



Ammoniak in der Umwelt

 Messprogramme und Messergebnisse 2003-2007



Baden-Württemberg

Ammoniak in der Umwelt

 Messprogramme und Messergebnisse 2003-2007



Baden-Württemberg

HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe, www.lubw.baden-wuerttemberg.de
BEARBEITUNG	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg EDV Support Center Ltd Dipl.-Agr. Biol. Yvonne Buchleither Referat 33 – Luftqualität, Lärmschutz Dr. Dieter Ahrens Referat 61 – Messnetzzentrale Luft Dipl.-Met. Christiane Lutz-Holzauer
BILDNACHWEIS	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
DOKUMENTATION-NUMMER	33/61-31/2008
STAND	Dezember 2008, 1. Auflage
BERICHTSUMFANG	46 Seiten



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

ZUSAMMENFASSUNG		7
1	AMMONIAK IN DER UMWELT – EINFÜHRUNG	9
2	AMMONIAK – QUELLEN, EIGENSCHAFTEN, EMISSIONEN	10
2.1	Entdeckungen und Entwicklungen	10
2.3	Stickstofffixierung	12
2.4	Bildung und Quellen von Ammoniak	12
2.5	Eigenschaften von Ammoniak	13
2.6	Anwendungsbereiche von Ammoniak	14
2.7	Ammoniak-Emissionen	15
2.7.1	Emissionen in Deutschland	15
2.7.2	Emissionen in Baden-Württemberg	16
2.7.3	Emissionsfaktoren	17
2.8	Ausbreitung, Immission und Deposition	17
3	AMMONIAK UND SEINE WIRKUNG AUF DIE UMWELT	19
3.1	Technosphäre	19
3.2	Atmosphäre	19
2.3	Biosphäre, Pedosphäre, Hydrosphäre	19
2.3.1	Eutrophierung	19
3.3.2	Versauerung	20
3.3.3	Belastungsgrenze für die Depositionsmengen	20
3.3.4	Belastungsgrenze für die Luftschadstoffkonzentrationen	20
4	GESETZLICHE REGELUNGEN	21
4.1	NEC-Richtlinie	21
4.2	33. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz	21
4.3	Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln	21
4.4	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft	21
4.5	Umsetzung der gesetzlichen Vorgaben in die Praxis	22
4.5.1	Bundesweiter Handlungsfaden „Ermittlung und Bewertung der Stickstoffdeposition“	22
4.5.2	Optimierung der Abstandskurve in Baden-Württemberg	22

5	AMMONIAK-IMMISSIONEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG	23
5.1	Messmethoden und Analytik	23
5.1.1	Radiello Passivsammler	23
5.1.2	Passivsammler nach Ferm	23
5.2	Ammoniak-Messprogramme in den Jahren 2003 bis 2006	24
5.2.1	Untersuchungsgebiete	24
5.2.2	Ergebnisse aus dem landwirtschaftlichen Umfeld	28
5.2.3	Ergebnisse aus dem überwiegend nicht landwirtschaftlichen Umfeld	31
5.3	Ammoniakmessnetz in Baden-Württemberg	33
5.3.1	Standortauswahl	33
5.3.2	Erste Ergebnisse nach einem Jahr Messnetzbetrieb	34
5.3.2.1	Ammoniak-Immissionen im Verkehrsbereich	34
5.3.2.2	Ammoniak-Immissionen in den übrigen Quellkategorien	35
5.3.2.3	Ammoniak-Immissionen im saisonalen Verlauf	35
5.3.2.4	Gesamter Stickstoffeintrag an zwei Hintergrundstandorten	36
6	LITERATUR	39
7	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	42
8	ANHANG	44

Zusammenfassung

Ammoniak hat Anfang des 20. Jahrhunderts mit der Entwicklung des Haber-Bosch-Verfahrens eine wachsende Bedeutung bekommen. Dieses Verfahren revolutionierte die großtechnische Ammoniakgewinnung und seine industrielle Weiterverarbeitung zu Düngemitteln, Sprengstoffen oder anderen Produkten. Eine umweltrelevante Bedeutung hat heute die Landwirtschaft, die mit ca. 90 Prozent Hauptverursacher der Ammoniak-Emissionen ist. Weit geringere Mengen mit zunehmender Tendenz stammen aus dem Verkehr.

Mit dem Eingriff des Menschen in den natürlichen Stickstoffkreislauf trägt Ammoniak auch über seine vielfältigen Reaktionen und Wirkungen zur Versauerung, Überdüngung sowie Schädigung der belebten und unbelebten Umwelt bei. Außerdem kann es sich über die Bildung von Ammoniumnitrat und Ammoniumsulfat (sekundäre Aerosole) großräumig in der Atmosphäre verteilen.

Zum Schutz der empfindlichen Ökosysteme vor schädlichen Ammoniakkonzentrationen müssen Tierhaltungsanlagen nach TA Luft Anhang 1 Mindestabstände zu diesen Schutzgütern einhalten. Bei Genehmigungsverfahren sind daher konkrete Kenntnisse über die örtlichen Ammoniaksituationen eine elementare Voraussetzung.

In Baden-Württemberg wurden in den Jahren 2003 bis 2006 sondierende Ammoniakmessungen durchgeführt, die Ausgangsbasis für die Konzeption eines landesweiten Ammoniakmessprogramms der LUBW waren. Für dieses dauerhafte und landesweite Messprogramm wurden aus Synergie- und Effizienzgründen kostengünstige Passivsammler ausgewählt und bei bestehenden Messstandorten aufgestellt. Während der Projekte wurden fachliche Kontakte zur Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, zur Universität Hohenheim sowie zum Landwirtschaftlichen Technologiezentrum, Augustenberg genutzt.

Die landesweiten Messungen starteten im Jahre 2007. Sowohl im emittentenbeeinflussten Umfeld als auch im unbeeinflussten Hintergrund werden an 19 Standorten im 14-tägigen bzw. 28-tägigen Wechsel die Ammoniakkonzentrationen gemessen. Die Ergebnisse zeigen, dass in direkter Nähe von landwirtschaftlichen Quellen im Jahresmittel Ammoniakkonzentrationen von bis zu $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht werden. In direkter Straßennähe ergaben sich im Jahresmittel 6 bis $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Extremwerte können hiervon deutlich abweichen. Im Allgemeinen verdünnen sich die Ammoniakkonzentrationen mit zunehmender Entfernung zur Quelle und steigender Windgeschwindigkeit. In Städten wird dieser Verdünnungseffekt aufgrund einer dichten Bebauung abgeschwächt.

Die beiden Quellkategorien Landwirtschaft und Verkehr unterscheiden sich nicht grundsätzlich durch die Menge der Ammoniakimmissionen, jedoch hinsichtlich ihrer saisonalen Ausprägung. Im landwirtschaftlichen Umfeld unterliegen sie den Wachstums- und Düngeperioden und zeigen somit saisonale Schwankungen. Hingegen sind im städtisch verkehrsbeeinflussten Bereich die Konzentrationen über das Jahr weitgehend gleichmäßig verteilt.

Die räumliche und zeitliche Verteilung der Ammoniakimmissionen in Baden-Württemberg differieren je nach Emittentenlage, d.h. es ergeben sich regional verschiedene Hintergrundwerte.

Dieses Messprogramm ermöglicht erste Erkenntnisse über die landesweite Verteilung der Ammoniakkonzentrationen. Die Daten können zur Neuberechnung der Emissionsfaktoren verwendet werden und in einer gezielten Förderung emissionsmindernder Maßnahmen münden. Damit lassen sich erste Schritte zur Einhaltung der gesetzlichen Emissionshöchstgrenzen für Ammoniak ableiten.

1 Ammoniak in der Umwelt – Einführung

Ammoniak ist erst in den letzten Jahren als relevanter Luftschadstoff ins Bewusstsein der Fachöffentlichkeit getreten. Dazu haben einerseits neue wissenschaftliche Erkenntnisse über die luftchemische Bedeutung und Wirkung von Stickstoff beigetragen, andererseits die Neufassung von Verordnungen wie der TA Luft (2002) [1] und der 33. BImSchV (2004) [2]. Ammoniak ist nur eine von vielen Stickstoffverbindungen, die in der Umwelt vorkommen.

Ammoniak wird bis heute als Ausgangssubstanz für die Düngemittelproduktion eingesetzt. Mit dieser industriellen Anwendung erlangte das Ammoniak im 20. Jahrhundert große Bedeutung. Zunächst als Segen zur Sicherung der Welternährung begrüßt, wandelte sich dieser Stoff im 21. Jahrhundert jedoch zunehmend zu einem Problem für unsere Umwelt (Abb 1-1). Schlagzeilen wie „Stickstoffduche lässt Bäume ersticken“ oder „Förster fürchten Rinderwinde“ [3] verdeutlichen die Situation sehr bildhaft.

Die Bedeutung von Stickstoff und insbesondere von Ammoniak für die Umwelt kommt unter anderem dadurch zum Ausdruck, dass die NEC-Richtlinie [4] für alle Mitgliedstaaten der Europäischen Union Nationale Emissionshöchstgrenzen für Stickstoffoxide und auch für Ammoniak festgelegt hat.

In diesem Bericht werden Quellen und Eigenschaften sowie Nutzung und Verbreitung von Ammoniak beschrieben. Betrachtet werden vor allem die Ergebnisse aus Messungen, die in den Jahren 2003 bis 2006 durchgeführt wurden. Sie waren Grundlage für die Konzeption des seit 2007 laufenden landesweiten Ammoniak-Messprogramms. Dabei werden kostengünstige Passivsammler eingesetzt, die in bereits bestehende Messstandorte integriert werden. Die Konzeption sowie die ersten Ergebnisse des landesweiten Messprogramms werden ebenfalls vorgestellt.



Abb. 1-1: Federsee, Naturschutzgebiet in Oberschwaben

2 Ammoniak – Quellen, Eigenschaften, Emissionen

2.1 Entdeckungen und Entwicklungen

Der Stickstoff mit seinen variantenreichen Erscheinungsformen wurde im Lauf der Menschheitsgeschichte für unterschiedliche Zwecke genutzt. Schon in der Steinzeit war Harnstoff in Kombination mit Zunderpilz wichtig für das Entfachen von Feuer [5]. In der Antike waren die Salze des Ammoniaks wie z. B. Salmiak bekannt. Im Mittelalter wurden stickstoffhaltige Substanzen wie Salpetersäure oder Salpeter (Kaliumnitrat) für die Sprengstoffproduktion eingesetzt.

Der Engländer H. Cavendish und der Schotte D. Rutherford konnten im Jahre 1772 in der Luft den Stickstoff nachweisen. Im Jahre 1777 entschlüsselte C.-W. Scheele, dass Ammoniak eine Stickstoffverbindung ist und acht Jahre später stellte Bertollét die chemische Formel auf [6]. Die deutsche Bezeichnung Stickstoff beruht auf seiner erstickenden Wirkung. Der Begriff Nitrogenium stammt aus dem Lateinischen und bedeutet „Salpeterbildner“.

Seit Ende des 19. Jahrhundert kühlen die Brauereien dank dem Linde-Verfahren ihre Biere mit Ammoniak betriebenen Kälteanlagen [7]. In den Jahren 1909-1910 entwickelten Fritz Haber und Carl Bosch auf Grundlage des Linde- sowie des Ostwald-Verfahrens die technische Herstellung von Ammoniak aus dem atmosphärischen Stickstoff und Wasserstoff. Beim Haber-Bosch-Verfahren reagieren diese beiden Komponenten unter Druck, hohen Temperaturen und mit Hilfe eines Katalysators zu Ammoniak. Damit begann u. a. eine neue Ära der Düngemittelgewinnung [6].

