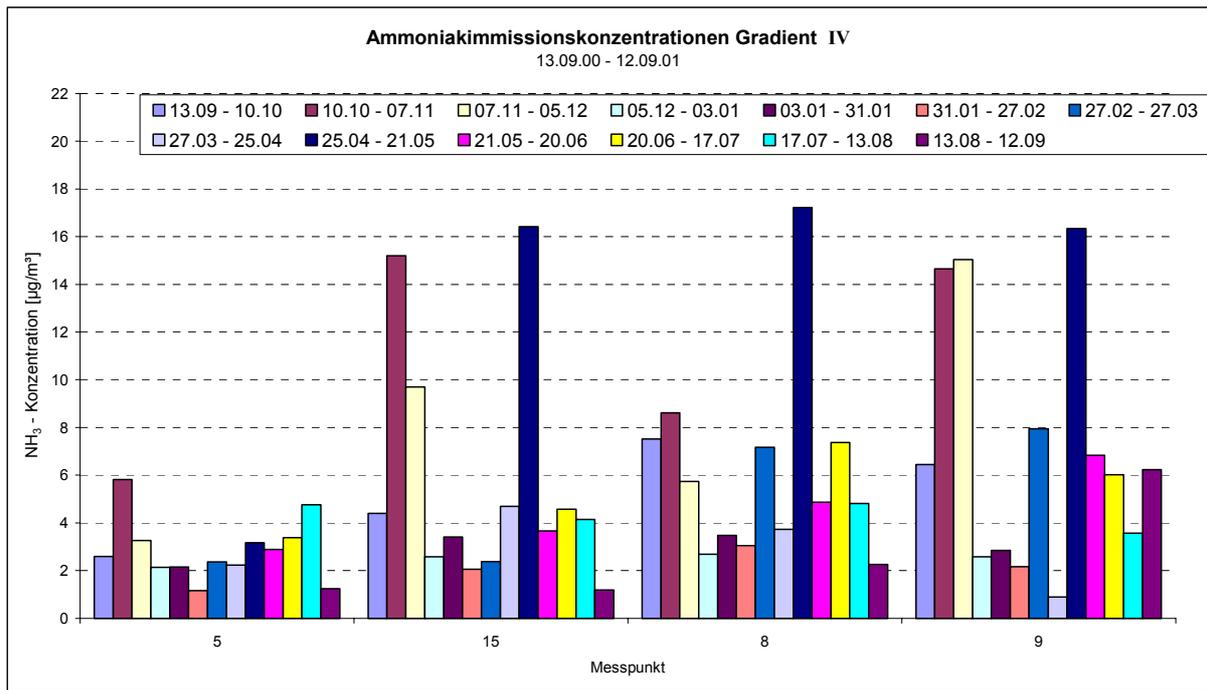


Abb. 24: Konzentrationsverlauf entlang dem Transsekt IV (Standorte 5, 15, 8, 9) für Phase 2

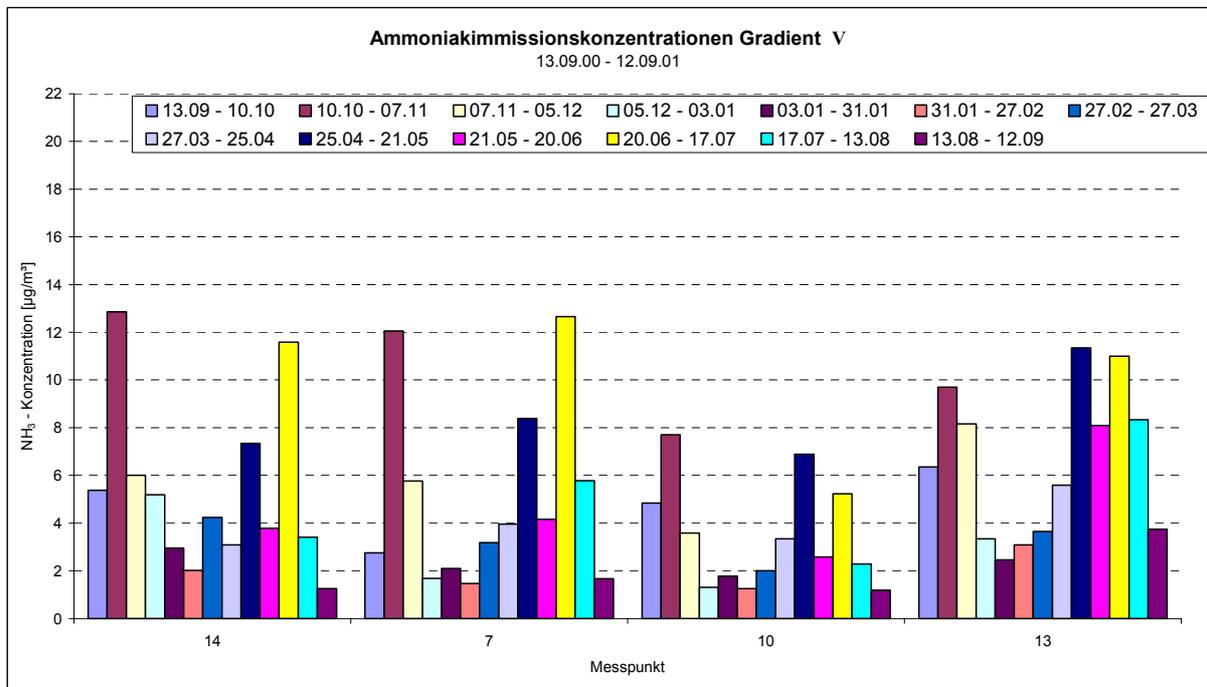


Abb. 25: Konzentrationsverlauf entlang dem Transsekt V (Standorte 14, 7, 10, 13) für Phase 2

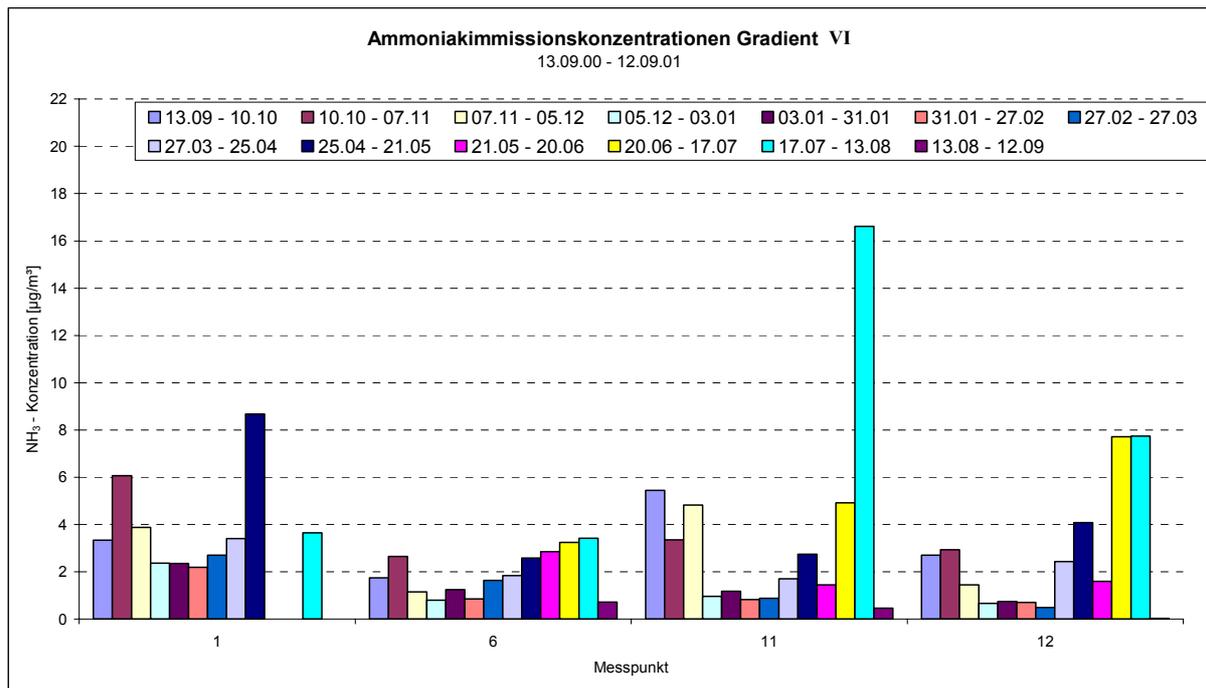


Abb. 26: Konzentrationsverlauf entlang dem Transsekt VI (Standorte 1, 6, 11, 12) für Phase 2

6.2. Meteorologie

Zwischen dem 13.09.00 und dem 07.11.00 kam es zu einem Ausfall der meteorologischen Messwerterfassung wegen Blitzschlags und der anschließenden Reparatur der Messgeräte. Die Aufstellung eines zweiten mit Geräten bestückten Messmasten sicherte fortan die Messdatenerfassung. Ein Vergleich beider meteorologischen Stationen lieferte eine sehr gute Übereinstimmung.

Die Abb. 27 und 28 zeigen Temperaturverlauf und Windgeschwindigkeit am Standort M. Tabelle 8, sowie die Abb. 29 und 30 stellen die Windverteilung nach Inbetriebnahme dar. Man sieht, dass hinsichtlich Windgeschwindigkeit und -richtung die Unterschiede zur Phase 1 (vor Inbetriebnahme der Hühnerfarm) gering sind.

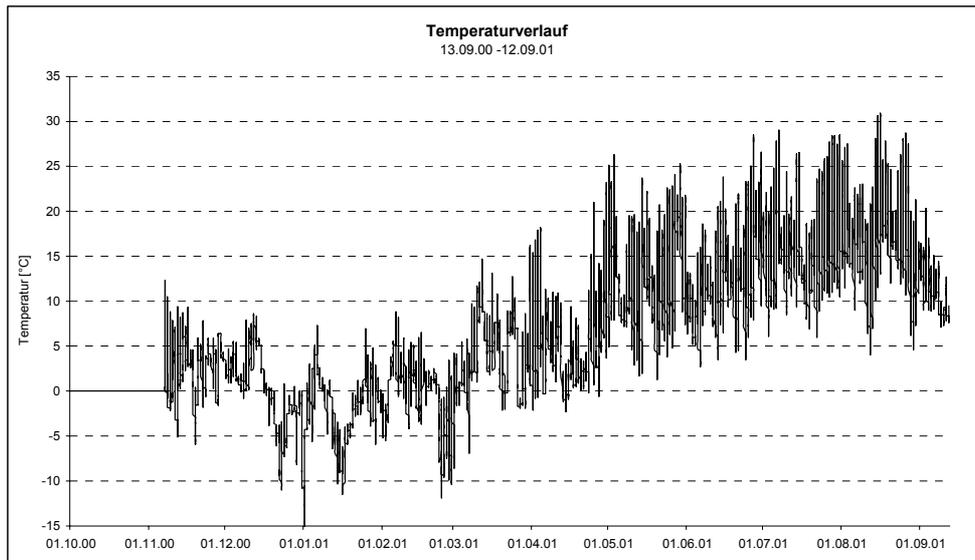


Abb. 27: Temperaturverlauf an Standort M (Phase 2)

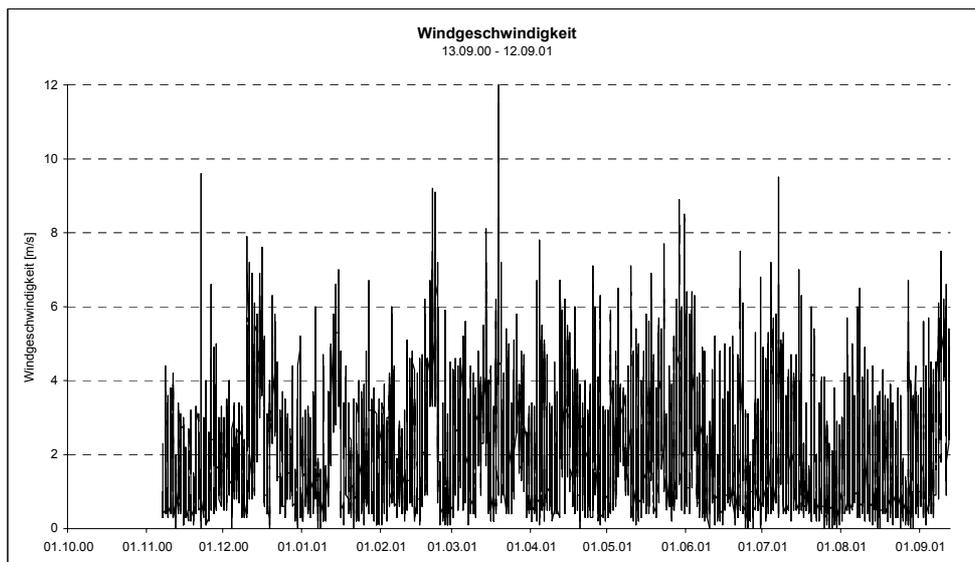


Abb. 28: Windgeschwindigkeit an Standort M (Phase 2)

Tab. 8: Windverteilung an der Messfläche M (Phase 2)

vorhandene Vergleichsdaten		14877 Halbstundenmittel		= 310 Tage		Messausfall: 13.09.00 - 07.11.00											
Mittlere Windgeschwindigkeit		2,24		m/s													
Anteil der Windrichtungen	N	NNO	NO	ONO	O	OSO	SO	SSO	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	windstill
	8,6%	7,1%	8,4%	6,8%	4,8%	2,9%	2,2%	1,9%	2,7%	6,1%	16,6%	14,5%	5,0%	2,3%	1,8%	3,3%	5%
Windgeschw. - Windrichtung	N	NNO	NO	ONO	O	OSO	SO	SSO	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Windgeschw.
Mittelwert [m/s]	2,2	1,8	2,3	2,4	1,6	1,0	0,9	1,0	1,4	2,2	2,8	3,2	2,9	2,5	1,7	1,9	< 0,5 m/s

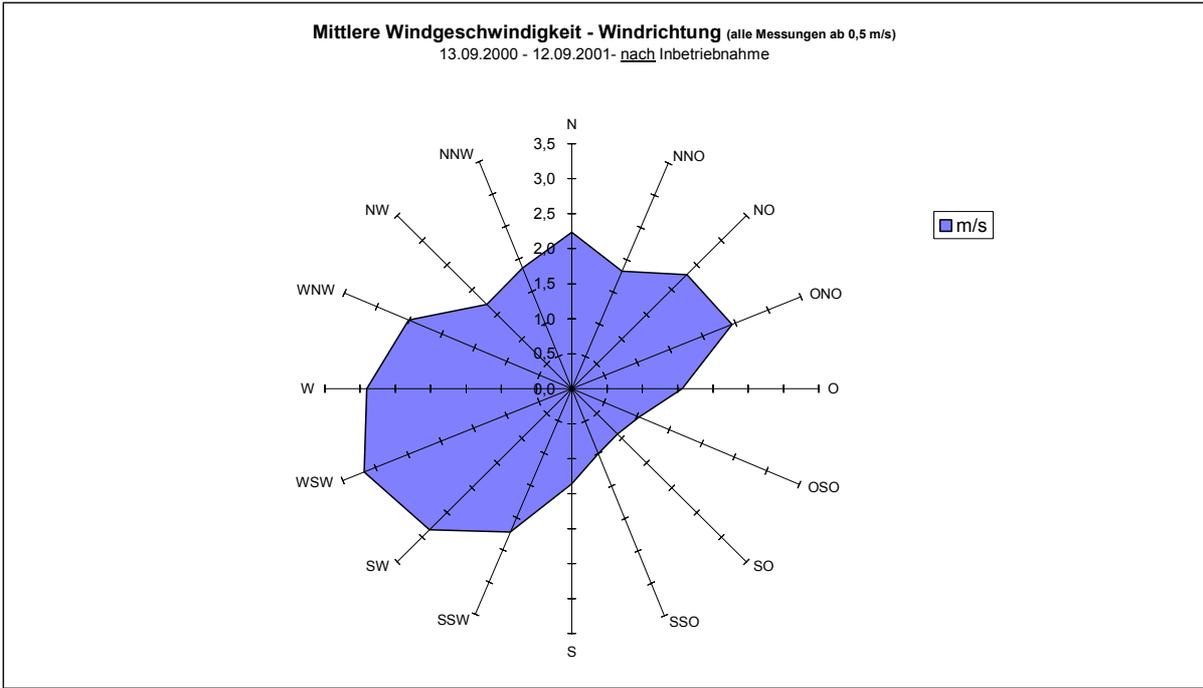


Abb. 29: Windgeschwindigkeitsverteilung an Standort M (Phase 2)

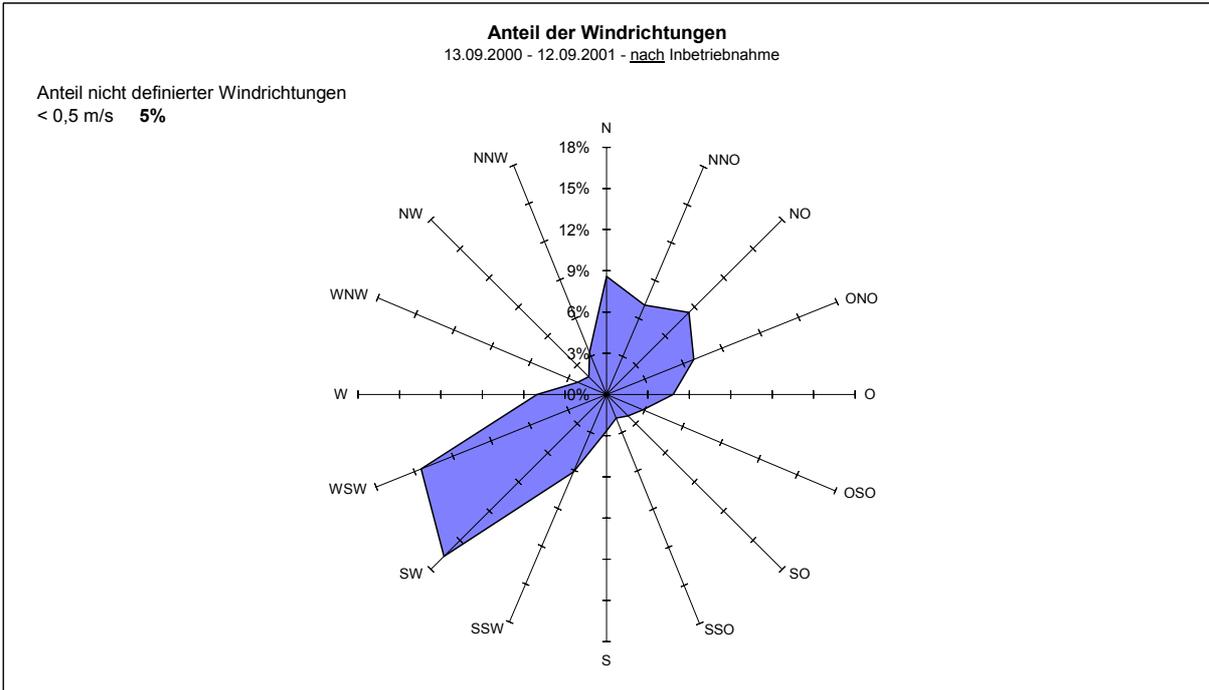


Abb. 30: Windrichtungsverteilung an Standort M (Phase 2)

6.3. Denudermessergebnisse (Ammoniak) in Abhängigkeit von Windverhältnissen

Die kontinuierlichen Messungen der Ammoniakimmissionskonzentrationen fanden zwischen dem 05.04.01 und dem 15.05.01 in unmittelbarer Nähe der meteorologischen Station auf dem Grundstück von Herrn Pongratz auf bayerischer Seite statt. Das Denudersystem war in einem Messwagen der GSF untergebracht, die Ansaugstelle für die Außenluft befand sich in ca. 4,5 m Höhe einen Meter über dem Dach des Fahrzeugs. Abb. 31 zeigt den Verlauf der kontinuierlichen Ammoniakimmissionskonzentrationsmessungen, Abb. 32 die Häufigkeitsverteilung der Höhe der Konzentrationen.

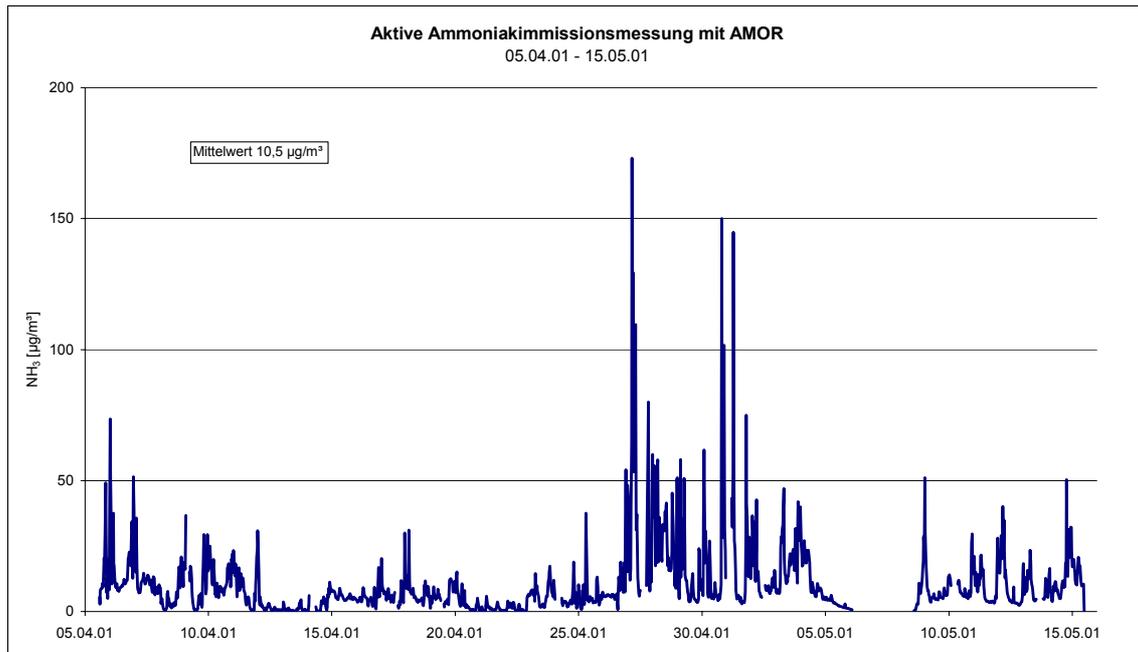


Abb. 31: Halbstundenmittelwerte der Ammoniakimmissionskonzentration an Standort M