2.2 Stickstoff in der Umwelt

Stickstoff ist ein Element der fünften Hauptgruppe im Periodensystem. Er tritt in vielen verschiedenen chemischen Verbindungen und Umweltbereichen auf. In unserer Atmosphäre bildet der molekulare Stickstoff N_2 mit 78 Volumenprozent den Hauptanteil. Aufgrund der Dreifachbin-

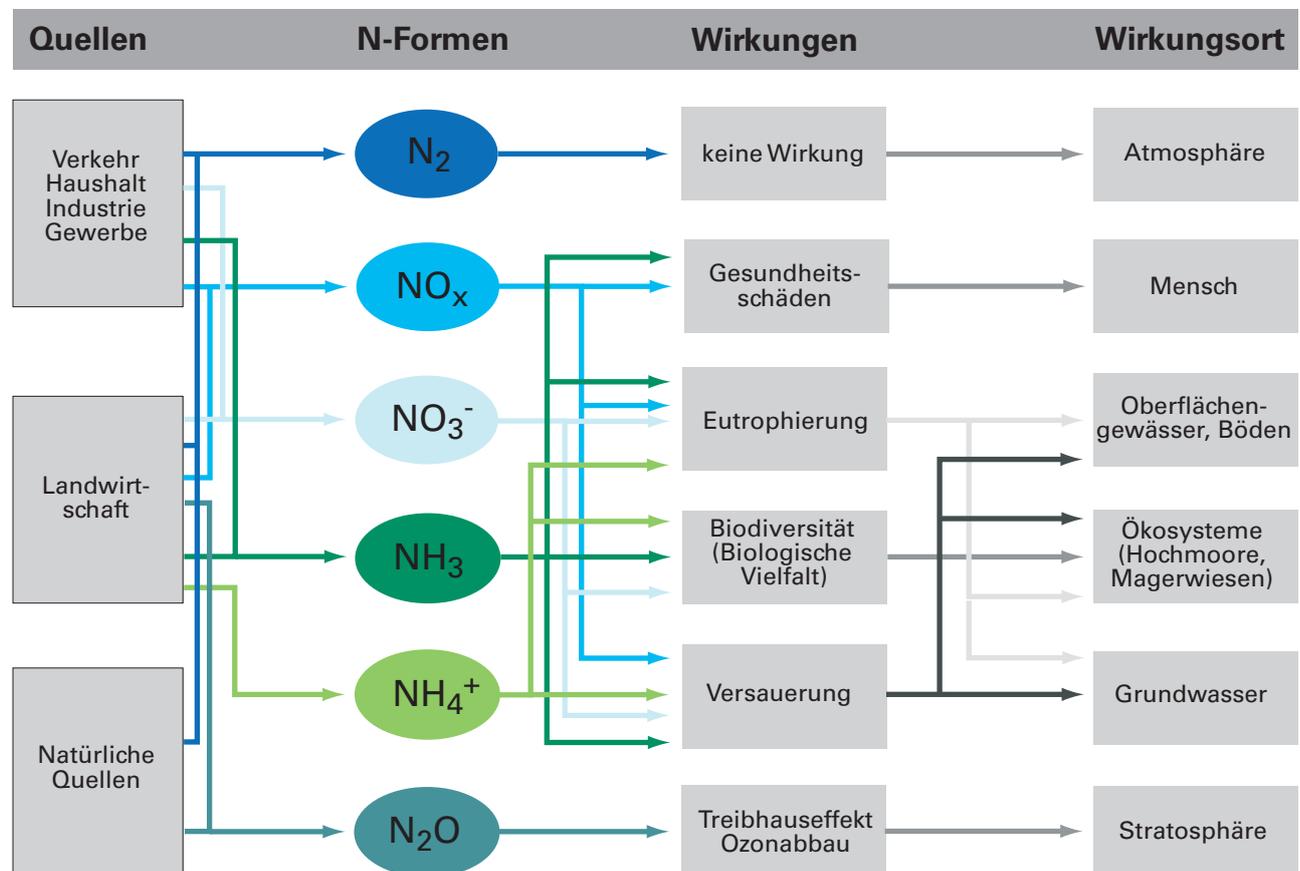


Abb. 2-1: Stickstoffverbindungen, Vorkommen und Wirkungen.
Quelle: BLW 2004 [9], verändert LUBW 2007

ung zwischen den beiden Stickstoffatomen verhält sich das Stickstoffmolekül inert. Für Reaktionen bedarf es einer hohen Aktivierungsenergie.

In der Biosphäre – also den Lebewesen mit Flora, Fauna und Menschen – ist der Stickstoff mit einem Anteil von 3 Prozent der organischen Masse gebunden. Gemeinsam mit dem Kohlenstoff ist der Stickstoff über die Aminosäuren und Nucleinsäuren maßgeblich am Aufbau der Biomasse beteiligt. In den Böden (Pedosphäre) schwankt der Stickstoffgehalt zwischen 0,02 und 0,4 Prozent; er ist hauptsächlich in organisch gebundener Form im Humus anzutreffen. Weit seltener ist er in anorganischer Form wie z. B. als Salz der Salpetersäure (Natrium- oder Kaliumnitrat) in der Pedosphäre und Lithosphäre (oberste, feste Schicht der Erde) vorhanden [8].

Der Einfluss der verschiedenen Stickstoffverbindungen ist recht unterschiedlich. Abb. 2-1 verdeutlicht im Überblick die Wirkungspalette von Stickstoff.

Die variantenreichen Erscheinungsformen von Stickstoff gehen in komplexen Reaktionsvorgängen ineinander über. Dies verdeutlicht der stilisierte Stickstoffkreislauf in Abb. 2-2. Für die Natur ist diese Wandlungsfähigkeit von größter Bedeutung, wird dadurch doch erst Leben ermöglicht. Der Stickstoffumsatz findet hauptsächlich in Böden über die Ammonifikation, Nitrifikation und Nitratreduktion statt, wobei organische Substanz wie Humus das Reservoir des Kreislaufes bildet.

Mit dem Einfluss des Menschen auf den natürlichen Kreislauf ist dieses System aus dem Gleichgewicht geraten. Die Wachstum fördernde Wirkung von Stickstoffverbindungen wird zunehmend durch Überdüngung, Versauerung und durch die Beteiligung am Treibhauseffekt negativ überlagert. Vor allem für die Diskussion zukünftiger Maßnahmen ist es wichtig, die Zusammenhänge des Stickstoffkreislaufes genau zu kennen.

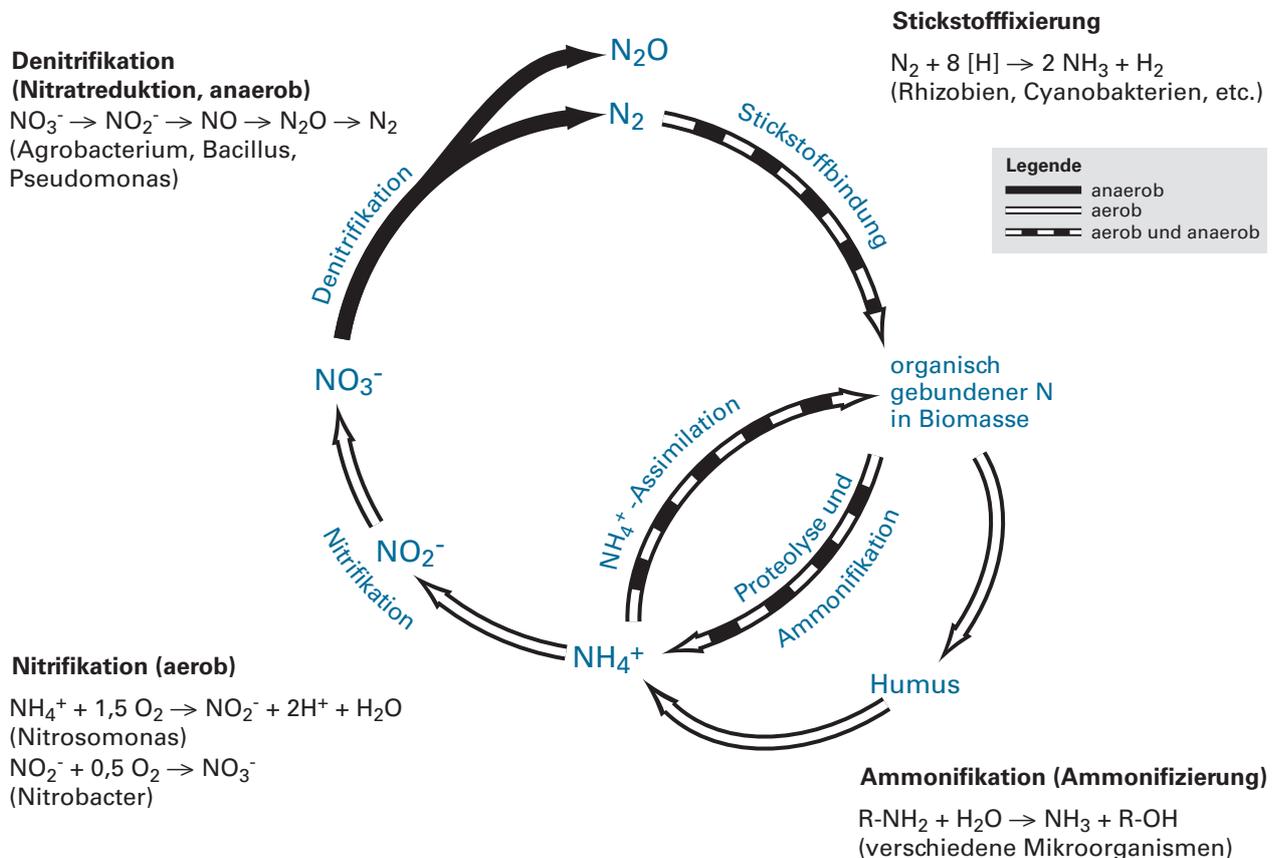


Abb. 2-2: Stickstoffkreislauf. Quelle: Uni Stuttgart 2005, verändert LUBW 2008

2.3 Stickstofffixierung

Atmosphärischer Stickstoff (N_2) kann von der Mehrzahl der Lebewesen nicht direkt genutzt werden. Dennoch gelingt es einigen Mikroorganismen, ihn in eine für Pflanzen verfügbare Form umzuwandeln. Dabei handelt es sich um die sogenannte Stickstofffixierung, die in eine natürliche und synthetische Variante unterschieden werden kann.

Bei der natürlichen Stickstofffixierung kann eine chemische und eine biologische Bindung benannt werden. Die chemische Umwandlung des Atmosphärenstickstoffs N_2 in eine wasserlösliche Form (NO_x), erfolgt durch die atmosphärische Entladung bei Blitzen. Dabei werden jährlich weltweit ca. 5-7 Mio. Tonnen Atmosphärenstickstoff fixiert [10].

Die biologische Stickstofffixierung erfolgt über einen biologischen Katalysator, das Enzym Nitrogenase. Sie hat eine wichtige Bedeutung für die Entwicklung des Lebens. Spezialisierte Mikroorganismen wandeln mit Hilfe dieses Enzyms den elementaren Stickstoff ohne thermische oder sonstige Effekte zu Ammoniak um. Der so gewonnene Stickstoff bildet u. a. mit Kohlenstoff die Bausteine für organische Substanzen. Die biologische Stickstofffixierung erfolgt über frei im Boden lebende Bakterien wie Azotobacter, die pro Hektar jährlich etwa 30 kg Stickstoff fixieren. Eine weitaus höhere Stickstofffixierung erreichen mit ca. 200 kg bis maximal 600 kg pro Hektar die symbiontisch lebenden Bakterien. Rhizobien sind Mikroorganismen, die im Wurzelbereich verschiedener Leguminosearten wie Erbsen oder Lupinen leben. Aber auch bei baumartigen Pflanzen wie Erle oder Sanddorn kommt es zu einer Stickstoff fixierenden Wurzelsymbiose. Über die biologische Stickstofffixierung werden weltweit mehr als 140 Mio. Tonnen Luftstickstoff pro Jahr umgewandelt. Inzwischen erreicht die weltweite synthetische Fixierung fast vergleichbare Werte [10, 11].

Die synthetische Stickstofffixierung wurde mit dem Haber-Bosch-Verfahren ermöglicht. Hier wird über entsprechende technische Verfahren Stickstoff aus der Luft bei hohem Druck von ca. 200 bar und hohen Temperaturen von 475°C bis 600°C unter Zugabe eisenhaltiger Katalysatoren und Wasserstoff zu Ammoniak umgesetzt. Mit diesem industriellen Verfahren wurde die Produktion von Sprengstoff und

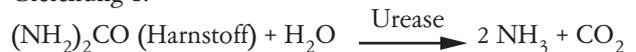
vor allem von Düngemittel revolutioniert und deren Herstellung in großen Mengen ermöglicht (vgl. Abschnitt 2.6).

2.4 Bildung und Quellen von Ammoniak

Wenn stickstoffhaltiges organisches Material z. B. von abgestorbenen tierischen und pflanzlichen Lebewesen oder von Exkrementen sich zersetzt, wird der gebundene Stickstoff als Ammoniak freigesetzt. Über diesen Vorgang der Mineralisierung (z. B. Ammonifikation) wird der Stickstoff wieder dem Kreislauf zur Verfügung gestellt. Auch beim Verdauen von eiweißhaltigen Speisen wird Ammoniak gebildet. Das menschliche Blut enthält daher einen durchschnittlichen Ammoniakspiegel von ca. 30 μmol pro Liter (50 $\mu\text{g/l}$) [12].

Ammoniak wird hauptsächlich über den Abbau von Harnstoff durch das Enzym Urease freigesetzt. Dieses Enzym kommt weit verbreitet in bodenbürtigen Bakterien oder im Kot vor und katalysiert folgende Umsetzung:

Gleichung 1:



Die Hauptquellen der Ammoniak-Emissionen befinden sich in der Landwirtschaft. In Deutschland werden ca. 74 Prozent der Emissionen über die Tierhaltung und 21 Prozent über den Pflanzenbau emittiert [13]. Bis zu 50 Prozent des Stickstoffes, der in der Gülle als organisch und mineralisch gebundener Stickstoff enthalten ist, kann als Ammoniak, Lachgas oder Stickstoffoxid entweichen. Dieser Verlust bedeutet, dass der Stickstoff nicht mehr als düngende Komponente zur Verfügung steht, aber in den anderen Umweltbereichen zu Problemen führen kann (s. Abb. 2-1).

Als eine weitere Ammoniakquelle traten Anfang der 90er Jahre mit Einführung des Drei-Wege-Katalysators benzinbetriebene Kraftfahrzeuge in Erscheinung. Mit diesem katalytischen Verfahren werden die Abgase, die aus Stickstoffoxiden, Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen bestehen, mittels Sauerstoff zu Kohlenstoffdioxid, Stickstoff und Wasser umgewandelt (Gleichung 2 bis 4):

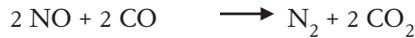
Gleichung 2:



Gleichung 3:

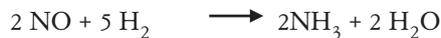


Gleichung 4:



Die Effektivität dieser Redoxvorgänge hängt stark von der konstanten Zusammensetzung des Luft-Kraftstoff-Gemischs ab. Beim Erreichen der Motorbetriebstemperaturen kann es ungewollt im Katalysator zu höheren Ammoniak-Emissionen kommen (Gleichung 5).

Gleichung 5:



Je nach Katalysortyp und Verkehrsfluss emittieren die benzinbetriebenen Kraftfahrzeuge zwischen 20 und 50 mg Ammoniak je Kilometer [14]. Dass bei Fahrzeugen mit Drei-Wege-Katalysator Ammoniak emittiert wird, hat Kirchner [15] durch Immissionsmessungen an Verkehrsstraßen nachgewiesen.

Ebenso beobachteten Frahm et. al. [16] spezielle Flechten in Straßennähe. Bestimmte Flechtenarten dienen normalerweise als Bioindikatoren für den Nachweis guter Luftqualität. In Straßennähe wurden jedoch verstärkt auch nitrophile Flechten gefunden, welche die Abgase als Nahrungsquelle nutzen. Besonders auffällig war der Fund der Gelbflechte (*Xanthoria perietina*), die üblicherweise in Nähe

von Tierstallungen oder Dungelegen und somit speziell bei Luftbelastungen durch Ammoniak anzutreffen ist. Dies war ein weiterer Hinweis auf Ammoniak-Immissionen in Bereichen, die durch städtischen Verkehr beeinflusst sind.

2.5 Eigenschaften von Ammoniak

Ammoniak ist als reduzierte Stickstoffverbindung ein farbloses, stechend riechendes Gas. Es ist nicht brennbar, aber sehr gut wasserlöslich und übernimmt als einzige gasförmige Base eine wichtige Rolle für den Säure-Basen-Haushalt der Atmosphäre (Abb. 2-3).

Aufgrund der guten Wasserlöslichkeit wirkt Ammoniak ätzend und verursacht beim Menschen Reizungen der Augen und der Schleimhäute. Bei einer Konzentration von mehr als 5.000 ppm (3.500 mg/m³) wirkt es innerhalb kurzer Zeit tödlich. Die Geruchsschwelle von ca. 1,9 mg/m³ liegt weit unterhalb des vorgeschriebenen Arbeitsplatzgrenzwertes von 14 mg/m³ (20 ppm). Dadurch kann die Gefahr einer toxischen Exposition beim Menschen weitgehend ausgeschlossen werden [17, 18, 19]. Auch bei der Tierhaltung, vor allem bei der Schweinehaltung, sollen im Stall 20 ppm Ammoniak nicht überschritten werden [20].

Dass der Umgang mit Ammoniak dennoch nicht ungefährlich ist, verdeutlichen immer wieder Presseberichte wie z. B. über einen Unfall im Kühlanlagenbereich einer niedersächsischen Geflügelschlachtereie im Februar 2008 [21].

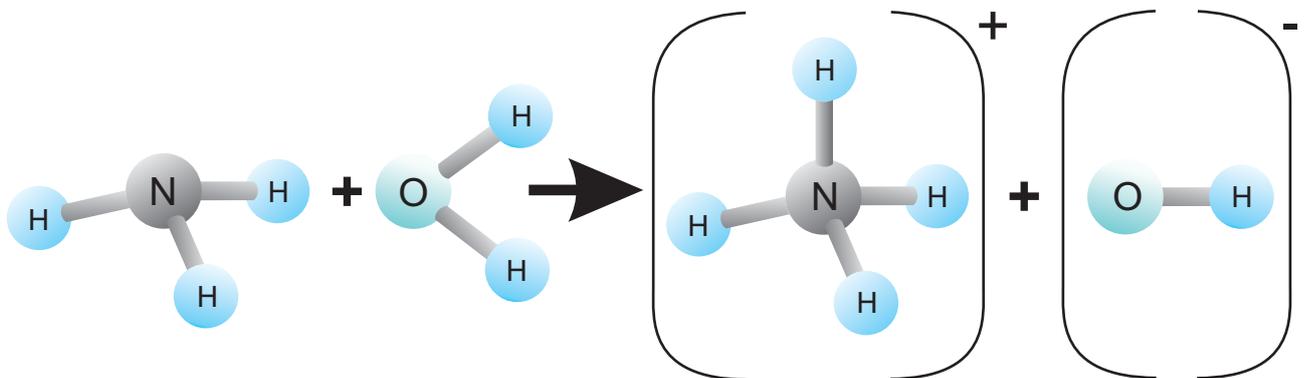


Abb. 2-3: Ammoniak und Ammonium.

2.6 Anwendungsbereiche von Ammoniak

Im Jahre 1985 wurden in Deutschland jährlich 3,1 Mio. Tonnen technisches Ammoniak produziert. Bis 2006 nahm die Ammoniakproduktion auf jährlich 2,7 Mio. Tonnen ab [22].

Der bedeutendste Anwendungsbereich für Ammoniak ist die Düngemittelproduktion. Im Jahr 2007 wurden weltweit 98,5 Mio. Tonnen stickstoffhaltige Düngemittel auf die landwirtschaftlichen Flächen verteilt. Asien war mit 69 Prozent Hauptanwender, Europa setzte im selben Jahr 14,1 Mio. Tonnen ein [11]. In Deutschland wurden 2006 und 2007 jeweils 1,6 Mio. Tonnen Stickstoffdünger an die Landwirte geliefert. Nach Möller [6] steht dem Menschen jedoch über die Nahrungskette Pflanze-Tier-Mensch nur rund 10 Prozent des Düngerstickstoffs als Spurenelement zur Verfügung. Prognosen errechnen eine weltweit steigende Nachfrage an stickstoffhaltigen Düngemittel. Die angenommene Steigerungsrate von 1,4 Prozent pro Jahr bedeutet eine Zunahme um 7,3 Mio. Tonnen Stickstoffdünger auf 105,8 Mio. Tonnen bis zum Jahre 2012 [11].

Das Landwirtschaftliche Technologiezentrum Augustenberg (ltz) [23] listet in seiner Düngeempfehlung von 2007 für Weizen eine jährliche Höchstmenge an Stickstoff von 200 kg je Hektar (kg/ha), für Energiemais 180 kg/ha, für Zuckerrüben oder Kartoffeln jeweils 140 kg/ha auf. Die tatsächlich eingesetzte Menge an Stickstoffdünger hängt u. a. vom Gehalt an mineralisiertem Stickstoff (N_{min}) im Boden, der Bodenart sowie der Pflanzenart ab. Verluste bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern (Gülle, Mist) sowie der Einsatz von Kraftfutter und Mineraldünger (Kunstdünger) bedingen in der Landwirtschaft Stickstoffüberschüsse, die zu Problemen in der Umwelt vor allem für die Böden und Gewässer führen. In Deutschland ergab sich auf landwirtschaftlich genutzten Flächen laut dem Umweltindikator „Stickstoffüberschuss – Flächenbilanz“ im Jahresmittel zwischen 1998 bis 2003 ein Stickstoffüberschuss von 80 kg/ha [24]. Im Hinblick auf den Gewässerschutz muss dieser Überschuss auf 50 kg/ha reduziert werden [25]. In Baden-Württemberg wurde für die Pedosphäre ein Stickstoffüberschuss von jährlich 17 kg/ha bilanziert [26].

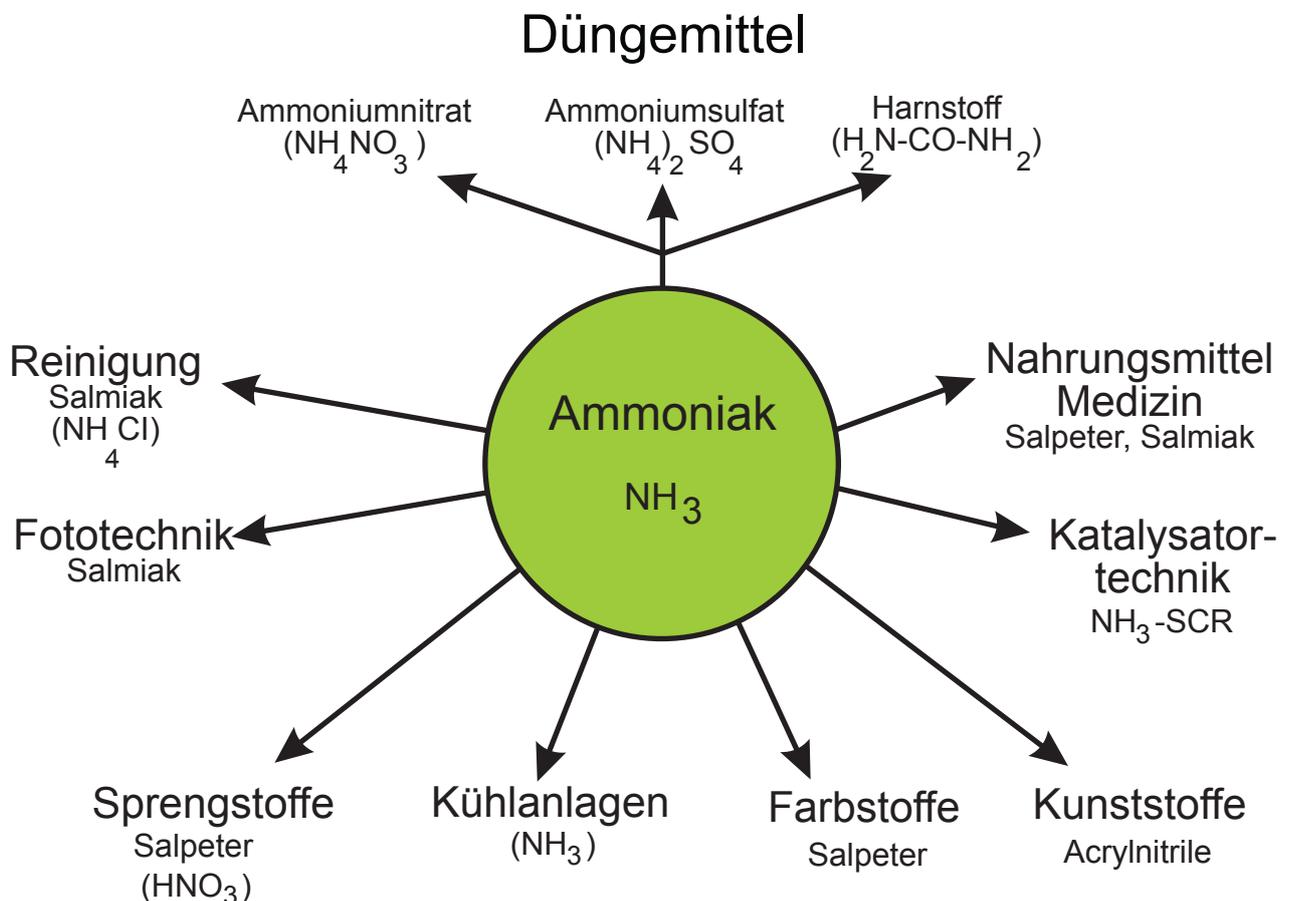


Abb. 2-4: Anwendungsbereiche von Ammoniak. LUBW 2008

Neben der Düngemittelherstellung ist das technisch hergestellte Ammoniak eine wichtige Ausgangssubstanz für die Weiterverarbeitung in verschiedenen Branchen wie z. B. Kühlmittelproduktion, Sprengstoffherstellung oder Medizin (Abb. 2-4).

Seit Mitte der 70er Jahre wird Ammoniak zur Rauchgasreinigung bei Kraftwerken eingesetzt. Die Reinigung erfolgt nach dem SCR-Verfahren (selective catalytic reduction), d. h. die Stickstoffoxide werden mit Hilfe von Ammoniak und eines schwefelverträglichen Katalysators selektiv und katalytisch zu Stickstoff reduziert [27]. Dieses Verfahren soll ebenfalls zur Reduktion der Stickstoffoxide bei Diesel-Fahrzeugen angewendet werden, wobei das Ammoniak aus Sicherheitsgründen über Harnstoff zugeführt wird. Ein Entweichen von Ammoniak, der so genannte „Ammoniak-Schlupf“, soll über eine katalytische Oxidation verhindert werden.

2.7 Ammoniak-Emissionen

Aufgrund der vielfältigen Umweltwirkungen von Ammoniak ist eine quantitative Analyse der Emissionen von Bedeutung. Hierzu gehören auch Angaben zur Verlässlichkeit der Emissionsdaten und der daraus resultierenden Emissionsfaktoren.

2.7.1 Emissionen in Deutschland

Hauptemittent von Ammoniak ist mit 95 Prozent die Landwirtschaft, gefolgt vom Verkehr mit rund 2 Prozent. Die restlichen 3 Prozent verteilen sich auf verschiedene Industrieprozesse, Energiewirtschaft sowie Haushalt und Kleinverbraucher (Abfälle, Abfallentsorgung, landwirtschaftlicher Verkehr, etc.).

Zwischen 1990 und 2005 sind die Ammoniak-Emissionen in Deutschland um 18 Prozent von 703 Kilotonnen auf 619 Kilotonnen zurückgegangen [28]. Im landwirtschaftlichen Bereich hat vor allem der Rückgang der Tierbestände und der verbesserte Stand der Tierhaltungstechniken diese Reduktion bewirkt. Im Bereich des Verkehrs nahmen die vergleichsweise geringen Emissionen aufgrund der eingesetzten Katalysatortechnik von jährlich 4 auf 11 Kilotonnen zu. Trotz der Rückgänge in der Landwirtschaft kann die festgelegte nationale Emissionshöchstgrenze von jährlich 550 Kilotonnen Ammoniak ab dem Jahr 2010 nur mit weiteren massiven Minderungsmaßnahmen erreicht werden (Abb. 2-5).