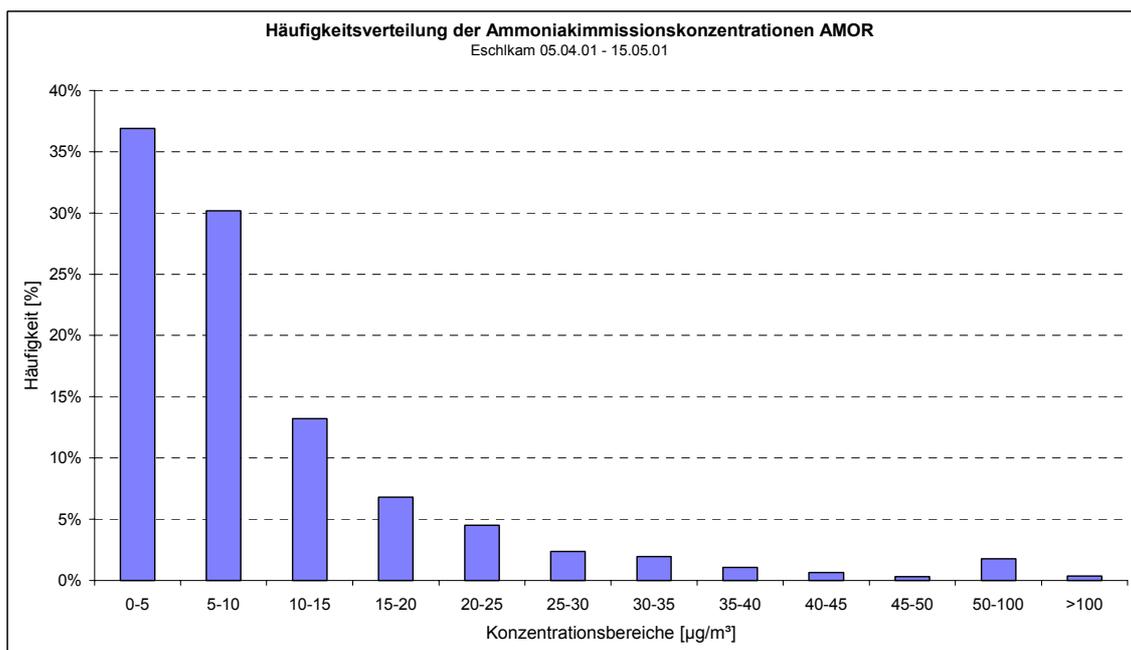


Abb. 32: Häufigkeitsverteilung der Ammoniakimmissionskonzentrationen an Standort M

Der Mittelwert der Ammoniakimmissionskonzentration betrug $10,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, das Minimum war mit $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nahe der Nachweisgrenze, kurzfristige Spitzen brachten Werte bis über $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, insbesondere Ende April, als sowohl in Vřeruby als auch Eschlkam intensiv Gülle ausgebracht wurde (vgl. Abb. 31). Parallel zu den aktiven Ammoniakmessungen wurden für 4 Wochen Passivsammler auf dem Dach des Messwagens angebracht. Der Vergleich Aktiv- ($9,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mit Passivmessung ($9,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) zeigte eine befriedigende Übereinstimmung beider Messmethoden.

Abb. 33 zeigt die Windverteilung während des aktiv beprobten Zeitraums von 6 Wochen. Der Wind kam vor allem aus SW und NNO. Trotzdem waren die windrichtungsbezogenen Konzentrationen bei südöstlichen Winden am höchsten; dies deutet auf den benachbarten Bauernhof als maagebliche Quelle hin.

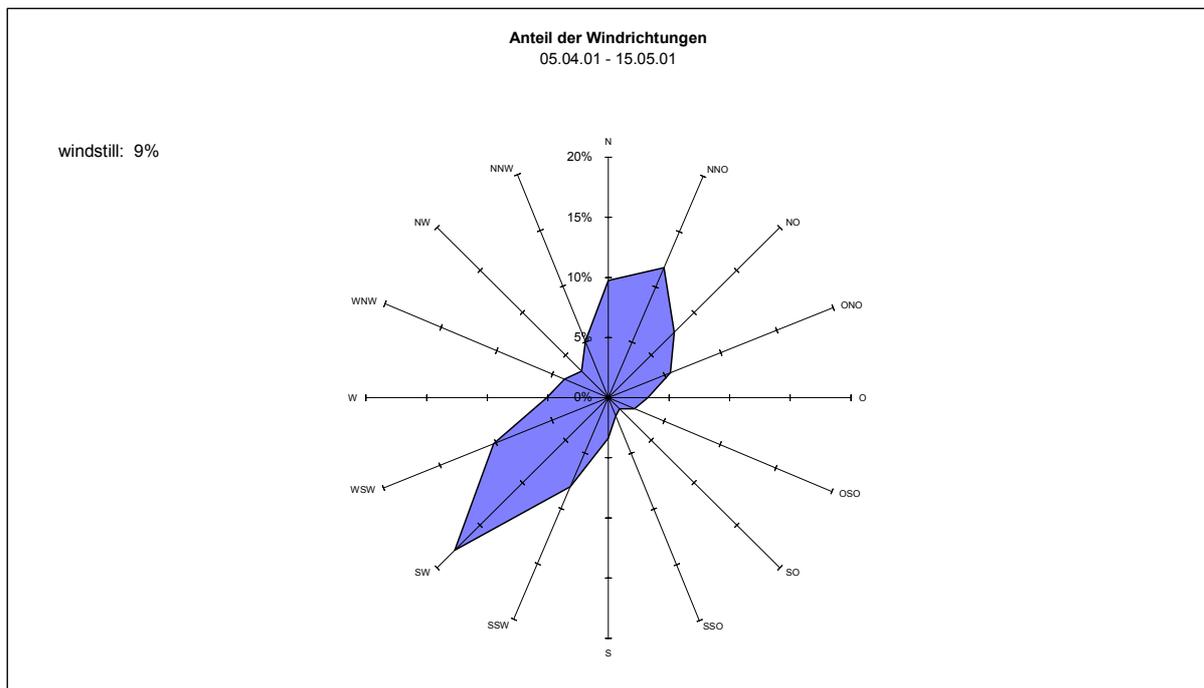


Abb. 33: Windrichtungsverteilung während der aktiven Messung an Standort M

Abb. 34 zeigt die Schadstoffrose für den gesamten aktiv beprobten Zeitraum. Man sieht, dass die höchsten Konzentrationen bei Winden aus südlichen bis östlichen Richtungen auftraten. Somit sind Quellen, die auf bayerischem Gebiet liegen, meist für die erhöheten Ammoniakimmissionskonzentrationen an Standort M verantwortlich.

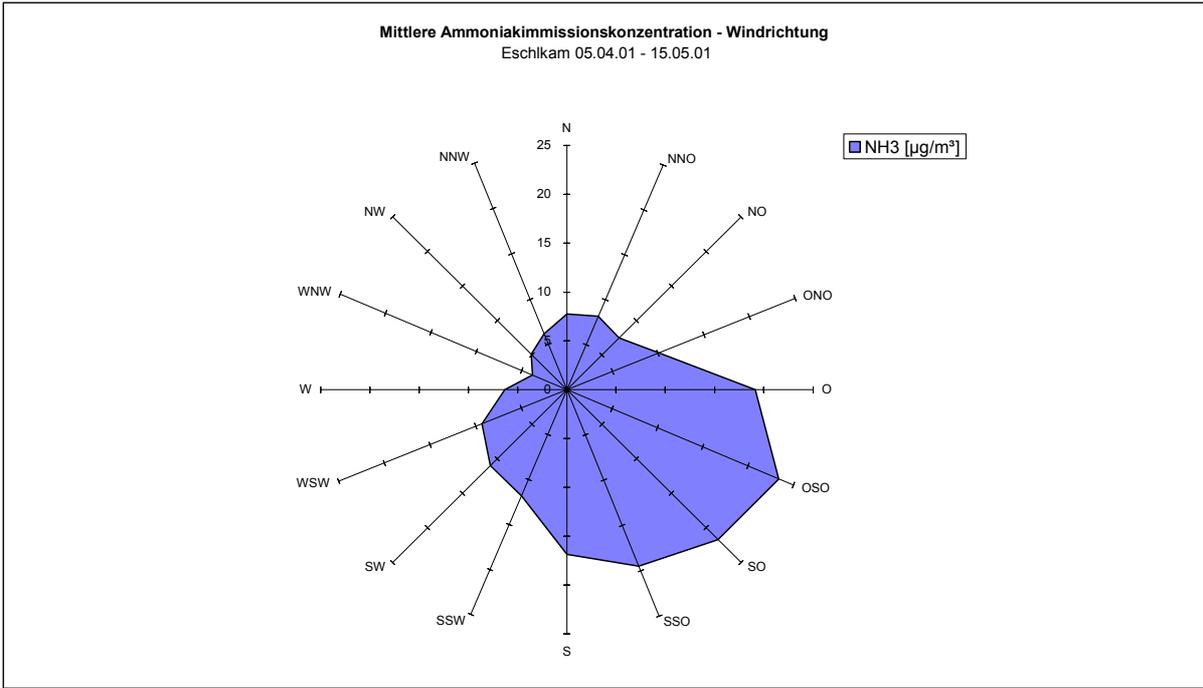


Abb. 34: Schadstoffrose während der aktiven Messung an Standort M

In den 10 Tagen vor der massiven Mistausbringung aus der Hühnerfarm (ab 25.04.2001) im Bereich östlich des Waldbestandes zwischen Farm und der Ortschaft Všeruby traten ähnliche Windverhältnisse auf. Die höchsten Ammoniakemissionskonzentrationen wurden wiederum bei südöstlichen Winden beobachtet. Einen Überblick über die Zeiträume vor und nach der massiven Hühnermistausbringung am 25.04.01 zeigen die Abb. 35 bis 38.

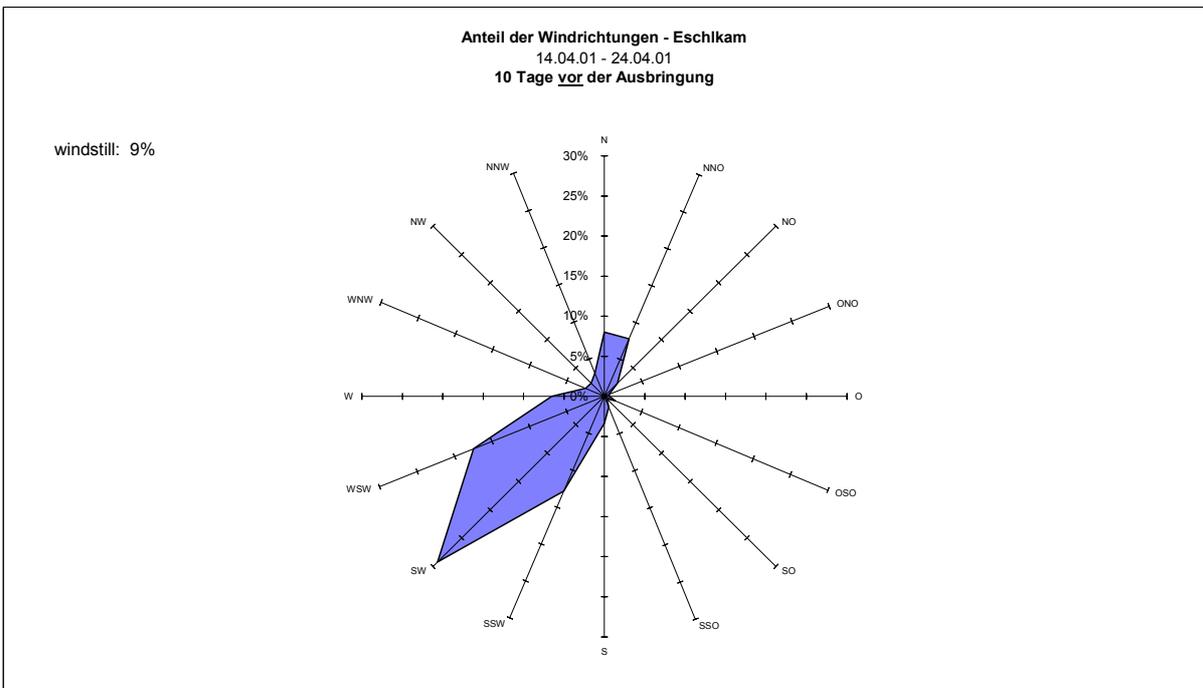


Abb. 35: Windrichtungsverteilung 10 Tage vor der Ausbringung des Hühnermists

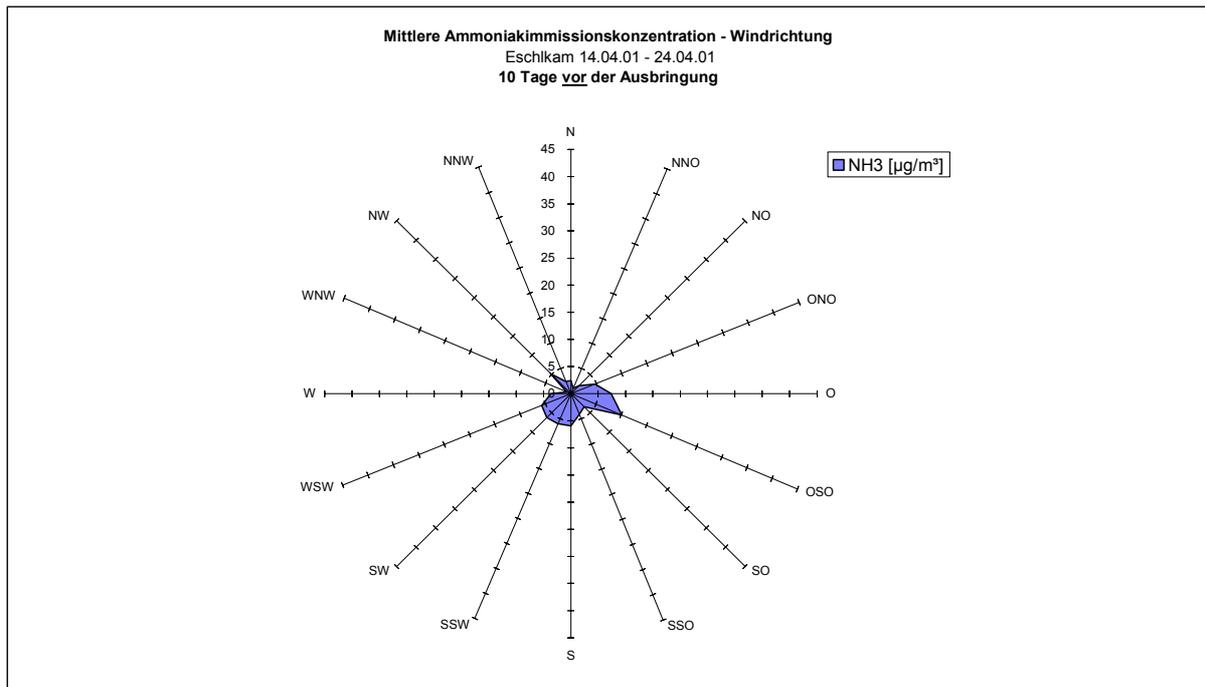


Abb. 36: Schadstoffrose 10 Tage vor der Ausbringung des Hühnermists

Nach der Mistausbringung kam der Wind vornehmlich aus NNO (Abb. 37); trotzdem traten wiederum die höchsten Konzentrationen bei südlichen bis südöstlichen Winden auf (Abb. 38). Die Ausbringung von Gülle aus landwirtschaftlichen Betrieben auf der tschechischen Seite sowie die Ausbringung des in der Anlage der Junghennenaufzucht anfallenden Mistes in der Nähe der Anlage machte sich hinsichtlich der Konzentrationsverteilung an der Messstelle M nicht bemerkbar. Andere Quellen auf bayerischer Seite überlagerten zudem mögliche Effekte deutlich.

Die Tatsache, dass die mittlere Ammoniakimmissionskonzentration von 4,9 im Zeitraum 14.4. bis 24.4.2001 auf 17,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ zwischen 24.4. und 5.5.2001 anstieg, dürfte somit von der auf bayerischer Seite gleichzeitig erfolgten Gülleausbringung herrühren. Eine allgemein starke Ausbringung von Gülle im gesamten untersuchten Gebiet bestätigen auch die in der Zeit nach dem 25.04.01 allgemein erhöhten Passivsammlerergebnisse (Periode 01/17).

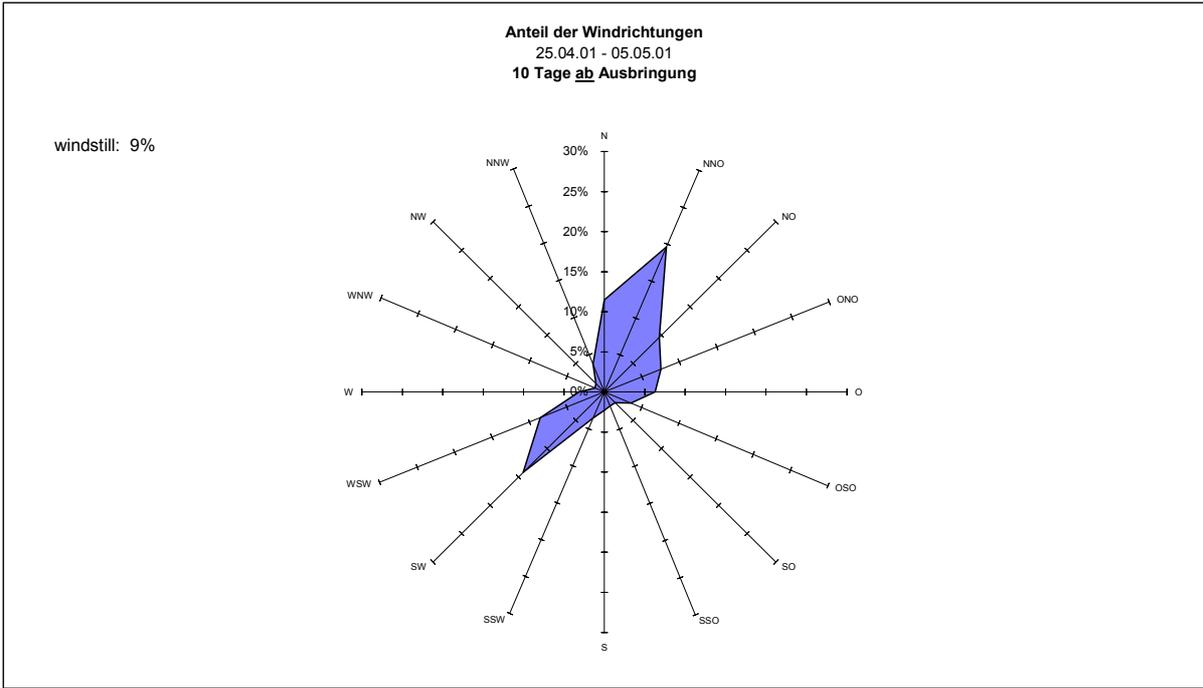


Abb. 37: Windrichtungsverteilung 10 Tage nach der Ausbringung des Hühnermists

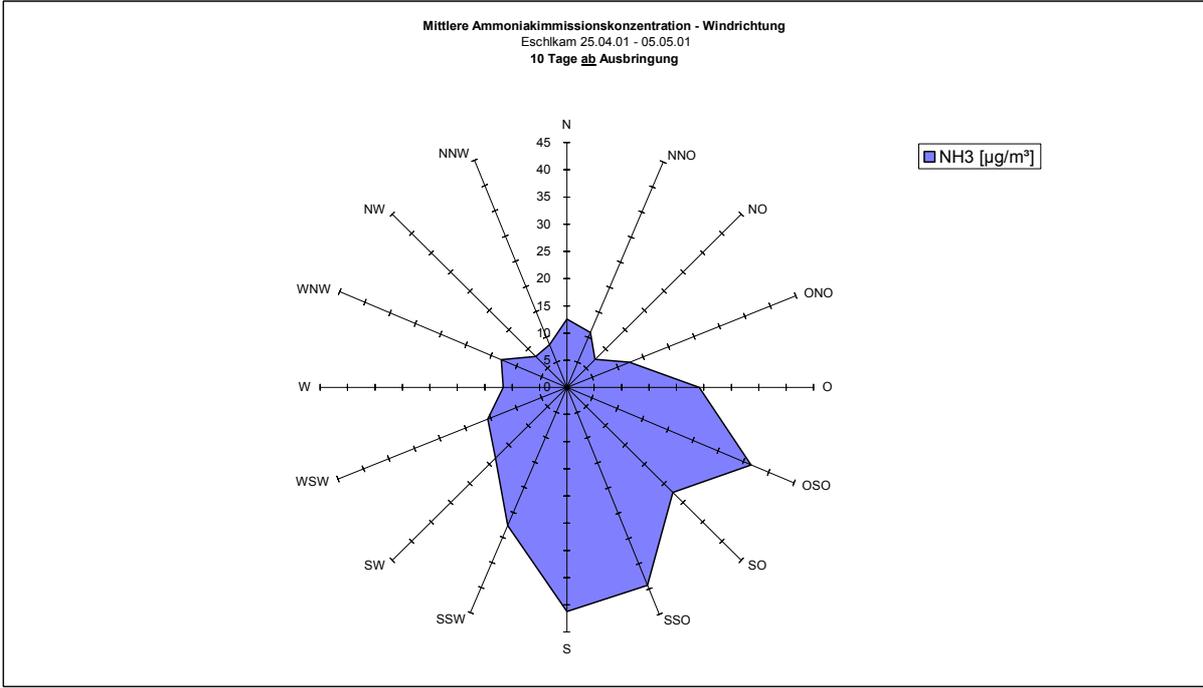


Abb. 38: Schadstoffrose 10 Tage nach der Ausbringung des Hühnermists

6.4. Bulkuntersuchungen (Ammonium- und Nitratdeposition)

Für die Messperiode nach Inbetriebnahme der Hühnerfarm konnte die Erfassung der Ammonium- und Nitratdeposition verbessert werden. Durch den Einsatz eines weiteren Parallelsammlers pro Messpunkt und die Anbringung von Vogelschutzringen kam es zu keinen nennenswerten Messwertausfälle durch Verschmutzung mehr. Für die Ergebnisse wurden in der Regel die Werte des Bulksammlers I, nur bei Verschmutzung die Werte des zweiten Sammlers herangezogen.

Tabelle 9 und 10 zeigen die Ergebnisse der Einträge von Ammonium und Nitrat sowie die Höhe der Jahresdepositionen an den jeweiligen Standorten. Es sind keine Gradienten im Eintrag erkennbar. Lediglich Ammonium weist am Standort F wiederum verringerte Werte auf, was an der Nähe zum Waldrand liegt.