Die Rinderhaltung stellt mit fast der Hälfte den Hauptanteil der Ammoniak-Emissionen in der Landwirtschaft, gefolgt von der Schweinehaltung mit 22 Prozent. Eine nähere Betrachtung des Sektors Tierhaltung zeigt, dass die

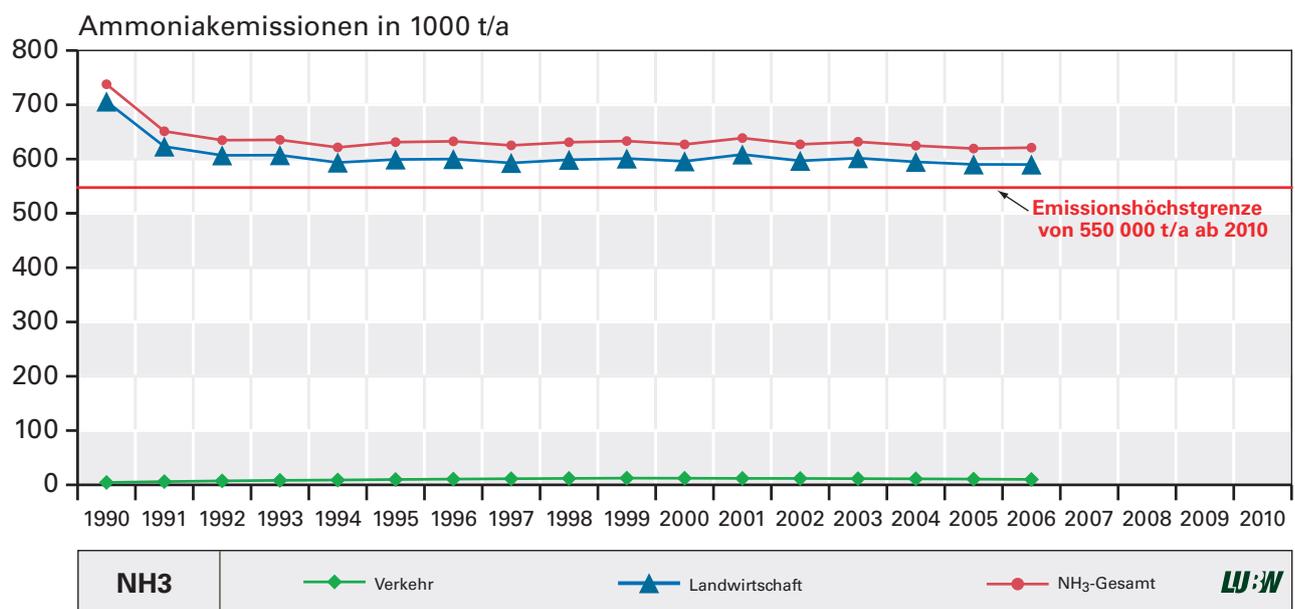


Abb. 2-5: Ammoniak-Emissionen in Deutschland von 1990 bis 2005, Emissionshöchstgrenzen nach NEC-Richtlinie 2000 und 33. BImSchV 2004. Quelle: UBA 2008 [28]

Emissionen zu 37 Prozent aus den Ställen, zu 39 Prozent aus der Ausbringung von Wirtschaftsdünger wie Gülle oder Mist und zu 20 Prozent aus der Lagerung von Wirtschafts- und Mineraldünger stammen (vgl. Abb. 2-6 sowie [29]).

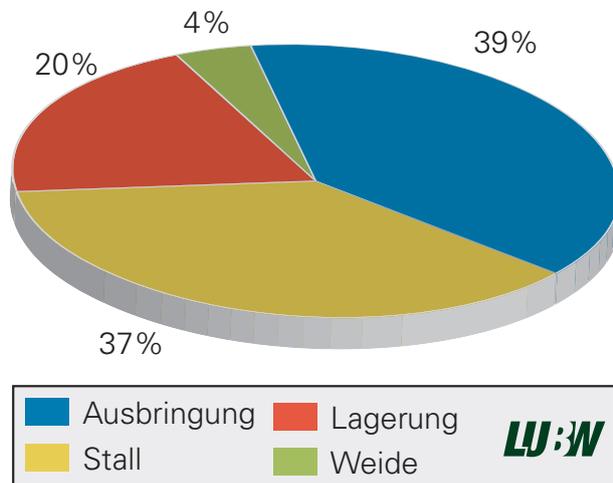


Abb. 2-6: Anteile der bundesweiten Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung. Quelle: AID 2003 [29]

2.7.2 Emissionen in Baden-Württemberg

Alle zwei Jahre berechnet und veröffentlicht die LUBW die gesamten Emissionen in Baden-Württemberg [30]. Die zeitliche Entwicklung der Ammoniak-Emissionen von 1994 bis 2006 gibt Abb. 2-7 wieder.

Betrachtet man den Verlauf der Ammoniak-Emissionen näher, fällt eine deutliche Abnahme zwischen 2000 zu 2004 ins Auge. Diese wurde im Wesentlichen durch die rückläufigen Vieh- und Betriebszahlen (Milchvieh, Schweinemast) in der Landwirtschaft und den reduzierten Düngemittel-einsatz verursacht [30, 31].

Im Jahre 2006 beliefen sich die Emissionen auf 55.330 Tonnen. Der Hauptanteil stammt mit 97 Prozent aus den biogenen Quellen. Darunter versteht man zum einen die natürlichen Quellen wie Vegetation, Böden, Gewässer oder Wildtiere, zum anderen die anthropogen beeinflussten Quellen wie die Landwirtschaft mit der Nutztierhaltung und dem Abwasser. Der Verkehr trug mit 2 Prozent bei, das waren 1.350 Tonnen. Mit der Einführung des Dreiwege-Katalysators bei den benzinbetriebenen Fahrzeugen in den 90er Jahren nahm die Ammoniak-Emission des Verkehrs an Bedeutung zu.

Bezogen auf die Fläche wurden im gesamten Jahr 2006 in Baden-Württemberg 33,5 kg Ammoniak pro Hektar aus den landwirtschaftlichen Nutzflächen und ca. 7 kg pro Hektar aus den Verkehrsflächen emittiert.

Laut Emissionskataster 2003, das eine genaue Aufschlüsselung der Emissionen für die biogenen Quellen [32] enthält, verteilen sich die Ammoniak-Emissionen in Baden-Württemberg im Bereich der Landwirtschaft wie folgt: 60 Prozent Rinderhaltung, 21 Prozent Schweinehaltung, 8 Prozent Mineraldüngung und ca. 3 Prozent landwirtschaftlich genutzte Böden und Pflanzen. Die restlichen 8 Prozent werden über die Pferde-, Ziegen- Schafe- sowie Geflügelhaltungen freigesetzt.

Im Hinblick auf eine Minderung der Emissionen ist die Rinderhaltung von besonderem Interesse. Bei allen Maßnahmen zur Emissionsminderung sind auch die Aspekte einer artgerechten Haltungsform zu berücksichtigen, wodurch sich u. U. höhere spezifische Ammoniak-Emissionen ergeben. Diese können sich in der Rinderhaltung bei der Umstellung von einem Anbindestall zum Liegeboxenlaufstall von jährlich 1,7 kg pro Tierplatz bis 3,2 kg pro Tierplatz auf 2,2 kg pro Tierplatz bis 25 kg pro Tierplatz [33] erhöhen. Ebenso ergibt sich bei den Legehennen eine Erhöhung beim Wechsel von der Käfig- zur Bodenhaltung von 0,0389 kg pro Tierplatz auf 0,3157 kg pro Tierplatz [1, 34] und Jahr. Die äußeren Witterungsbedingungen wie Temperatur sowie der Abluftvolumenstrom üben einen großen Einfluss auf die Emissionsfaktoren aus. Dies wirkt sich vor allem bei frei belüfteten Stallsystemen in der Rinderhaltung (hier Liegeboxenlaufstall) aus. Die hohe Schwankungsbreite bei den Haltungsformen veranschaulicht, dass die Ermittlung der Emissionen bzw. Emissionsfaktoren mit einer erheblichen Unsicherheit verbunden sind. Zusätzlich spielen neben der Haltungsform noch weitere Einflüsse wie Entmistungsverfahren, stickstoffangepasste Fütterung und Betriebsmanagement eine wesentliche Rolle bei den Ammoniak-Emissionen. Daher sind noch weitere Messungen unter standardisierten und damit vergleichbaren Bedingungen notwendig.

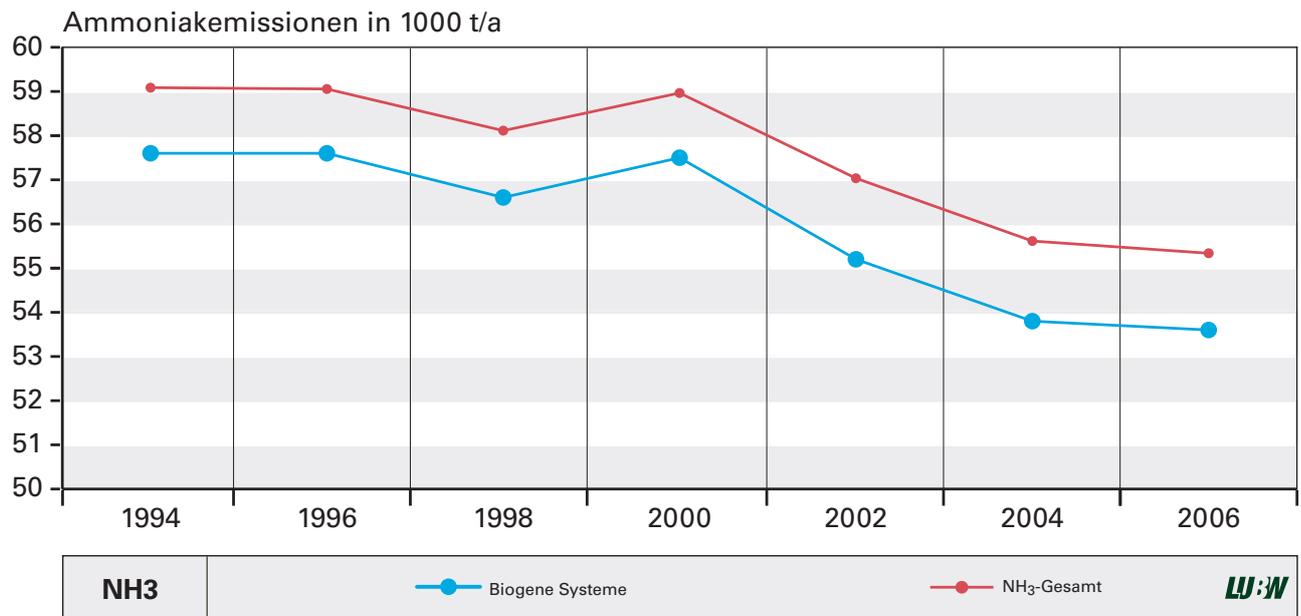


Abb. 2-7: Ammoniak-Emissionen in Baden-Württemberg von 1994 - 2006. Quelle: LUBW 2008 (Daten wurden rückwirkend neu berechnet)

2.7.3 Emissionsfaktoren

Die Daten des Emissionskatasters 2006 stützen sich auf aktuelle Berechnungen des Nationalen Emissionsberichtes (NIR) von 2007 [35]. Dies hatte zur Folge, dass rückwirkend die Emissionswerte für die biogenen Systeme neu berechnet werden mussten. So reduzieren sich die ursprünglich für das Jahr 2004 ermittelten Ammoniak-Emissionen in Höhe von 69.000 Tonnen auf 55.600 Tonnen. Diese Veränderung in der Größenordnung von 20 Prozent ergab sich aufgrund einer detaillierteren Datengrundlage für die Berechnungen. Auch in der Zukunft werden neue wissenschaftliche Erkenntnisse über Besonderheiten der Emission zu Veränderungen führen.

Wichtig ist eine Einschätzung der Datenqualität. Diese überträgt sich unmittelbar auf die Qualität der Emissionsfaktoren. Bei der Abschätzung üben Parameter wie Halteform, Ausbringtechnik des Wirtschaftsdüngers, Witterung oder Betriebsmanagement einen wichtigen Einfluss aus. In welcher Höhe sie sich auf die Emissionen auswirken, wird im nationalen Bewertungsrahmen Tierhaltungsverfahren klassifiziert. Es werden Kategorien von „sehr gering“ über „mittel“ bis „sehr hoch“ verwendet [33, 36].

Informationen über das Emissionspotenzial und mögliche emissionsmindernde Maßnahmen sind wichtig zur Unterstützung der Behörden vor Ort, die ihre Entscheidungen

zur Genehmigung einer Tierhaltungsanlage auf gesicherten Grundlagen treffen sollten.

2.8 Ausbreitung, Immission und Deposition

Aus landwirtschaftlichen Quellen wie z. B. den Tierhaltungsanlagen wird emittiertes Ammoniak überwiegend quellennah im Umkreis weniger Kilometer deponiert. Dabei wird der größte Teil als trockene Deposition (bis zu 44 Prozent) in die umliegenden Ökosysteme eingetragen, ein geringer Teil über die Niederschläge (ca. 6 Prozent). Dadurch ergibt sich ein zeitlich und räumlich stark differierender Ammoniakeintrag.

Die verbleibende Hälfte des emittierten Ammoniaks reagiert in der Atmosphäre zu Ammonium. Dieses hat wesentlichen Anteil bei der sekundären Aerosolbildung und ist Träger des partikulären Ferntransports von reduzierten Stickstoffverbindungen (Abb. 2-8). Mit rund 36 Prozent gelangt der Hauptanteil des Ammoniums über die Niederschläge als nasse Deposition auf die Böden und in die Ökosysteme. Der verbleibende Anteil von 14 Prozent wird trocken deponiert. Die Einträge des Ammoniums verteilen sich im Gegensatz zum Ammoniak räumlich homogener [18].

Ammoniak in der Atmosphäre

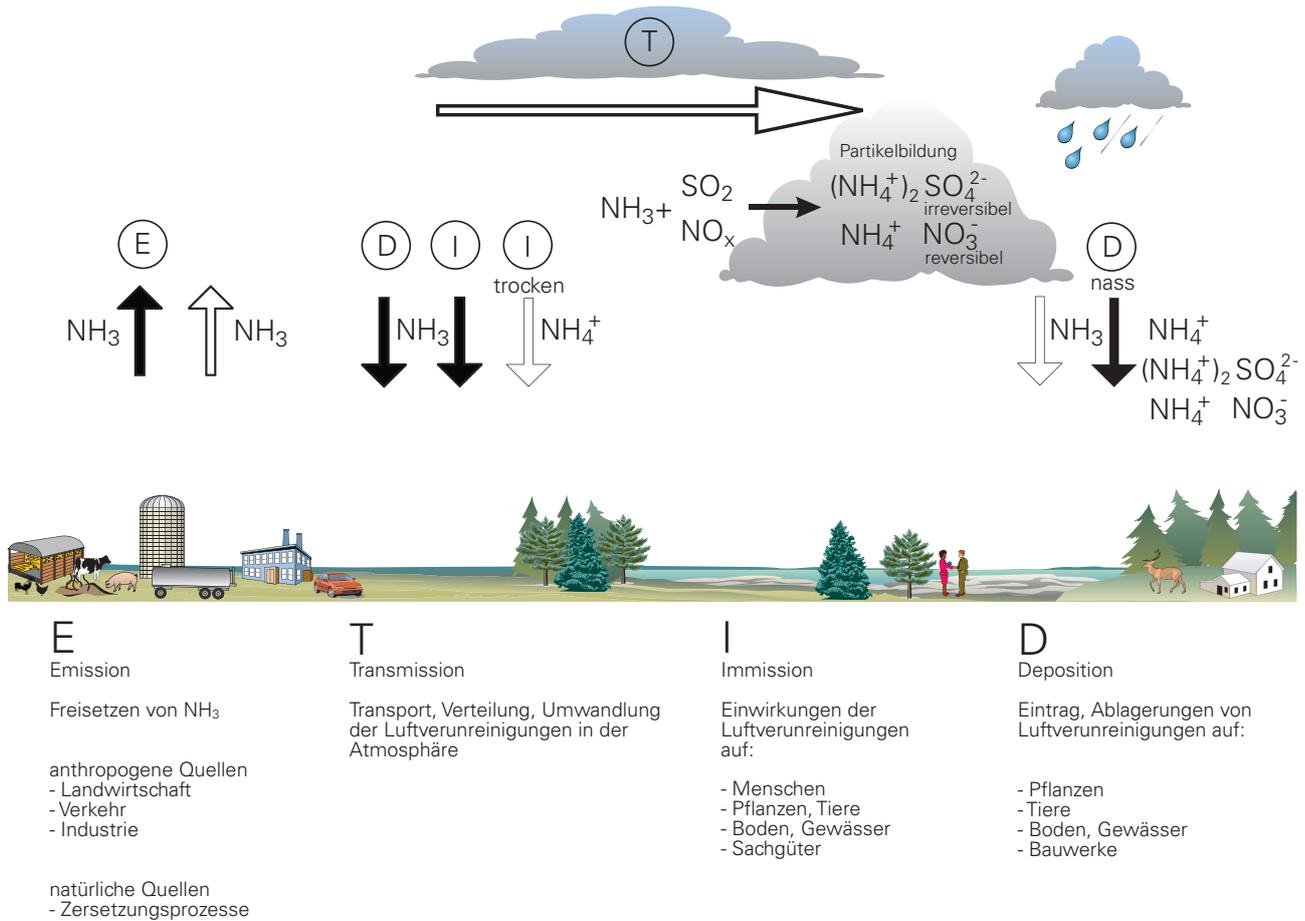


Abb. 2-8: Ausbreitung und chemische Reaktionen von Ammoniak in der Atmosphäre. Quelle: LUBW 2006

Die Depositionsgeschwindigkeit (v_d) von Ammoniak wird in der TA Luft [1] pauschal mit 1 cm pro Sekunde angegeben. Eine detailliertere Betrachtung vollzieht die VDI-Richtlinie 3782 [37], die Literaturergebnisse differenziert nach unterschiedlichen Parametern tabellarisch zusammenstellt. Relevante Parameter sind dabei die Oberflächenstrukturen wie Bewuchs oder Bebauung, aber auch physikalische und chemische Eigenschaften des eingetragenen Stoffes. Für Ammoniak ergibt sich bei der Depositionsgeschwindigkeit eine Bandbreite von 1 cm pro Sekunde bis 2,9 cm pro Sekunde über Graskulturen im Frühjahr und Sommer. Bei der Unterscheidung von Laub- und Nadelbäumen ergeben sich im Jahresmittel Werte von 0,8 cm pro Sekunde bis 2,2 cm pro Sekunde. Daraus ist deutlich erkennbar, dass die Depositionsgeschwindigkeit bei Ammoniak von der Oberflächenstruktur und der Pflanzenart, aber auch von der Jahreszeit abhängt.

3 Ammoniak und seine Wirkung auf die Umwelt

Stickstoffverbindungen üben unterschiedliche Wirkungen auf die Umwelt aus. Wie Abb. 2-1 veranschaulicht, ist vor allem durch Ammoniak und Ammonium ein erheblicher Einfluss auf einzelne Umweltbereiche festzustellen.

3.1 Technosphäre

Ammoniak kann direkt oder indirekt die Schädigung von Gebäuden bewirken. Das sich bildende Ammonium reagiert mit Kalkstein oder den basischen Gesteinsbindemitteln. Es entstehen gut wasserlösliche Salze wie Ammoniumcarbonate, die leicht ausgewaschen werden. Ein weiterer Aspekt ist die Bildung von gut wasserlöslichen Calciumnitraten über nitrifizierende Bakterien [18].

3.2 Atmosphäre

Als einzige Base in der Atmosphäre spielt Ammoniak eine wichtige Rolle bei der Neutralisierung von Säuren. Bei dieser Reaktion bilden sich Ammoniumsalze, (Ammoniumnitrat, Ammoniumsulfat) die zu sekundären Aerosolen führen. Diese wiederum können über weite Strecken in der Atmosphäre verfrachtet und in entfernten Regionen abgelagert werden. Ammoniak hat somit einen wichtigen Anteil an der Feinstaubhintergrundbelastung und der großräumigen Deposition von Stickstoffverbindungen. Bei ungünstigen meteorologischen Bedingungen können episodentartig hohe Belastungen auftreten, die sich durch lokale Maßnahmen nicht beeinflussen lassen. Aus Untersuchungen in Baden-Württemberg im Jahre 2006 hat sich gezeigt, dass die Ammoniumverbindungen mit bis zu 40 Prozent einen wesentlichen Anteil bei der Zusammensetzung von Feinstäuben haben [38].

2.3 Biosphäre, Pedosphäre, Hydrosphäre

Für die belebte Umwelt haben Ammoniak und sein Reaktionsprodukt Ammonium sowohl eine versauernde als auch eine eutrophierende (Nährstoff anreichernde) Wirkung. Diese Effekte beeinträchtigen empfindliche Ökosysteme und führen zu Veränderungen der biologischen Artenvielfalt (Biodiversität).

Wie in Experimenten nachgewiesen wurde, führen bei empfindlichen Pflanzen, z. B. Moose schon Ammoniakkonzentrationen von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei einer Begasungsdauer von 23 Tagen zu direkten Schädigungen an den Blättern (Blattchlorosen) [18]. Die Aufnahmekapazität der Pflanzen wird dabei überschritten, das heißt sie sind nicht mehr in der Lage, das Ammoniak abzubauen. Dagegen wirkt sich der indirekte wachstumsfördernde Einfluss von Ammoniak negativ auf solche natürlichen Ökosysteme aus, die an nährstoffarme Bedingungen angepasst sind [18].

Zum Schutz von Rezeptoren wie einzelnen Pflanzen, Pflanzengemeinschaften, Ökosystemen oder auch Bauwerken vor direkten Schäden wurden bei vier UN/ECE Workshops in den Jahren 1988 bis 1996 spezifische Belastungsgrenzen sowohl für gasförmige Schadstoffe als auch für eingetragene Substanzen vorgeschlagen. Die danach festgelegten Schwellenwerte wie der CLE (Critical Level) und CLO (Critical Load) sind für die jeweiligen Rezeptoren spezifisch [39].

2.3.1 Eutrophierung

Bei der Eutrophierung wirken sowohl Ammoniak als auch Ammonium sowie die übrigen oxidierten Stickstoffverbindungen als Dünger. Besonders auf nährstoffarmen Standorten bewirkt dieser zusätzliche Stickstoffeintrag negative Effekte auf die Pflanzengesellschaften. Düngeversuche im Jura-Hochmoor wiesen nach, dass die ursprüngliche Vegetation der Hochmoore – das sind Torfmoose – nach erhöhten Stickstoffeinträgen von Laubmoosen verdrängt wurden [40].

In Waldökosystemen auf nährstoffarmen Böden wird die standorttypische Vegetation durch Stickstoff liebende Pflanzen wie Brombeere oder Brennnessel verdrängt. Nicht nur, dass Arten verdrängt werden, sondern auch die ursprüngliche Biodiversität (u. a. Artenvielfalt) geht verloren. Mit den erhöhten Stickstoffeinträgen verändert sich auch das Spross-/Wurzelverhältnis der Pflanzen. Dadurch werden sie anfälliger gegenüber Krankheitserregern, Stürmen und Trockenperioden. Außerdem werden durch die Freisetzung und Auswaschung überschüssiger Stickstoffverbindungen

wie z.B. Nitrat zusätzlich die Ökosysteme in Flüssen und Seen sowie in Grundwässern beeinträchtigt.

3.3.2 Versauerung

Die versauernde Wirkung von Ammonium beruht darauf, dass es in Böden durch Mikroorganismen zu Nitrat (NO_3^-) oxidiert wird (Nitrifikation, Abb. 2-2). Dabei werden Protonen freigesetzt. Auch bei der Aufnahme von Ammonium über die Wurzeln werden zum Ladungsausgleich von der Pflanze Protonen abgegeben.

Zur Versauerung tragen neben Ammonium auch die Ionen Sulfat und Nitrat bei. Besonders auf pufferungsarmen Böden über Buntsandstein im Schwarzwald kann dieser Säureeintrag den natürlichen Prozess der Versauerung beschleunigen, so dass die Lebensbedingungen für Pflanzen und Tiere sich sichtlich verschlechtern. Die Nährstoffe wie Calcium, Magnesium oder Kalium, die als basische Kationen zusammengefasst werden, sind für die Basensättigung verantwortlich. Mit zunehmender Versauerung reduzieren sich diese basischen Kationen. Sie werden verdrängt und ausgewaschen und stehen als Nährstoffe nicht mehr zur Verfügung. Durch diesen Prozess werden Schadstoffe wie Aluminium oder auch Schwermetalle freigesetzt, die zu Schädigungen der Wurzeln führen können und auch angrenzende Ökosysteme in Flüssen, Seen und Grundwässern mit gefährden.

3.3.3 Belastungsgrenze für die Depositionsmengen

Zum Schutz sensibler Vegetationen und Ökosysteme wurden kritische Belastungsgrenzen, so genannte „critical loads“ (CLO) für deponierte Stoffe definiert. Der Critical Load wird Ökosystem spezifisch bestimmt und besagt, dass bei Unterschreiten einer bestimmten Depositionsmenge nach bisherigem Wissensstand keine signifikanten Veränderungen für dieses Ökosystem zu erwarten sind. Zum Schutz vor einer Eutrophierung (Überdüngung) der empfindlichen Ökosysteme wurden spezifische CLO-Werte für die Stickstoffeinträge definiert. Dabei sind für die Summenberechnung die reduzierten und oxidierten Stickstoffverbindungen (Ammonium, Ammoniak, Nitrat und Stickstoffoxide) als auch die organisch gebundenen Stickstoffe relevant. Bei der Beurteilung für das Maß der Versauerung werden die Säureäquivalente der Komponenten Ammonium, Nitrat und Sulfat aufsummiert und mit dem CLO verglichen.

Für die nährstoffarmen Hochmoore des Schwarzwalds, die überwiegend auf pufferungsarmen Buntsandsteinen wachsen, wurde die Belastungsschwelle für den jährlichen Stickstoffeintrag auf 3 kg je Hektar bis 15 kg je Hektar festgelegt. Eine Überschreitung bewirkt eine Verdrängung der standortsspezifischen Vegetation durch schnell wachsende Pflanzen wie z. B. Brennnessel oder Brombeere. Für die Magerrasen der Schwäbischen Alb liegen die kritischen Stickstoffeinträge bei 10 kg pro Hektar und Jahr bis 25 kg pro Hektar und Jahr. Grund dafür sind die höheren Pufferkapazitäten des Kalks.

Die bundesweite Situation für die kritischen Stickstoffeinträge hat das Umweltbundesamt 2007 anschaulich in einer Karte zusammengestellt. Online können beim Umweltbundesamt die Stickstoffeinträge für jeden Punkt in Deutschland berechnet werden [28, 41].

3.3.4 Belastungsgrenze für die Luftschadstoffkonzentrationen

Der Critical Level (CLE) beschreibt die Belastungsgrenze für empfindliche Pflanzen und Ökosysteme bezüglich der Konzentrationen von Luftschadstoffen. Eine direkte Schädigung dieses Schutzgutes ist bei Unterschreitung des CLE-Werts nach bisherigem Wissensstand nicht zu erwarten.