Tab. 9: Ammoniumdeposition nach Inbetriebnahme der Hühnerfarm

Nach Inbetriebnahme			A				B				C				D				E				F				Mittel				
Mess- periode	Von	Bis	NS	NH ₄	NH ₄	Amm-N	NS	NH ₄	NH ₄	Amm-N	NS	NH ₄	NH ₄	Amm-N	NS	NH ₄	NH ₄	Amm-N	NS	NH ₄	NH ₄	Amm-N	NS	NH ₄	NH ₄	Amm-N	NS	NH ₄	NH ₄	Amm-N	NH ₄
			mm	mg/l	kg/ha	kg/ha	mm	mg/l	kg/ha	kg/ha	mm	mg/l	kg/ha	kg/ha	mm	mg/l	kg/ha	kg/ha	mm	mg/l	kg/ha	kg/ha	mm	mg/l	kg/ha	kg/ha	mm	mg/l	kg/ha	kg/ha	kg/ha
00/37	13.09.00	10.10.00	86,9	3,1	2,7	2,2	91,2	0,5	0,5	0,4	90,0	4,6	4,1	3,4	87,8	0,7	0,7	0,5	90,5	8,1	7,3	6,0	96,3	2,2	2,1	1,7	2,9				
00/41	10.10.00	07.11.00	22,0	1,8	0,4	0,3	24,7	2,6	0,6	0,5	25,0	4,8	1,2	1,0	23,5	4,9	1,2	0,9	20,6	2,1	0,4	0,4	20,5	1,8	0,4	0,3	0,7				
00/45	07.11.00	05.12.00	22,7	2,3	0,5	0,4	25,0	6,4	1,6	1,3	24,3	1,2	0,3	0,2	23,4	1,5	0,3	0,3	21,9	1,6	0,4	0,3	23,4	1,2	0,3	0,2	0,6				
00/49	05.12.00	03.01.01	25,5	1,4	0,4	0,3	30,1	1,1	0,3	0,3	31,5	1,0	0,3	0,3	28,2	1,1	0,3	0,3	27,0	1,2	0,3	0,3	30,5	0,9	0,3	0,2	0,3				
01/01	03.01.01	31.01.01	56,1	0,6	0,3	0,3	59,7	0,6	0,4	0,3	63,5	0,4	0,2	0,2	59,9	0,6	0,4	0,3	61,3	0,6	0,4	0,3	59,3	0,4	0,2	0,2	0,3				
01/05	31.01.01	27.02.01	32,1	1,0	0,3	0,3	37,2	0,9	0,4	0,3	41,5	0,8	0,3	0,3	37,0	0,9	0,3	0,3	39,4	1,0	0,4	0,3	39,3	0,9	0,4	0,3	0,3				
01/09	27.02.01	27.03.01	118	0,7	0,8	0,6	126	0,7	0,9	0,8	131	0,7	0,9	0,8	129	0,6	0,8	0,6	117	0,7	0,8	0,6	118	0,6	0,7	0,5	0,8				
01/13	27.03.01	25.04.01	79,4	1,1	0,9	0,7	84,1	3,3	2,8	2,3	87,5	2,0	1,8	1,5	81,6	1,9	1,5	1,3	83,5	1,7	1,4	1,2	90,7	1,5	1,3	1,1	1,6				
01/17	25.04.01	21.05.01	44,0	4,1	1,8	1,5	47,8	1,4	0,7	0,6	39,8	5,3	2,1	1,7	36,6	6,1	2,2	1,8	38,0	2,6	1,0	0,8	41,6	1,1	0,5	0,4	1,4				
01/21	21.05.01	20.06.01	67,8	1,6	1,1	0,9	71,1	0,7	0,5	0,4	71,5	1,3	0,9	0,7	67,3	0,3	0,2	0,2	72,5	0,6	0,5	0,4	93,7	0,2	0,2	0,2	0,6				
01/25	20.06.01	17.07.01	81,3	0,2	0,2	0,1	75,7	1,2	0,9	0,7	75,7	0,1	0,1	0,1	71,1	3,6	2,6	2,1	66,4	0,8	0,5	0,4	71,6	0,2	0,1	0,1	0,7				
01/29	17.07.01	13.08.01	62,0	5,2	3,2	2,7	63,3	0,7	0,4	0,4	52,9	3,1	1,6	1,4	53,0	1,3	0,7	0,6	54,4	0,9	0,5	0,4	70,7	0,5	0,3	0,3	1,1				
01/33	13.08.01	12.09.01	136	*	*	*	138	1,1	1,6	1,3	119	1,3	1,6	1,3	149	0,8	1,2	1,0	140	0,9	1,3	1,1	119	0,6	0,7	0,6	1,3				
Mittlerer Eintrag pro Periode			1,0 0,9				0,9 0,7				1,2 1,0				1,0 0,8				1,2 1,0				0,6 0,5								
Jahreseintrag nach Inbetriebnahme			13,6 11,2				11,6 9,5				15,5 12,8				12,4 10,2				15,2 12,5				7,4 6,1								

* wegen starker Verschmutzung der Probe kein Messwert, Jahreseintrag hochgerechnet

NS = Niederschlag, NH₄ = Ammoniumdeposition, Amm-N = Ammoniumstickstoffdeposition

Tab. 10: Nitratdeposition nach Inbetriebnahme der Hühnerfarm

Nach Inbetriebnahme			A				B				C				D				E				F				Mittel				
Mess- periode	Von	Bis	NS	NO ₃	NO ₃	Nitr-N	NS	NO ₃	NO ₃	Nitr-N	NS	NO ₃	NO ₃	Nitr-N	NS	NO ₃	NO ₃	Nitr-N	NS	NO ₃	NO ₃	Nitr-N	NS	NO ₃	NO ₃	Nitr-N	NS	NO ₃	NO ₃	Nitr-N	NO ₃
			mm	mg/l	kg/ha	kg/ha	mm	mg/l	kg/ha	kg/ha	kg/ha																				
00/37	13.09.00	10.10.00	86,9	2,0	1,7	0,4	91,2	1,9	1,7	0,4	90,0	2,0	1,8	0,4	87,8	2,0	1,7	0,4	90,5	2,0	1,8	0,4	96,3	2,0	1,9	0,4	1,8				
00/41	10.10.00	07.11.00	22,0	3,3	0,7	0,2	24,7	3,1	0,8	0,2	25,0	3,1	0,8	0,2	23,5	3,7	0,9	0,2	20,6	3,9	0,8	0,2	20,5	4,2	0,9	0,2	0,8				
00/45	07.11.00	05.12.00	22,7	3,0	0,7	0,2	25,0	3,0	0,7	0,2	24,3	2,9	0,7	0,2	23,4	3,1	0,7	0,2	21,9	3,2	0,7	0,2	23,4	3,0	0,7	0,2	0,7				
00/49	05.12.00	03.01.01	25,5	3,7	0,9	0,2	30,1	2,7	0,8	0,2	31,5	2,5	0,8	0,2	28,2	2,6	0,7	0,2	27,0	2,6	0,7	0,2	30,5	2,5	0,7	0,2	0,8				
01/01	03.01.01	31.01.01	56,1	1,4	0,8	0,2	59,7	1,3	0,8	0,2	63,5	1,3	0,8	0,2	59,9	1,3	0,8	0,2	61,3	1,3	0,8	0,2	59,3	1,3	0,8	0,2	0,8				
01/05	31.01.01	27.02.01	32,1	3,0	1,0	0,2	37,2	3,0	1,1	0,2	41,5	3,0	1,2	0,3	37,0	3,0	1,1	0,3	39,4	3,1	1,2	0,3	39,3	3,5	1,4	0,3	1,2				
01/09	27.02.01	27.03.01	118,2	1,4	1,6	0,4	125,7	1,4	1,8	0,4	131,0	1,3	1,7	0,4	129,0	1,3	1,7	0,4	116,9	1,5	1,7	0,4	117,7	1,6	1,8	0,4	1,7				
01/13	27.03.01	25.04.01	79,4	2,6	2,0	0,5	84,1	2,7	2,2	0,5	87,5	2,5	2,2	0,5	81,6	2,5	2,1	0,5	83,5	2,5	2,1	0,5	90,7	2,5	2,3	0,5	2,1				
01/17	25.04.01	21.05.01	44,0	2,7	1,2	0,3	47,8	2,8	1,3	0,3	39,8	2,6	1,0	0,2	36,6	2,8	1,0	0,2	38,0	2,5	1,0	0,2	41,6	2,3	0,9	0,2	1,1				
01/21	21.05.01	20.06.01	67,8	2,0	1,3	0,3	71,1	2,0	1,4	0,3	71,5	1,8	1,3	0,3	67,3	1,8	1,2	0,3	72,5	1,9	1,4	0,3	93,7	1,8	1,7	0,4	1,4				
01/25	20.06.01	17.07.01	81,3	2,1	1,7	0,4	75,7	2,3	1,7	0,4	75,7	2,1	1,6	0,4	71,1	1,4	1,0	0,2	66,4	2,2	1,5	0,3	71,6	1,9	1,4	0,3	1,5				
01/29	17.07.01	13.08.01	62,0	1,5	1,0	0,2	63,3	1,7	1,1	0,2	52,9	1,8	0,9	0,2	53,0	2,0	1,1	0,2	54,4	2,0	1,1	0,2	70,7	2,2	1,5	0,3	1,1				
01/33	13.08.01	12.09.01	135,8	*	*	*	138,2	1,4	2,0	0,4	118,9	1,9	2,3	0,5	148,9	1,8	2,6	0,6	140,3	1,7	2,3	0,5	118,8	1,7	2,1	0,5	2,3				
Mittlerer Eintrag pro Periode			1,2 0,3				1,3 0,3				1,3 0,3				1,3 0,3				1,3 0,3				1,4 0,3								
Jahreseintrag nach Inbetriebnahme			15,9 3,6				17,5 3,9				17,1 3,9				16,6 3,8				17,1 3,9				18,2 4,1								

* wegen starker Verschmutzung der Probe kein Messwert, Jahreseintrag hochgerechnet

NS = Niederschlag, NO₃ = Nitratdeposition, Nitr-N = Nitratstickstoffdeposition

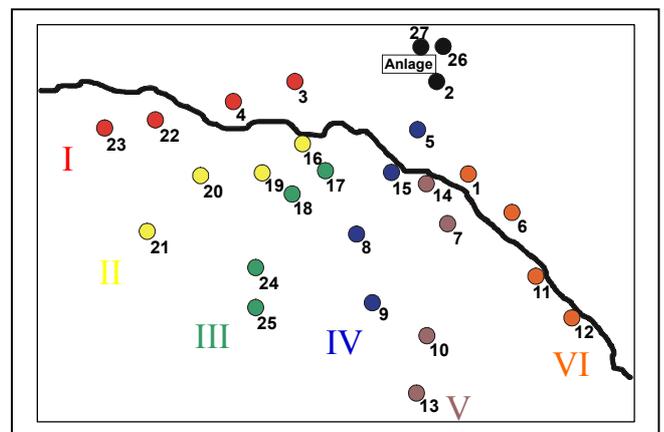
7. Vergleich und Bewertung der Ergebnisse vor und nach der Inbetriebnahme der Hühnerfarm

7.1. Passivsammlermessungen (Ammoniak)

Beim Vergleich der Ergebnisse werden jeweils die gesamten Messzeiträume vor und nach dem Beginn der Emissionen gegenübergestellt; da allein die Gülleausbringungsvorschriften jahreszeitliche Variationen in der Ammoniakimmission bedingen, ist es zusätzlich sinnvoll, auch entsprechende Zeiträume in den beiden Jahren zu vergleichen (Tab. 11 und Abb. 39).