Zum Schutz der gesamten Vegetationen, auch der empfindlichen, vor direkten Schäden hat die UN/ECE 1992 folgende CLE-Werte für Ammoniak vorgeschlagen: 270 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bei einer kurzzeitigen Einwirkdauer von einem Tag und 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bei einer Einwirkdauer von einem Jahr. Für landwirtschaftliche Nutzpflanzen, deren Anbau mit dem Ziel einer Ertragsmaximierung erfolgt, liegen die Werte deutlich höher, nämlich bei 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für den Tagesmittelwert und 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für den Jahresmittelwert [39].

4 Gesetzliche Regelungen

Die nationalen und internationalen gesetzlichen Vorgaben und Regelwerke legen u.a. auch für Ammoniak Emissionshöchstgrenzen fest. Diese Ziele können für das Jahr 2010 voraussichtlich nicht erreicht werden. Daher sind für Ammoniak weitere Maßnahmen zur Minderung der Emissionen, vor allem in der Landwirtschaft, notwendig.

4.1 NEC-Richtlinie

Mit der Richtlinie 2001/81/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001 (NEC-Richtlinie [4]) wurden nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe festgelegt. Diese so genannten „national emission ceilings“ (NECs) gelten für die Luftschadstoffe Schwefeldioxid (SO_2), Stickstoffoxide (NO_x), Ammoniak (NH_3) sowie flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC). Sie sollen bis zum Jahre 2010 erreicht sein. Mit der 33. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (33. BImSchV) wurde diese europäische Richtlinie in nationales Recht umgesetzt.

4.2 33. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz

Für Ammoniak legt die 33. BImSchV [2] nationale Höchstmengen fest. Danach sind die Emissionen dieses Stoffes spätestens bis zum 31. Dezember 2010 auf höchstens 550 Kilotonnen pro Kalenderjahr zu begrenzen. Die Ermittlung der Emissionen beruht hauptsächlich auf Berechnungen, gestützt auf einzelnen Messungen. Da die Emissionsfaktoren in allen Emittentenbereichen mit einer erheblichen Unsicherheit (z. B. bezüglich Tierbestand, Haltungsform, Fahrzeugtyp, Verkehrsfluss) behaftet sind, wird eine genaue Trendüberwachung der Emission auch zukünftig kaum möglich sein.

Deutschland wird die oben genannte Emissionshöchstmenge für Ammoniak voraussichtlich nicht einhalten können. Im Rahmen eines Forschungsauftrags des Umweltbundesamtes aus dem Jahre 2002 [42] wurden Effektivität, Kosten und Kostenwirksamkeit von Minderungsmaß-

nahmen anhand dreier Szenarien für die Rinder- und Schweinehaltung berechnet. Die Beschreibung reicht von einer realistischen Minimalminderung mit begrenzten technologischen Umstellungen bis hin zu einer relativ unrealistischen Maximalminderung, erzielbar durch obligatorische Auflagen gekoppelt mit einer verbesserten Fütterung. Das erreichbare Minderungspotential für die Ammoniakemissionen beläuft sich dabei auf 7 Prozent bis 15 Prozent.

4.3 Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln

Mit der Düngemittelverordnung vom 27.02.2007 [43] werden u. a. für die Ausbringung von Wirtschaftsdünger Mengen, Methoden und Zeitpunkte beschrieben. Zum Beispiel ist auf Grünland vom 15. November bis 31. Januar keine Gülle auszubringen. Ziel dabei ist, die Emissionen von Ammoniak und anderen Stickstoffverbindungen über die Anwendung einer guten fachlichen Praxis zu reduzieren.

4.4 Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft

In der TA Luft 2002 [1] werden erstmalig die von Tierhaltungen verursachten Ammoniakimmissionen über Abstandsvorgaben zu empfindlichen Pflanzen und Ökosystemen geregelt. Im Anhang 1 der TA Luft ist der Zusammenhang von Ammoniakkonzentration und Mindestabstand als Abstandskurve mit der zugehörigen Berechnungsgrundlage (Gleichung 6) aufgeführt. Der Mindestabstand (X_{\min}) hängt dabei von der jährlichen Emissionsrate (Q) und dem Ausbreitungsfaktor (F) ab.

Gleichung 6:

$$X_{\min} = \sqrt{F \cdot Q}$$

Der Ausbreitungsfaktor (F) wurde in der TA Luft so festgelegt, dass er für das ganze Bundesgebiet den Schutzgütern Sicherheit vor Ammoniakwirkungen gewährleistet. Zur Berechnung der Quellstärke (Q) stehen die Emissionsfaktoren der TA Luft, Anhang 1 Tab. 11 bzw. der Erlass des

Umweltministeriums Baden-Württemberg sowie Angaben aus den KTBL-Veröffentlichungen [13, 33] zur Verfügung. Weiterhin erläutert die TA Luft, dass für empfindliche Pflanzen und Ökosysteme keine erheblichen Nachteile gegeben sind, wenn die Gesamtbelastung von Ammoniak an keinem Beurteilungspunkt $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschreitet. Die Gesamtbelastung berechnet sich aus der Summe von Hintergrundbelastung und Zusatzbelastung. Als Hintergrundbelastung geht die TA Luft pauschal von $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Ammoniak aus. Dieser Wert beruhte auf Messungen aus den europäischen Nachbarländern (Niederlanden, Dänemark, Großbritannien). Da Ammoniak sich aufgrund seiner Eigenschaften – wie in Kapitel 1.8 beschrieben – eher inhomogen in der Fläche verteilt, ist es von grundsätzlicher Bedeutung, die regional unterschiedlichen Hintergrundkonzentrationen in landwirtschaftlich oder eher städtisch geprägten Gebieten Baden-Württembergs zu ermitteln. Mit Hilfe der 2007 gestarteten Ammoniak-Messungen wird es möglich, die Hintergrundbelastung der Ammoniak-Immissionen in den Regionen von Baden-Württemberg zu konkretisieren.

4.5 Umsetzung der gesetzlichen Vorgaben in die Praxis

Für die Genehmigung von Bauvorhaben in der Landwirtschaft gilt nach Anhang 1 der TA Luft die Abstandsregelung zum Schutz der empfindlichen Pflanzen und Ökosystemen vor schädlichen Einwirkungen durch Ammoniak. Weiterhin ist zu prüfen, in wieweit eine Anlage maßgeblich zur Stickstoffdeposition beiträgt (TA Luft 4.8). Damit diese Vorgaben auch in der Praxis umgesetzt werden können, müssen die Genehmigungsbehörden durch zusätzliche Handlungsanweisungen bzw. Hilfsmittel entsprechend unterstützt werden.

4.5.1 Bundesweiter Handlungsfaden „Ermittlung und Bewertung der Stickstoffdeposition“

Im Jahr 2006 entwickelten Fachleute aus Landwirtschaft, Immissionsschutz und Naturschutz ein Handlungskonzept für die Genehmigungsbehörden zur Umsetzung der TA Luft. Der zusammengestellte Handlungsfaden enthält ein Fließdiagramm der relevanten Einflussfaktoren, das bei genehmigungsbedürftigen Anlagen eine Entscheidungshilfe darstellen soll. Zusätzlich enthält er für einige Bundesländer eine Liste der empfindlichen Ökosysteme. Dieser

Handlungsfaden wird in einzelnen Bundesländern für einen Zeitraum von drei Jahren testweise eingeführt. Erste Ergebnisse bzw. Rückmeldungen aus den Genehmigungsbehörden zur Handhabbarkeit in der Praxis werden voraussichtlich 2009 vorliegen [44].

4.5.2 Optimierung der Abstandskurve in Baden-Württemberg

Die stark unterschiedlichen orographischen und meteorologischen Bedingungen sowie die historisch bedingte landwirtschaftliche Siedlungsstruktur erfordern eine Optimierung der vorgegebenen Abstandskurve für Ammoniak nach Anhang 1 der TA Luft an die landesspezifischen Bedingungen in Baden-Württemberg.

Im Rahmen einer vom Umweltministerium beauftragten Studie sollte geprüft werden, inwieweit regionalisierte Abstandskurven ermittelt werden können. Dieses Ziel ließ sich jedoch, wie die ersten Berechnungen verdeutlichten, nicht realisieren. Statt dessen soll eine repräsentative Abstandskurve analog zur TA Luft die typischen Ausbreitungsverhältnisse in Baden-Württemberg widerspiegeln. Für die Berechnung des Mindestabstands hat sich gezeigt, dass die lokale Rauigkeit sowie der Ausbreitungsfaktor F und die Quellstärke ausreichen. An Hand einer Tabelle wird der entsprechende F -Wert abgelesen und gemeinsam mit der Quellstärke, gemäß der Gleichung 6 (TA Luft, Anhang 1), der Mindestabstand berechnet. Dieses Konzept befindet sich derzeit in der Erprobungsphase [45].

Ein weiteres Hilfsmittel sind die synthetischen Windstatistiken, die für ganz Baden-Württemberg im $500 \text{ m} \times 500 \text{ m}$ Raster im Internet verfügbar sind [46]. Für Ausbreitungsrechnungen mit AUSTAL2000 stehen zusätzlich die Ausbreitungsklassenstatistiken (AKS) bereit, um gegebenenfalls detaillierte standortspezifische Berechnungen der Ammoniakkonzentrationen und Depositionen vorzunehmen.

5 Ammoniak-Immissionen in Baden-Württemberg

Ziel der bis 2006 in Baden-Württemberg durchgeführten Untersuchungen war es, einen Überblick zur Immissionssituation bei verschiedenen landwirtschaftlichen Quellstärken zu erhalten sowie weitere potenzielle Quellarten zu erfassen. Aus diesen Erkenntnissen resultierte die Konzeption für ein dauerhaftes landesweites Ammoniakmessnetz. Mit den Messungen sollen neben der Hintergrundbelastung auch die verkehrsbedingten Ammoniak-Immissionen in Baden-Württemberg erfasst werden.

Für Genehmigungsverfahren zu landwirtschaftlichen Anlagen werden in der TA Luft pauschal $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Hintergrundbelastung angegeben (s. Kap. 4.4). In den verschiedenen Regionen des Landes sind aber konkrete Aussagen zur Hintergrundbelastung notwendig. Auch im Hinblick auf effektive Minderungsmaßnahmen zur Einhaltung der bundesweiten Emissionshöchstmengen laut NEC-Richtlinie stellt sich diese Aufgabe [4].

5.1 Messmethoden und Analytik

5.1.1 Radiello Passivsammler

Für die Erhebungen waren die radialsymmetrischen Passivsammler vom Typ Radiello (Fa. Fondazione Salvatore Maureri, Italien) im Einsatz, siehe Abb. 5-1. Bei diesem Verfahren wird gasförmiges Ammoniak über die Phosphorsäure zu Ammoniumsalz umgewandelt. Dieser Vorgang ist für Ammoniak selektiv, da das Ammoniumsalz den Diffusionskörper nicht mehr passieren kann. Die Phosphorsäure überzieht die Adsorptionsfläche einer mikroporösen Polyethylenkartusche. Diese befindet sich in einem luftdurchlässigen Diffusionskörper, der als Turbulenzbarriere wirkt. Die Kartusche wird mit einer Polycarbonatkappe, die als Befestigung dient, verschlossen. Bis zur Probenahme wird der Radiello in einem gasdichten Gefäß aufbewahrt. Vor Ort ist der Sammler in einem Wetter- und Sonnenschutz eingehängt [47].

5.1.2 Passivsammler nach Ferm

In Abb. 5-2 ist ein Passivsammler nach Ferm dargestellt, dessen Sammelwirkung ausschließlich auf Diffusion beruht



Abb. 5-1: Radiello Passivsammler im Einsatz. Bild: LUBW 2006

und aus einem Polypropylentubus mit einer Länge von 10 mm besteht. Die gestanzte Sammelöffnung hat einen Durchmesser von 20 mm. Der obere Deckel enthält einen Glasfaserfilter, der mit einer fünfprozentigen Zitronensäure beträufelt ist. Der obere Tubus ist mit einem Schnappdeckel aus Polyethylen, die untere Öffnung von einem Membranfilter als Turbulenzbarriere verschlossen. Dieser wird mit zwei Edelstahlnetzen (LUBW-Ausführung) stabilisiert. Das Ganze wird mit Hilfe eines zweiten Schnappdeckels auf den Tubus gedrückt. Der fertige Passivsammler wird bis zur Probenahme in einem gasdichten Gefäß aufbewahrt. Während der Probenahme ist der Passivsammler in einen Wetter- und Sonnenschutz eingehängt.

Nach vergleichenden Untersuchungen werden für die dauerhaften Ammoniak-Immissionsmessungen in Baden-Württemberg die Fernsammler eingesetzt. Diese Variante ist für einen landesweiten Betrieb kostengünstiger. Bei Validierungsversuchen [47] hat sich gezeigt, dass beide



Abb. 5-2: Elemente des Fernsammlers, Fernsammler in der Halterung, 1€-Münze als Größenvergleich. Bild LUBW 2008

Passivsammler im Vergleich zum Denuder als Referenzgerät bei Konzentrationen über $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eine Abweichung von weniger als 10 Prozent aufweisen. Bei Ammoniakkonzentrationen unter $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ergaben sich aus den bisherigen Versuchsreihen Abweichungen von 25 Prozent. Aus diesem Grund wird an Standorten, die geringe Ammoniakkonzentrationen vermuten lassen, die Expositionsdauer der Fernsammler von 14 auf 28 Tage erhöht.

Die Analytik des Ammoniums erfolgt in beiden Fällen über die Ionenchromatographie (IC). Bei den 14-tägigen Proben des Jahres 2007 wurde bei der Analytik aufgrund der höheren Abweichung eine Nachweisgrenze von $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ festgelegt; für 28-tägige Proben beträgt die Nachweisgrenze $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.2 Ammoniak-Messprogramme in den Jahren 2003 bis 2006

5.2.1 Untersuchungsgebiete

Wie die nachfolgende Tabelle 5-1 veranschaulicht, wurden die Untersuchungsgebiete zur Bestimmung der Ammoniak-Immissionen nach Kriterien wie Quellart, Quellstärke oder Bebauungsstruktur ausgewählt.

Im Rahmen des Verbundprojekts [48], an dem die Universität Hohenheim maßgeblich mitwirkte, konnten von Oktober 2003 bis November 2004 parallel die Ammoniak-Immissionen an zwei Standorten – Enzkreis (Niefern) und Hohenlohe (Atzenrod) – mit untersucht werden.

Über 15 Monate wurden die Ammoniakkonzentrationen

im 14-tägigen Wechsel mittels Radiello Passivsammlern erfasst. An den beiden Standorten überwogen die Schweinehaltungsbetriebe, vereinzelt gab es auch Rinderhaltung bzw. eine Putenmast. Die zwei Standorte unterschieden sich in ihrem Umfeld, wobei der Standort Enzkreis eher stadtnah und Hohenlohe mehr intensiv landwirtschaftlich geprägt war (Abb. 5-3 bis Abb. 5-6). Neben den Immissionsdaten standen hier auch Angaben zu den potenziellen Emissionswerten sowie die meteorologischen Daten für die Erstellung von Ausbreitungsrechnungen zur Verfügung. Die genauen Standortbeschreibungen sind im Bericht [49, Kapitel 7.2] aufgeführt.

Tab. 5-1: Untersuchungsprogramme

Untersuchungsgebiet	Untersuchungsjahr	Quellkategorien	Anzahl der Messstandorte
Enzkreis	2003 - 2004	Landwirtschaft	15
Hohenlohe	2003 - 2004	Landwirtschaft	15
Ortenaukreis	2005 - 2006	Landwirtschaft / Verkehr / Siedlung	10 / 4 / 2
Offenburg	2005 - 2006	Siedlung / Stadt	3
Kehl	2005 - 2006	Industrie	1

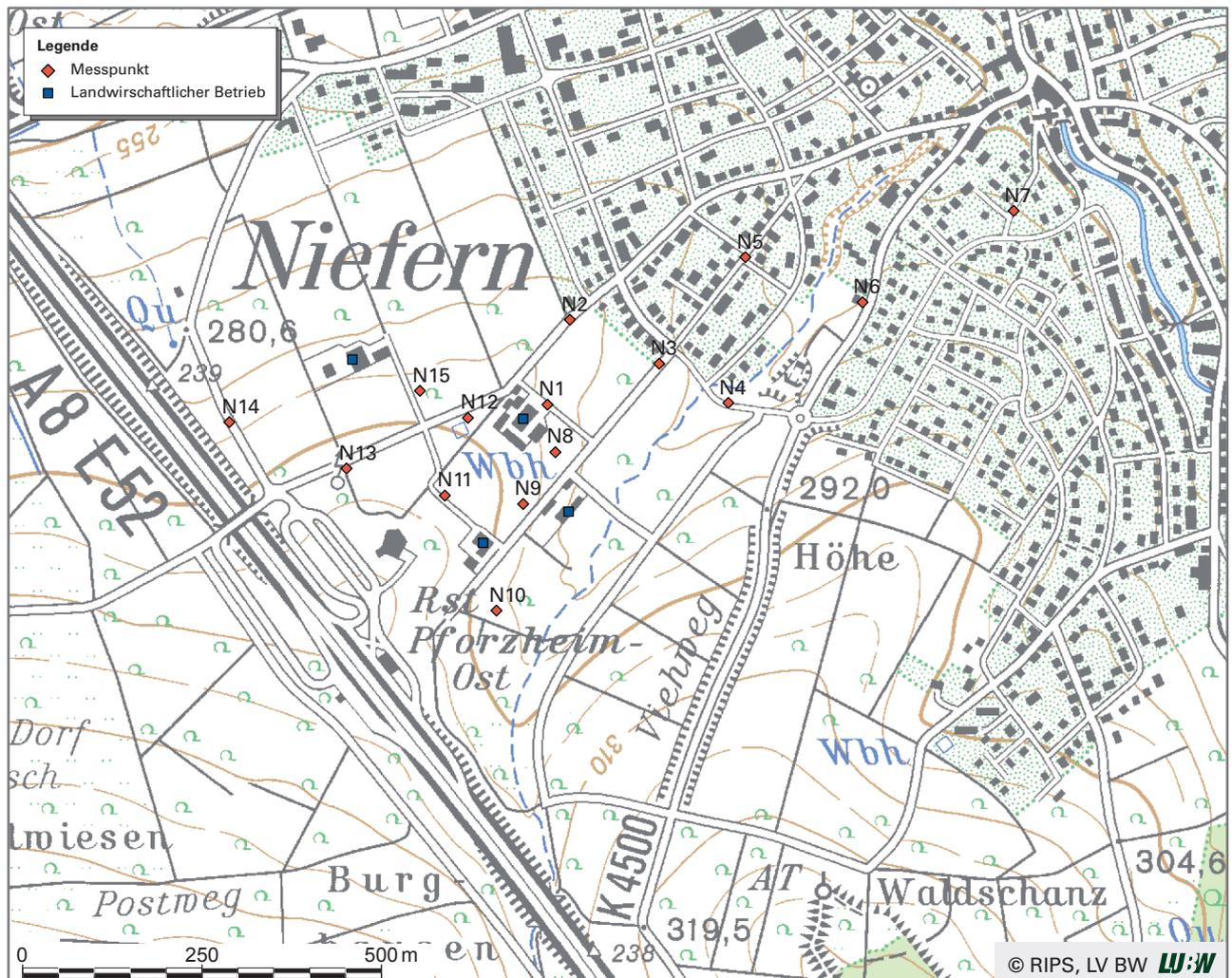


Abb. 5-3: Messstandorte im Untersuchungsgebiet Enzkreis von 2003 - 2004. Quelle: LUBW



Abb. 5-4: Bilder zum Untersuchungsgebiet Enzkreis von 2003 - 2004. Bilder: LUBW

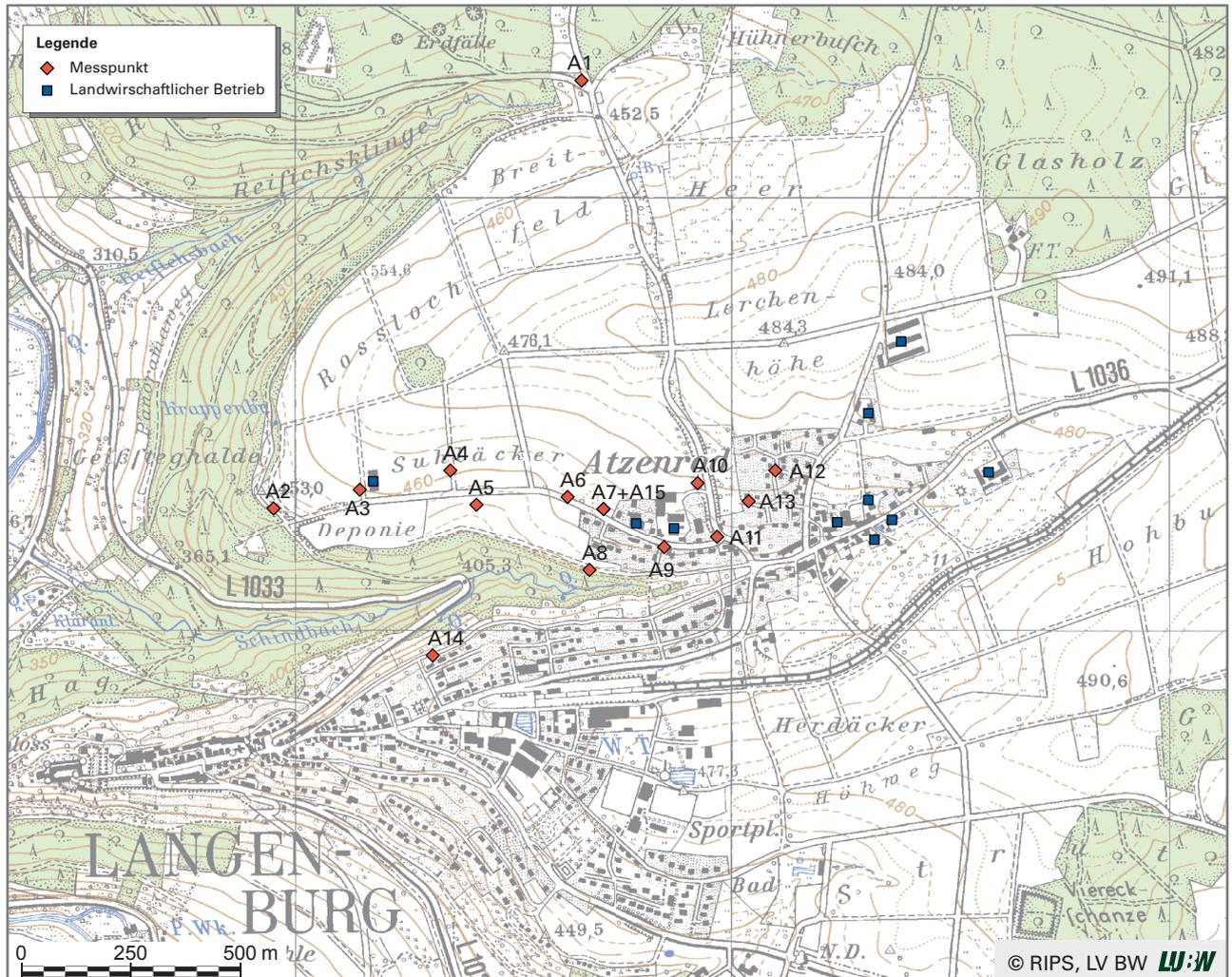


Abb. 5-5: Messstandorte im Untersuchungsgebiet Hohenlohe von 2003 – 2004. Quelle: LUBW



Abb. 5-6: Bilder zum Untersuchungsgebiet Hohenlohe von 2003 – 2004. Bilder: LUBW

Nicht nur der Nahbereich von Tierhaltungsanlagen, sondern auch der landwirtschaftliche Hintergrund mit seinen unterschiedlichen Nutzungen sowie weitere Quellen aus der Industrie, dem Verkehr und dem Siedlungsbereich wurden von März 2005 bis März 2006 beprobt [50]. Ausgewählt wurde als Untersuchungsgebiet der Ortenaukreis, Offenburg und Kehl (Abb. 5-7 und Abb. 5-8). Auch hier kamen die Radiello Passivsammler zum Einsatz.

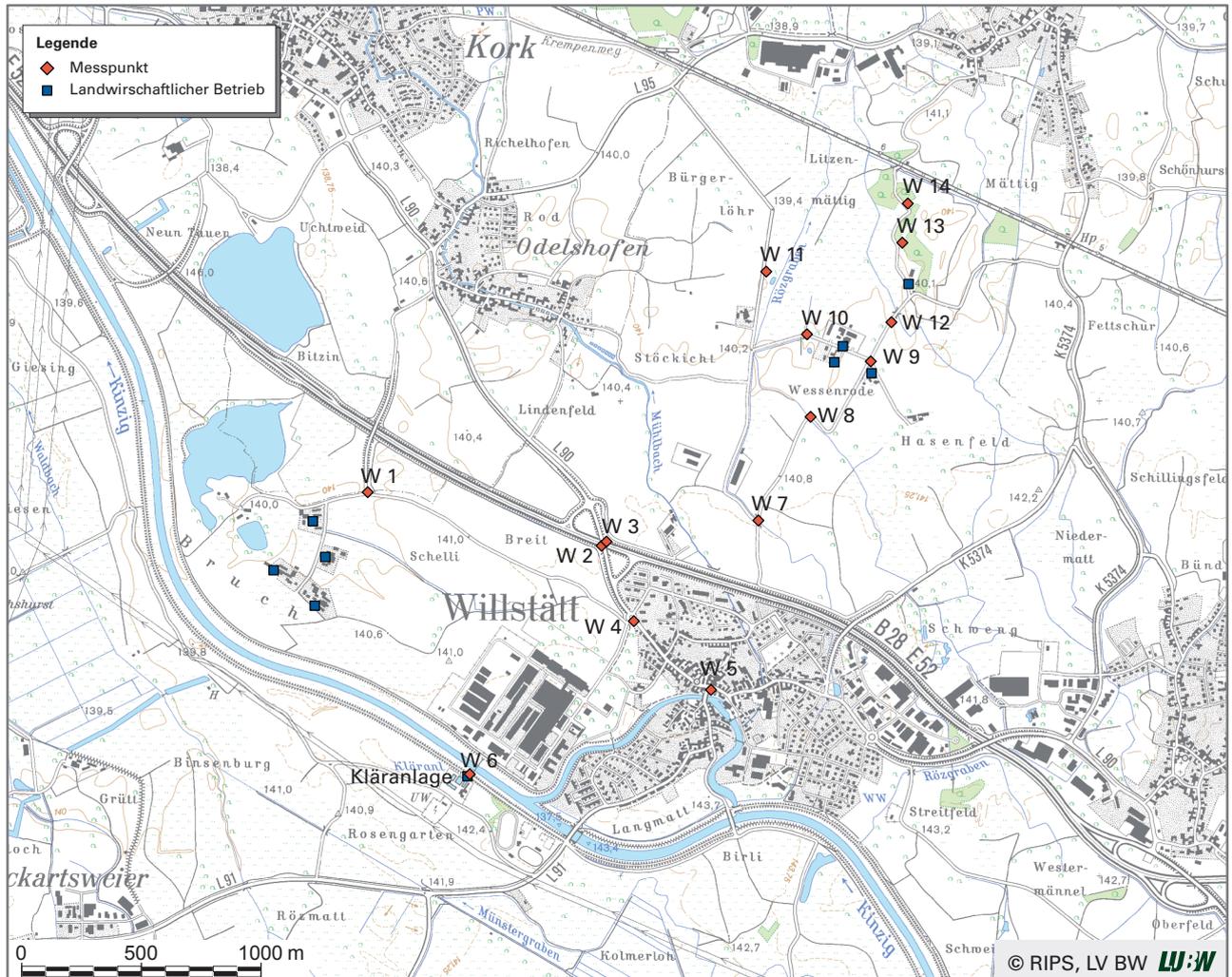


Abb. 5-7: Messstandorte im Untersuchungsgebiet Ortenaukreis von 2005 – 2006. Quelle: LUBW



Abb. 5-8: Bilder zum Untersuchungsgebiet Ortenaukreis von 2005 – 2006. Bilder: LUBW

5.2.2 Ergebnisse aus dem landwirtschaftlichen Umfeld

Die Ausbreitung von Ammoniak im Umfeld von Tierhaltungsanlagen sowie die dafür relevanten Parameter veranschaulichen die nachfolgenden Grafiken. Für Abb. 5-9 wurden die Messergebnisse aus den drei Untersuchungsgebieten mit Schweinehaltung zusammengefasst. Klar erkennbar ist die abnehmende Ammoniakkonzentration mit zunehmender Entfernung von den Quellen. Ab einer Entfernung von mehr als 500 m können im Jahresmittel nur noch 3-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Ammoniak nachgewiesen werden.