Tab. 11: Mittlere Ammoniakimmissionskonzentrationen vor und nach Inbetriebnahme der Hühnerfarm (Passivsammlermessungen) und Angabe empfohlener Richtwerte zum Schutz der Vegetation

Messpunkt PS	Ammoniak vorher µg/m³ 06.04. - 13.09.00	Ammoniak nachher (insgesamt) 13.09. - 12.09.01	Änderung %	Ammoniak nachher (gl. Jahreszeit) 27.03. - 12.09.01	Änderung %
1	5,6	3,9	-30	5,2	-7
2/I	3,5	5,2	49	6,6	89
2/II	3,4	4,9	44	6,3	85
2/MW	3,4	5,0	47	6,4	88
3	3,4	2,2	-35	2,5	-26
4	2,7	2,2	-19	3,1	15
5	3,9	2,9	-26	3	-23
6	2,6	1,9	-27	2,4	-8
7	4,9	5,1	4	6,1	24
8	8,1	6,0	-26	6,7	-17
9	9,9	7,0	-29	6,7	-32
10	6,1	3,4	-44	3,6	-41
11	3,3	3,5	6	4,6	39
12	2,3	2,6	13	3,9	70
13	7,8	6,5	-17	8	3
14	5,9	5,3	-10	5,1	-14
15	8,7	5,7	-34	5,8	-33
16	2,3	2,0	-13	2	-13
17	5,7	4,3	-25	4,2	-26
18	6,0	2,7	-55	3,3	-45
19	7,6	7,1	-7	8,8	16
20	7,2	4,5	-38	5,4	-25
21	4,9	4,3	-12	4,7	-4
22	8,3	4,3	-48	5,1	-39
23	6,7	3,4	-49	4,5	-33
24	4,0	3,0	-25	3,5	-13
25	8,1	5,1	-37	6,8	-16
26	5,7	10,4	82	12,7	123
27	3,3	4,4	33	5,5	67
MW	5,4	4,4	-17	5,3	-2
Spanne	0,5-21,7	0,5-19,5		0,5-19,5	
Zum Schutz von landwirtsch. Nutzpfl. festgel. Jahresmittelwert (LAI, 1995)			75		
Kritischer Jahresmittelwert zum Schutz empfindlicher Ökosysteme (ECE)			8		
Kritischer Jahresmittelwert zum Schutz empfindlicher Ökosysteme (Vorschlag WHO)			10		



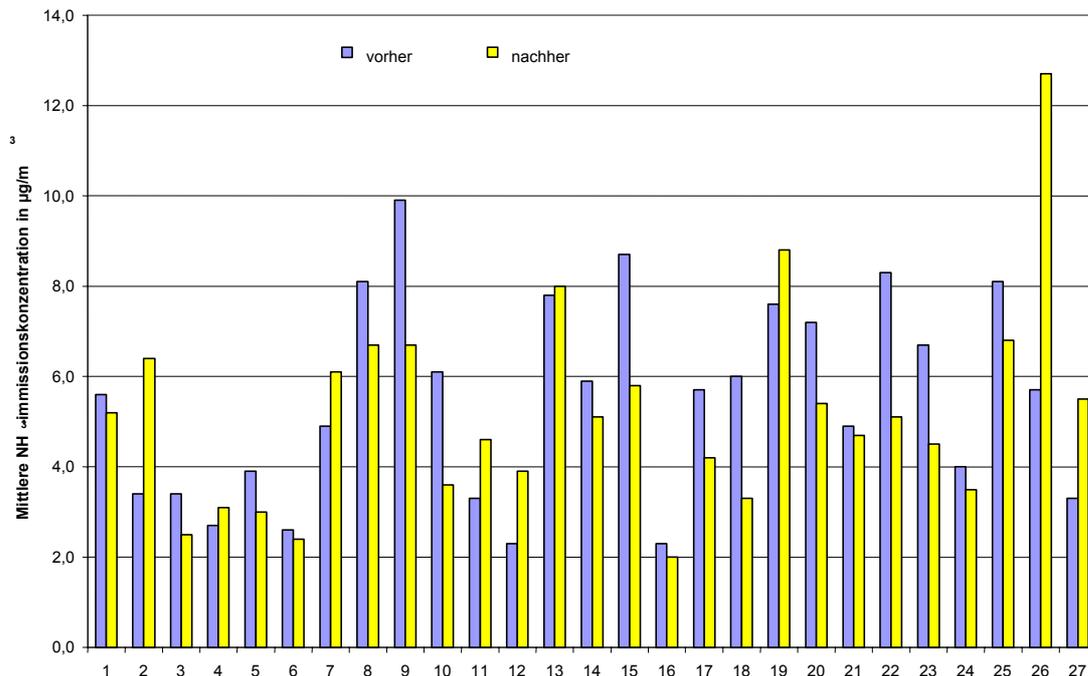


Abb. 39: Mittlere Ammoniakimmissionskonzentrationen vor und nach Inbetriebnahme der Hühnerfarm (Vergleich bei annähernd gleichen Jahreszeiten)

Zentrales Ergebnis ist, dass bei annähernd gleich bleibendem Gebietsmittel nur an wenigen Messpunkten eine Zunahme der Immission seit Beginn der Inbetriebnahme der Hühnerfarm festgestellt wurde. Die Erhöhung der Immission konzentrierte sich dabei auf die drei Messpunkte, die im unmittelbaren Umfeld der Anlage (2, 26, 27), d.h. nur in einem Umkreis von wenigen Hundert Metern Entfernung, aufgestellt waren. Der direkt im Lee der Anlage befindliche Sammler 26 lieferte einen mehr als doppelt so hohen Wert. Aus Literaturangaben (FOWLER et al., 1898, MOSIER, 2001, PITCAIRN et al., 1998) ist jedoch bekannt, dass die Ammoniakimmissionskonzentration im Lee von Tierfarmen bereits in einigen 100 m Entfernung auf weniger als 5 % des Ausgangswertes unmittelbar neben der Quelle abnehmen kann. Ursache hierfür ist vor allem die turbulente Diffusion; ferner ist Ammoniak sehr reaktiv, wird schnell trocken auf Oberflächen deponiert, in Tau- und Regentropfen inkorporiert oder durch chemische Reaktionen in Aerosole überführt.

Bei den weiteren Messpunkten, deren Distanz von der Farm weniger als 5 km betrug, ergab sich dagegen keine Zunahme in der Konzentration. Dies kann als Hinweis gewertet werden, dass während der Messkampagne Konzentrationserhöhungen nur im Nahbereich der Anlage auf tschechischem Gebiet, insbes. im Lee der Anlage, auftraten.

Die Ergebnisse des Hygienischen Labors Klatovy sind in Tab. 15 (Anhang) zu finden.

Ein Vergleich des auf bayerischer Seite der Hühnerfarm am nächsten gelegenen Sammler 15 mit der Windhäufigkeit aus nördlichen Richtungen (Hühnerfarm) ergibt für die einzelnen Messintervalle dementsprechend ebenfalls nur einen losen Zusammenhang (Abb. 39). Die hohe Ammoniakimmissionskonzentration in Verbindung mit der Häufigkeit von Wind aus nördlichen Richtungen im Zeitraum 25.4. bis 21.5.2001 könnte auf die Mistausbringung in Všeruby hindeuten. An der unweit von Standort 15 gelegenen Messstelle 14 konnte

dagegen kein Zusammenhang mehr ermittelt werden. Aus diesem Grund sind die Quellen für die hohen Ammoniakimmissionskonzentrationen eher in unmittelbarer Nähe des Standorts 15 zu vermuten. Kurzzeitig sind bei Gülleausbringung kleinräumig Werte von $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und mehr zu beobachten, die sich entsprechend auch auf die Höhe von 4-Wochen-Mittel auswirken können (KIRCHNER et al., 2000b).

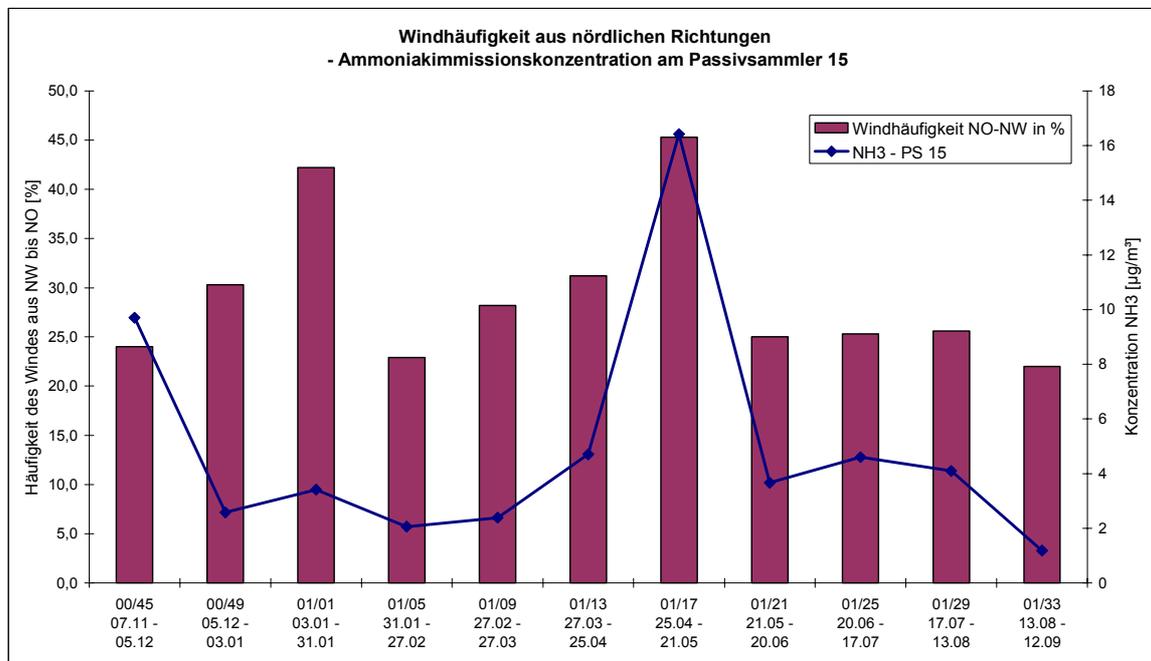


Abb. 40: Zusammenhang NH₃-Konzentration – nördliche Windrichtungen am Sammler 15 ($r^2 = 0.32$)

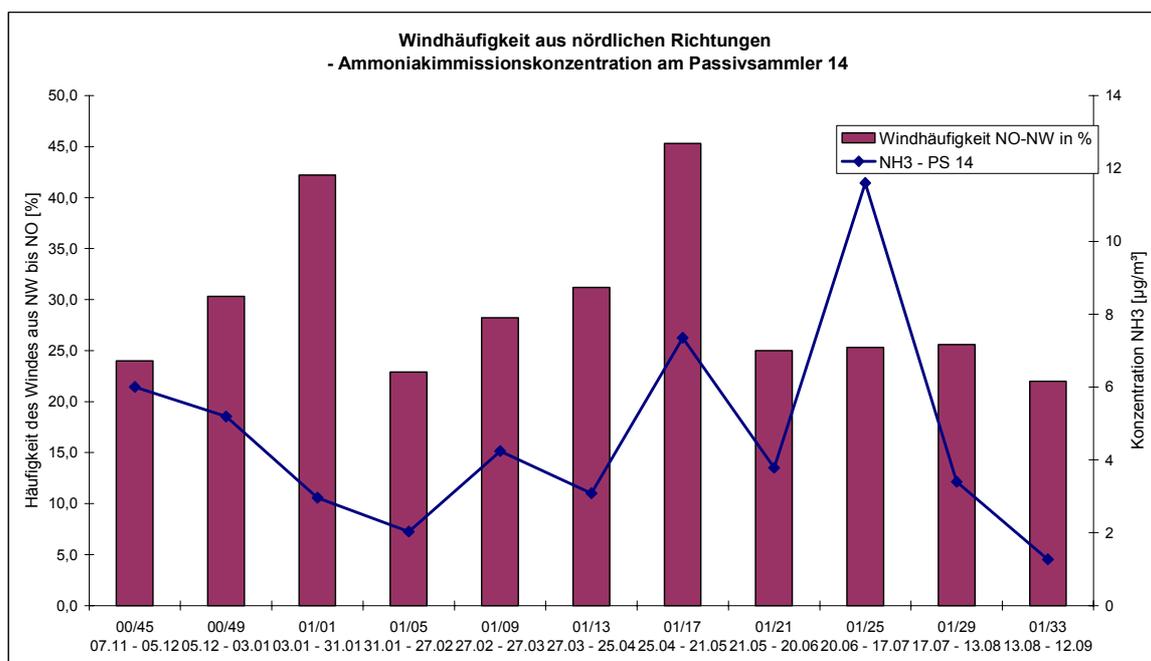


Abb. 41: Zusammenhang NH₃-Konzentration – nördliche Windrichtungen am Sammler 14 ($r^2 = 0.02$)

Insgesamt liegen die in Eschlkam und in Vseruby außerhalb des direkten Einflussbereiches der Hühnerfarm beobachteten Werte z.T. leicht über den bisher vom GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit gemessenen Immissionen in Gebieten mit Rinderhaltung (Tab. 12); die Schwerpunkte dieser Untersuchungen lagen im oberbayerischen Alpenvorland und in inneralpinen Lagen Österreichs, wo die Rinderhaltung weniger intensiv betrieben wird. Dagegen wurden im Bereich einer Hühnerfarm älterer Bauart in Niederbayern deutlich höhere Konzentrationen als um die Farm in Vseruby gemessen. Eine vergleichende Bewertung ist in jedem Fall schwierig durchzuführen, da Parameter, wie z.B. Belegung, Art der Belüftung und Umfeld, bei jeder Anlage verschieden sind.

Tab. 12: Gegenüberstellung der Ammoniakimmissionskonzentrationen [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] aus dem Bereich Landwirtschaft (KIRCHNER et al., 1999a, 2000a)

Ort/ Region	Alten- markt/ Salzburg	Aidling/ Obb.	Aidling/ Obb.	Bidin- gen/Ost- allgäu	Hauns- berg/ Salzburg	Aidling/ Obb.	Padureni/ Timisoara	Forstamt Landau/ Ndb.	Aidling/ Obb.
Art der Tier- haltung	Rinder	Rinder	Rinder	Rinder	Rinder	Rinder	Schweine	Hühner	Rinder
Messort	Wiese auf Bergkuppe	Fichten- bestand	Wiese	Wiese	Wiese	Bauernhof	Farm	Hühner- farm	Stall
Anzahl der Tiere (bzw. GV)	GV < 1/ha	GV ~ 1/ha	GV ~ 1/ha	GV ~ 1,8 / ha	GV ~ 1,8 / ha	25 Kühe	20000 Schweine	84000 Lege- hennen	25 Kühe
Entfer- nung	wenige m von Weide	400 m von Weide	wenige m von Weide	wenige m von Weide	wenige m von Weide	40 m von Stall	10 m von Stall in Anlage	20 m von Anlage	im Stall
Konzen- tration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0,6	0,8	2 - 5	6	6	16	66	114	900 - 1800
Zeitraum	Mittel 1 Jahr	Mittel 1 Jahr	Mittel 1 Jahr	Mittel 1 Jahr	Mittel ca. 1 Jahr	Mittel 1 Jahr	Mittel 1 Jahr	Mittel 4 Monate	Einzeltage

Hinsichtlich der an den einzelnen Messstationen des vorliegenden Projekts ermittelten 4-Wochen-Werte wurde der im Bericht des Unterausschusses Wirkungsfragen des LAI „Beurteilung von Ammoniak- und Ammonium-Immissionen“ zum Schutz von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen festgelegte Jahresmittelwert von $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht erreicht. Der bezüglich empfindlicher Ökosysteme kritische Jahresmittelwert (ECE) von 8 (ECE) bzw. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Vorschlag WHO) wurde an den Standorten auf bayerischer Seite nach der Inbetriebnahme der Anlage zur Aufzucht von Junghennen von keinem Mittelwert über den gesamten Messzeitraum erreicht.

7.2. Stickstoffdepositionsmessungen (Ammoniak, Nitrat)

Das aus der Landwirtschaft, insbes. aus Tierhaltungen, emittierte Ammoniak wird über verschiedene atmosphärische Pfade auf die Erdoberfläche deponiert. Dabei kann es als Gas, als Partikel unterschiedlichen Durchmessers, feucht und nass abgelagert werden (SCHUURKES et al., 1988; ZIMMERLING et al., 2000). Allerdings gestaltet sich die Messung der gasförmigen und nicht sedimentierbaren Anteile aufwändig und bleibt mit vielen Unsicherheiten behaftet. Festzustehen scheint allerdings, dass diese Pfade einen wichtigen Bestandteil des Gesamteintrags ausmachen können. Da es bei der vorliegenden Studie um einen Vergleich zwischen dem Zustand vor und nach der Inbetriebnahme einer Tierfarm geht, wurde mit der Bulkmessung ein bewährtes Verfahren herangezogen. Die gasförmige Deposition ist ohnehin in erster Näherung über die Kenntnis der Ammoniakimmissionskonzentration, die sich auf bayerischer Seite nicht erhöhte, und der für

verschiedene Oberflächen parameterisierbaren Depositionsgeschwindigkeit abschätzbar.

Die Stickstoffeintragungsmessungen aus dem vorliegenden Projekt können wie folgt zusammengefasst werden: Bei der Bulkdeposition nahmen die Einträge pro Messintervall (4 Wochen) an den sechs Messpunkten beim Ammonium im Mittel von 1,5 auf 1,0 kg/ha (bzw. 1,1 kg/ha bezogen auf die gleiche Jahreszeit) ab. Allerdings traten in Phase 1 Messausfälle auf, die den Ausschluss einiger Proben erforderlich machten. Vor Inbetriebnahme lag der Bereich der Bulkdepositionen bei 0,4 bis 2,2 kg/ha je nach Standort, danach 0,6 bis 1,2 kg/ha (bzw. 0,5 bis 1,4 kg/ha bezogen auf die gleiche Jahreszeit). Eine Zunahme zur Grenze hin war nicht feststellbar.

Der Eintrag von Nitrat, dessen Vorläufer (NO_x : NO, NO_2 , HNO_3) sowohl aus anthropogenen Prozessen (v.a. Verbrennung aus den Bereichen Verkehr, Kraftwerke, Industrie und Haushalte) als auch aus natürlichen Vorgängen (Blitzentladungen, Ausgasung aus Böden, Photooxidation von Ammoniak in der Troposphäre, Minereraldüngung) stammen und so auch im vorliegenden Fall nur zu geringem Ausmaß Emissionen aus der Landwirtschaft (insbes. aus der Hühnerfarm) zuzuordnen sind, lag im Bereich zwischen 0,9 – 1,2 kg/ha (bzw. 1,4 – 1,7 kg/ha bezogen auf die gleiche Jahreszeit).

Der Jahreseintrag von NH_4 (in Klammern der Wert für NH_4 -N) nach Inbetriebnahme lag somit bei 7,4 bis 15,5 kg/ha (6,1 - 12,8 kg/ha) je nach Standort; auffallend erscheinen die Unterschiede zwischen den Standorten. Hier spielt allerdings die Entfernung zur Anlage keine Rolle; dagegen wirkt das direkte Umfeld, insbes. Wald, der große Mengen Ammoniak ausfiltern kann, auf die Höhe des Eintrags ein. Entsprechende Einträge für Nitrat NO_3 (bzw. NO_3 -N) ergaben sich zu 15,9 bis 18,2 kg/ha (3,6 bis 4,1 kg/ha) an den sechs Standorten.

Vor dem Hintergrund der bisher von der GSF durchgeführten Bulk-Eintrags-Messungen erscheinen die in Eschlkam gemessenen Freiland-N-Depositionen im typischen Bereich für landwirtschaftliche Nutzflächen. Dabei können allerdings nur Gebiete mit ähnlicher Niederschlagsmenge verglichen werden; dies ist z.B. für Standorte in Südböhmen und Westrumänien der Fall (Tab. 13); für die ausgewählten Gebiete wurden die Ergebnisse des Eintrags auch auf eine Niederschlagsmenge von von 850 mm bezogen. Aus dem Vergleich wird deutlich, dass mit Zunahme der Intensität der landwirtschaftlichen Nutzung auch die Ammoniumdeposition zunimmt, während mit der Nähe zu Waldflächen, wo Stickstoff ausgefiltert wird, der Freilandeintrag geringer ist. Infolge der messtechnischen Schwierigkeiten bei der Analyse der Bulkmessungen (Verschmutzungen) vor Inbetriebnahme der Hühnerfarm wurde auf eine Darstellung entsprechender Werte in Tab. 13 verzichtet. Die Orientierungswerte für Critical Loads liegen für Ökosysteme bei 15-20 kg N/ha*Jahr (LAI, 1995).

Allgemein kann davon ausgegangen werden, dass innerhalb eines Radius von 1 km um eine Quelle weniger als 10% des emittierten Stickstoffs auch deponiert wird (MOSIER, 2001); innerhalb eines Radius von 20 km dürfte jedoch mehr als die Hälfte mit Schwerpunkt auf der Leeseite wieder eingetragen werden. Aus den vorliegenden Ergebnissen der Immissions- und Depositionsmessungen kann für das Gebiet der Gemeinde Eschlkam jedoch davon ausgegangen werden, dass nur ein unbedeutender Anteil des Gesamteintrags auf bayerischem Gebiet von der Farm bei Všeruby stammt; gleichwohl liegen dort die Gesamtstickstoffeinträge bereits in dem Bereich, der als kritisch für Ökosysteme zu bezeichnen ist.

Da die Daten des Hygienischen Labors Klatovy keinen Vergleich der Situation vor und nach Inbetriebnahme zulassen und auf unterschiedlichen Bezugsflächen (Freiland, Bestand, Einzelbaum) gewonnen wurden, wurde auf eine Interpretation verzichtet.

Tab. 13: Stickstoffeinträge (jährlicher Bulkniederschlag Ammonium und Nitrat) unterschiedlicher Standorte in Westrumänien, der Oberpfalz und Südböhmen aus verschiedenen Messkampagnen der GSF (sh. KIRCHNER et al., 1999b; 2000a)

Ort	Umgebung	Zeitraum	NS mm	NH ₄ -N (kg/ha*a)	NO ₃ -N (kg/ha*a)	N (kg/ha*a)	Nred _{850mm} (kg/ha*a)
Messwerte							
Eschlkam A	Grünland	09/00-08/01	835	11,2	3,6	14,8	15,1
Eschlkam B	Grünland	09/00-08/01	874	9,5	3,9	13,4	13,0
Eschlkam C	Grünland	09/00-08/01	853	12,8	3,9	16,7	16,7
Eschlkam D	Grünland	09/00-08/01	847	10,2	3,8	14,0	14,0
Eschlkam E	Grünland	09/00-08/01	833	12,5	3,9	16,4	16,7
Eschlkam F	Grünland/Wald	09/00-08/01	874	6,1	4,1	10,2	9,9
Vergleichswerte							
Padureni I	Ackerbau/ Schweinefarm	08/00-07/01	735	5,5	3,3	8,8	10,1
Padureni II	Ackerbau/ Schweinefarm	08/00-07/01	735	7,5	2,8	10,3	11,9
Na Lizu	Grünland/Wald	11/95-10/96	987	8,8	7,9	16,7	14,4
Na Lizu	Grünland/Wald	11/96-10/97	825	4,0	3,5	7,5	7,7
Spalanec	Wald	11/96-10/97	736	3,1	2,2	5,3	6,1

NS = Niederschlag, NH₄-N = Ammoniumstickstoffdeposition, NO₃-N = Nitratstickstoffdeposition,
N = Gesamtstickstoffdeposition, Nred_{850mm} = auf 860 mm Jahresniederschlag reduzierte Gesamtstickstoffdeposition

8. Literatur

- BURKHARDT, J.; SUTTON, M.A.; MILFORD, C.; STORETON-WEST, R.L.; FOWLER, D.; 1998: Ammonia concentrations at a site in Southern Scotland from 2 yr of continuous measurements. *Atmospheric Environ.* 32, 3, 325-331
- FOWLER, D.; PITCAIRN, C.E.R.; SUTTON, M.A.; FLECKARD, C.; LOUBT, B.; COYLE, M.; MUNRO, R.C.; 1998: The mass budget of atmosphere ammonia in woodland within 1 km of livestock buildings. *Environ. Pollut.* 102, 343-348
- KIRCHNER, M.; BRAEUTIGAM, S.; FERM, S.; HAAS, M.; HANGARTNER, M.; HOFSCHEIDER, P.; KASPER-GIEBL, A.; RÖMMELT, H.; STRIEDNER, J.; TERZER, W.; THÖNI, L.; WERNER, H.; ZIMMERLING, R.; 1999a: Field intercomparison of diffusive samplers for measuring ammonia. *J. Environ. Monit.* 1, 259-265
- KIRCHNER, M.; PEICHL, L.; HOPPE, A.; BRAEUTIGAM, S.; KETTRUP, A.; 1999b: Vergleichende Darstellung von Depositionsmessungen im bayerisch-tschechischen Grenzgebiet. In: Einzugsgebiet Große Ohe – 20 Jahre hydrologische Forschung im Nationalpark Bayerischer Wald. Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, Bd. 7, 107-115
- KIRCHNER, M.; BAUMGARTEN, M.; MATYSSEK, R.; DITTMAR, C.; FELLNER, R.; HAGER, H.; PASUTHOVA, J.; REUTHER, M.; SCHUME, H.; SOUKUP, F.; WERNER, H.; BRAEUTIGAM, S.; 2000a: Fallstudie Buche im Dreiländereck Böhmen, Oberösterreich, Bayern. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München, Materialien 151, 1-161
- KIRCHNER, M.; BRAEUTIGAM, S.; 2000b: Erfassung von Ammoniak mit Passivsammlern. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München, Materialien 152, 1-97
- KIRCHNER, M.; LEUCHNER, M.; BRAEUTIGAM, S.; HOPPE, P., KETTRUP, A.; 2002: Vergleichende Auswertung von Depositionsmessungen im ostbayerischen Grenzgebirge. Materialienband des StMLU in Vorbereitung
- LAI (Länderausschuss für Immissionsschutz), 1995: Bewertung von Ammoniak- und Ammoniumimmissionen. Bericht des Unterausschusses „Wirkungsfragen“, Erich Schmidt Verlag
- MOSIER, A. R.; 2001: Exchange of gaseous nitrogen compounds between agricultural systems and the atmosphere. *Plant and Soil* 228, 17-27
- OLDENBURG, J. (1989): Geruchs- und Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung. KTBL-Schrift 333. KTBL, Darmstadt
- PITCAIRN, C.E.R.; LEITH, I.D.; SHEPHARD, L.J.; SUTTON, M.A.; FOWLER, D.; MUNRO, R.C.; TANG, S.; WILSON, D.; 1998: The relationship between nitrogen deposition, species composition and foliar N concentrations in woodland flora in the vicinity of intensive livestock farms. *Environ. Pollut.* 102, S1, 41-48
- SCHUURKES, J.; MAENEN, M.; ROELOFS, J.; 1988: Chemical characteristics of precipitation in NH₃-affected areas. *Atmospheric Environment* 22, 1689-1698
- SUTTON M.A., PITCAIRN C.E.R., FOWLER D., 1983: The exchange of ammonia between the atmosphere and plant communities. *Advances in Ecological Research* 24, 301-393

ZIMMERLING, R.; DÄMMGEN, U.; HAENEL, H.-D.; 2000: Flüsse versauernd und eutrophierend wirkender Spezies zwischen Atmosphäre und Wald- und Forstökosystemen. Landbauforschung Volkenrode, Sonderheft 213, 95-127

9. Anhang

9.1. Daten des Hygienischen Labors Klatovy

Tab. 14: Beschreibung der Messpunkte des Hygienischen Labors (vgl. Abb. 2) unter Angabe der umgebenden Landnutzung (Bulkdeposition auch im Bestand mit 1 Sammler)

Messstelle	Höhe m NN	Distanz von Farm in m	Passivsammler (Ammoniak) Monat	Passivsammler Tag	Bulksammler (Ammonium, Nitrat) Monat	Umgebung
I	430	550	+	+	+	Freiland
II	425	1150	+	+	+	Freiland
III	430	500	+		+	Waldrand
IV	435	840	+		+	Wald
V	470	1700	+		+	unter Laubbaum
VI	490	1700	+		+	Wald
VII	440	2650	+		+	Freiland
VIII	500	2370	+		+	Freiland
IX	440	760	+		+	Freiland
X	450	920	+		+	Freiland

Tab. 15: Ammoniakimmissionskonzentrationen an den Messstellen I bis X (vgl. Abb. 2)

	Mittlere Ammoniakkonzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]										Mittel
	I	II	II	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Jul 00	7,3	6,9	0,7	0,8	1,1	1,2	0,6	0,8		0,7	2,2
Aug 00	4,0	9,6	1,0	1,1	1,6	0,4	1,4	0,6	0,6	0,9	2,1
Sep 00	1,8	2,4	4,5	6,5		6,9	7,9	4,1		4,0	4,8
Okt 00	2,5	3,5	1,6	1,6	1,8	2,5	2,7	2,8	3,0	1,7	2,4
Nov 00	1,0	4,3	1,4	2,1	2,8	4,7		1,7	0,9	3,1	2,4
Dez 00	1,2	1,8	1,9	2,1	2,8	1,8	2,1	2,3	2,6	2,7	2,1
Jan 01	1,8	5,4	1,0		2,3	0,5		1,0	1,8	1,4	1,9
Feb 01	1,1	4,2	1,1	2,2	1,6	2,7	1,8	0,8	1,3	1,6	1,8
Mrz 01	1,9	2,2	2,3		2,4	0,9		2,2	3,1	2,5	2,2
Apr 01	1,8	2,3	1,2	1,3	0,8	0,8	1,9	1,3	1,2	1,0	1,4
Mai 01	1,8	2,2	0,9		4,1	6,0		4,6	2,8	0,8	2,9
Jun 01	2,0	1,7	1,2	0,9	3,0	1,6	1,4	0,8	0,7	1,1	1,4
Jul 01	3,0	5,4	1,3		2,6	0,9		1,2	1,6		2,3
Aug 01	1,5	2,1	0,8	0,8	2,7	2,7	2,1	1,8	3,5	1,5	2,0
Mittel	2,3	3,9	1,5	1,9	2,3	2,4	2,4	1,9	1,9	1,8	2,3

Tab. 16: Bulkdeposition (Ammonium) an den Messstellen I bis X (vgl. Abb. 2)

	Bulkdeposition Ammonium [kg/ha]										Mittel
	I	II	II	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Jul 00	0,7	1,4	3,9	1,4	6,1	1,9		0,4	0,6	0,7	1,9
Aug 00	0,7	2,1	3,7	0,6	8,9	2,2		0,7	0,6	2,2	2,4
Sep 00	0,5	0,4	2,0	0,1	3,2	0,9		0,3	0,4	0,3	0,9
Okt 00	0,0	0,6	1,7	0,7	4,2	1,0		0,4	0,4	2,5	1,3
Nov 00	0,5	1,4	1,5	0,4	4,9	1,4		0,8	0,6	0,8	1,4
Dez 00	0,3	0,3	3,5	0,2	6,0	2,8		0,1	0,7	4,1	2,0
Jan 01	0,3	0,4	3,0	0,3	8,7	6,8		0,4	3,8	6,7	3,4
Feb 01	0,3	0,4	1,0	0,3	3,9	1,9		0,1	7,4	1,2	1,8
Mrz 01	0,6	0,7	3,6	0,5	10,4	3,1		0,2	0,5	0,5	2,2
Apr 01	0,6	0,7	3,2	0,7	6,2	3,0		0,8	0,6	0,7	1,8
Mai 01	0,0	0,2	2,7	0,1	2,0	0,1		0,2	1,1	0,3	0,7
Jun 01	0,4	4,3	2,5	0,7	3,7	2,8		0,5	2,9	0,8	2,1
Jul 01	0,6	1,4	1,4	0,0	1,2	1,2		2,2	0,0	0,8	1,0
Aug 01	0,0	0,9	0,1	0,0	0,6	0,4		0,0	0,0	0,3	0,3
Summe	5,5	15,2	33,8	6,0	70,0	29,5		7,1	19,6	21,9	

9.2. Fotos der Messstellen in Bayern

Meteorologische Station M



Passivsammler 14, Bulk A (in Phase 2 Exposition eines weiteren Sammlers)



Passivsammler 8, Bulk D (in Phase 2 Exposition eines weiteren Sammlers)



Passivsammler 15, Bulk B (in Phase 2 Exposition eines weiteren Sammlers)



Passivsammler 17, Bulk C (in Phase 2 Exposition eines weiteren Sammlers)



Passivsammler 16



Passivsampler 18



Passivsampler 19



Passivsammler 20



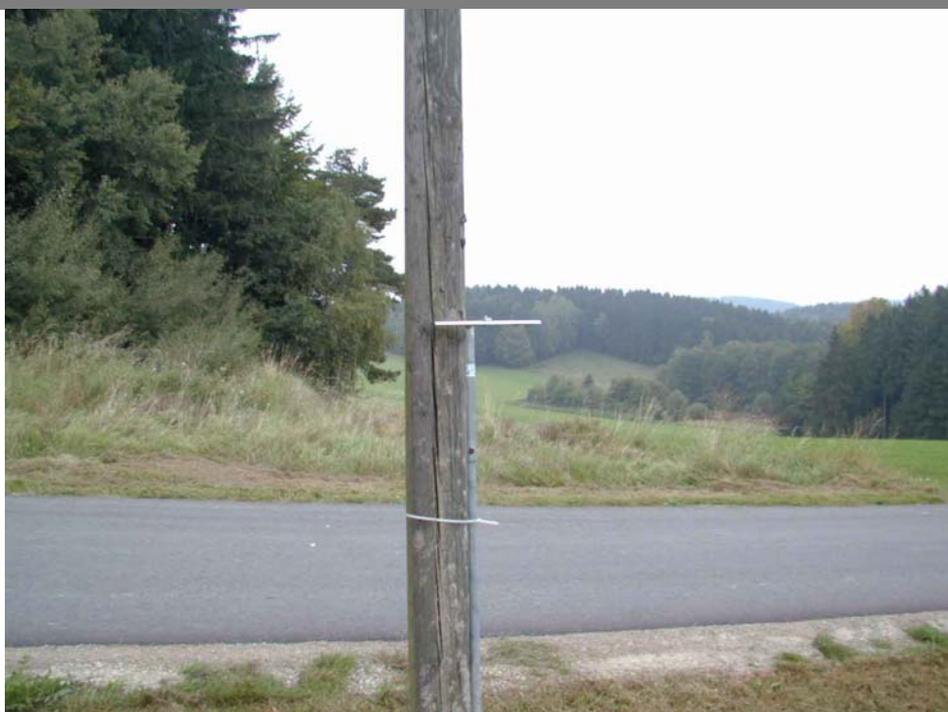
Passivsammler 21



Passivsampler 22



Passivsampler 23



Passivsampler 2



Passivsampler 27



Passivsampler 26



Passivsampler 4



Passivsamlar 3



Passivsamlar 5



Passivsampler 6



Passivsampler 1



Passivsammler 7



Passivsammler 9, Bulk E (in Phase 2 Exposition eines weiteren Sammlers)



Passivsampler 10



Passivsampler 11



Passivsampler 12



Passivsampler 13



Bulk F (in Phase 2 Exposition eines weiteren Sammlers)



Passivsammler 25