Neben der Entfernung zur Quelle spielen gerade in der Landwirtschaft noch weitere Parameter eine Rolle, z. B. dass bei Vorgängen wie Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdünger die Emissionen diffus auftreten oder auch saisonale Bedingungen. Die jahreszeitlichen Einflüsse wurden für ein Untersuchungsgebiet zusammengestellt. Die drei Kurven in Abb. 5-10 zeigen, dass in der Wintersaison die geringsten Ammoniakkonzentrationen nachweisbar waren. Dies beruht auf der Vegetations- und Düngepause, d. h. Wirtschaftsdünger wird in den Wintermonaten (November – Januar) gemäß der Düngemittelverordnung

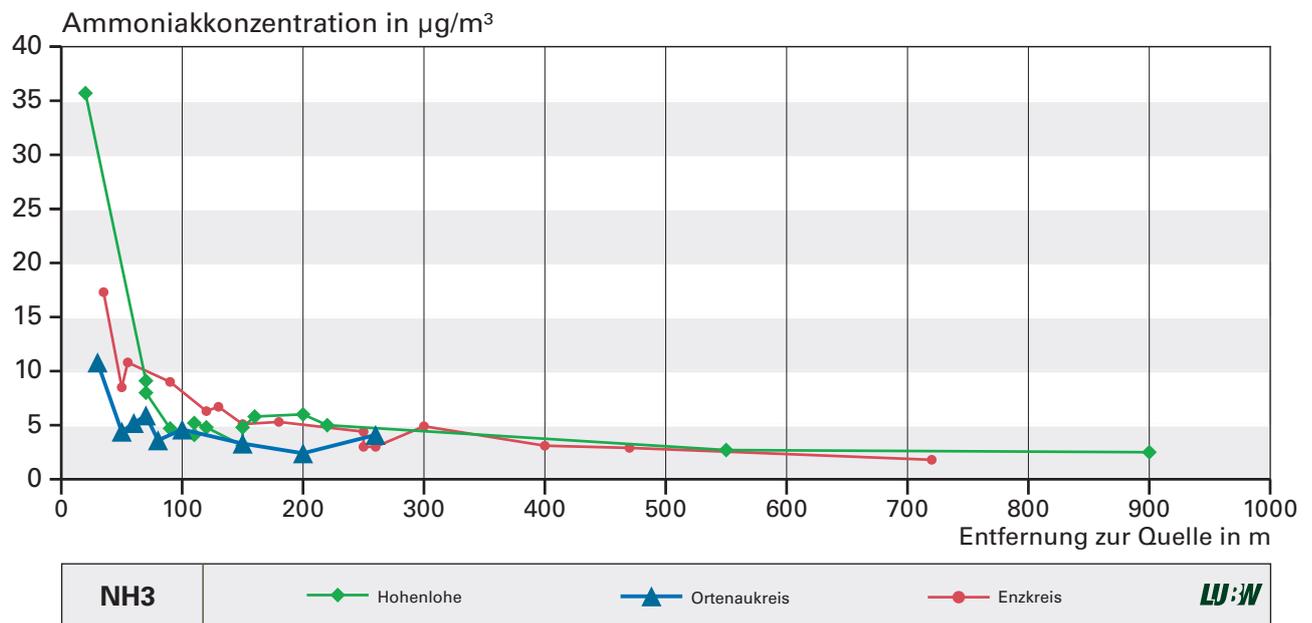


Abb. 5-9: Ammoniakkonzentration in Bezug zur Quellentfernung zusammengefasst aus drei Untersuchungsgebieten. Quelle: LUBW

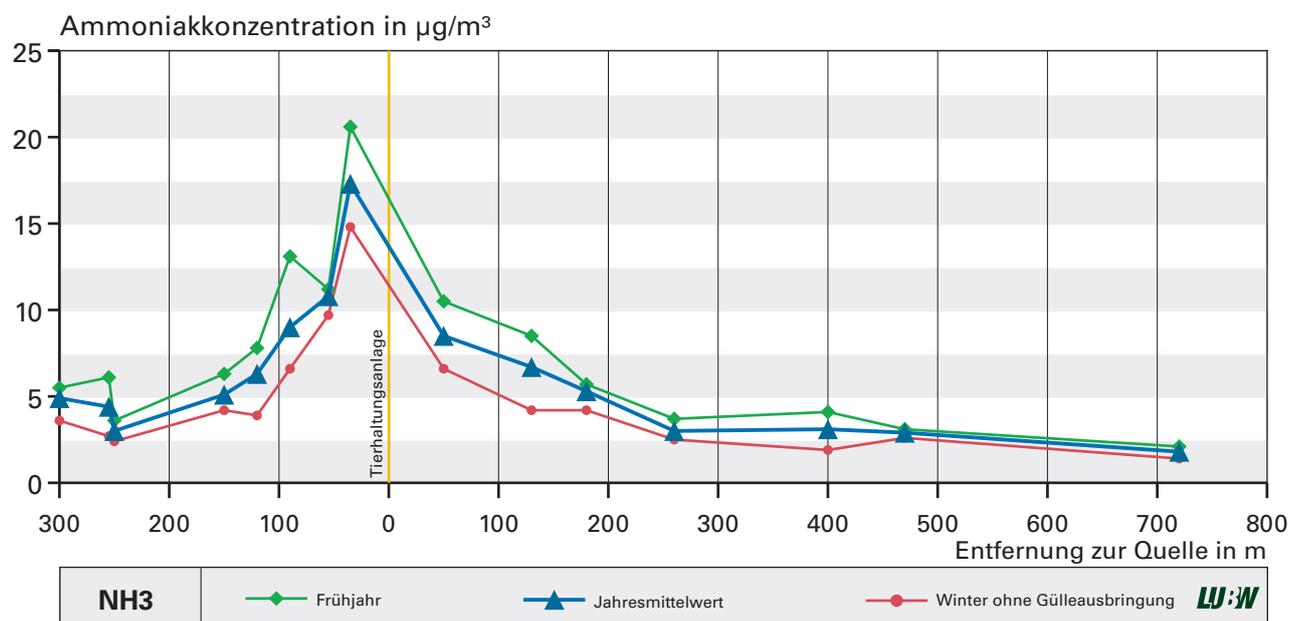


Abb. 5-10: Ammoniakkonzentration eines Standorts mit Tierhaltungsanlage in Bezug zur Entfernung und Jahreszeit. Quelle: LUBW

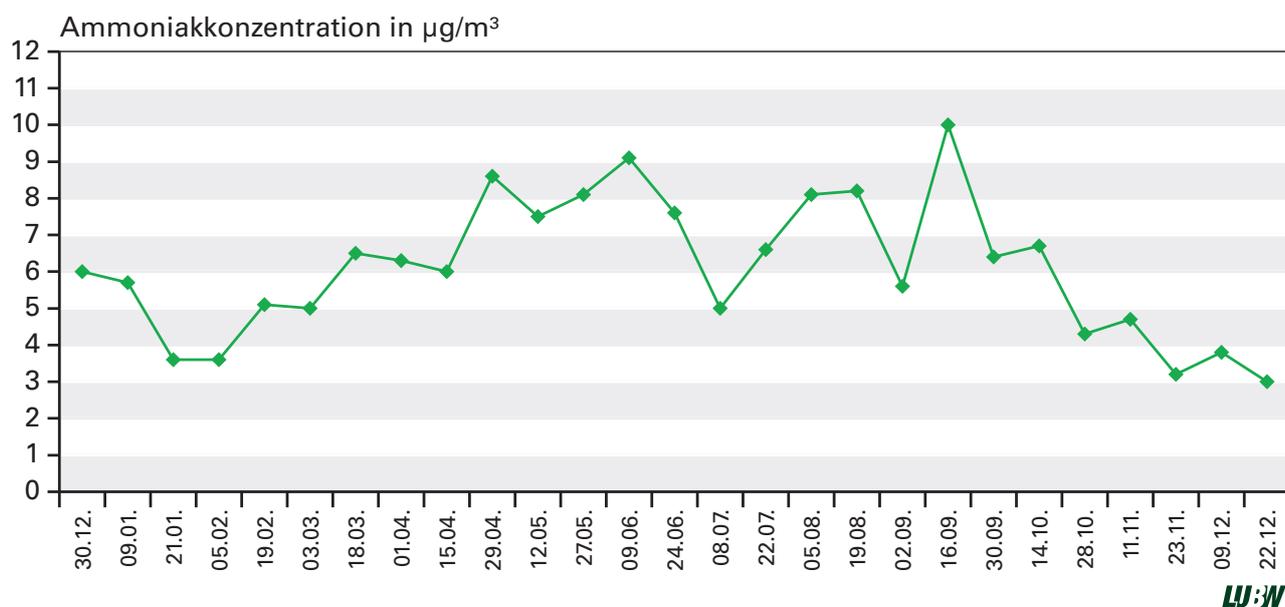


Abb. 5-11: Ammoniak-Immissionen im Jahresverlauf in Nähe einer Tierhaltungsanlage. Quelle: LUBW

nicht ausgebracht [43]. Während der Wachstumsperiode im Frühjahr steigen die Ammoniak-Immissionen an.

Wie sich die Ammoniakkonzentration je nach Vegetationsperiode und Düngemanagement über das Jahr verteilen, verdeutlicht Abb. 5-11. Für diesen saisonalen Verlauf wurden Mittelwerte über alle Messstandorte innerhalb eines Messzyklus gebildet. Die Kurve verdeutlicht die Abnahme der Ammoniakkonzentration in den Wintermonaten sowie einen Anstieg sowohl im Frühjahr als auch im Herbst. Die Düngemaßnahmen während der Wachstumsperioden bewirken den Anstieg im Frühjahr und im Herbst. Zusätzlich kann im Herbst das Ausbringen des Wirtschaftsdüngers zum Leeren der Lager die Erhöhungen der Ammoniak-Immissionen beeinflussen.

Zusätzlich zu den Messwerten der Ammoniakkonzentrationen standen für die Untersuchungsgebiete des Beprobungszeitraums Oktober 2003 bis Dezember 2004 meteorologische Daten zur Interpretation der Messergebnisse und für Ausbreitungsrechnungen zur Verfügung. Die Verteilungsmuster aus Windrichtung und Häufigkeit zum jeweiligen Expositionszeitraum verdeutlicht Abb. 5-12. Jeder Messzyklus weist dabei ein typisches Muster auf.

Die Windrichtungsverteilung für jeden Messzyklus erlaubt eine detaillierte Auswertung der gemessenen Ammoniak-

konzentrationen. Je nach Lage westlich oder östlich zur Quelle beeinflussen die vorherrschenden meteorologischen Bedingungen die zu erfassenden Ammoniakkonzentrationen am jeweiligen Messort. Während des Messzyklus N29 (11.11. - 23.11.04) herrschten mit 70 Prozent überwiegend Westwinde vor, d. h. maximal 70 Prozent des emittierten Ammoniaks können an Standorten östlich der Quelle erfasst werden. Dabei sind Parameter wie Entfernung zur Quelle oder weitere Ammoniak freisetzende Aktivitäten wie Düngerausbringung sowie die Windgeschwindigkeit mit zu berücksichtigen.

In Abb. 5-13 werden die beiden Winterzyklen N29 und N30 (23.11.-09.12.04) mit 55 Prozent Ostwind mit den ermittelten Ammoniakkonzentrationen an östlich und westlich zur Quelle liegenden Messstandorten verglichen. Es ist wahrscheinlich, dass in diesem Zeitraum kein Wirtschaftsdünger ausgebracht wurde, der eine weitere diffuse Ammoniakquelle dargestellt hätte. Für die ermittelten Ammoniakkonzentrationen an den neun Messstandorten, die sich zwischen 50 m und 500 m westlich bzw. östlich zur Quelle befinden, besteht ein erkennbarer Zusammenhang zwischen Windrichtung, Lage und Entfernung der Messstandorte zur Quelle. Mit zunehmender Entfernung zur Quelle nivellieren sich die Ammoniakkonzentrationen für beide Windrichtungen, wobei im Nahbereich die höchsten Werte im Lee (Windschatten) zur Quelle messbar waren.

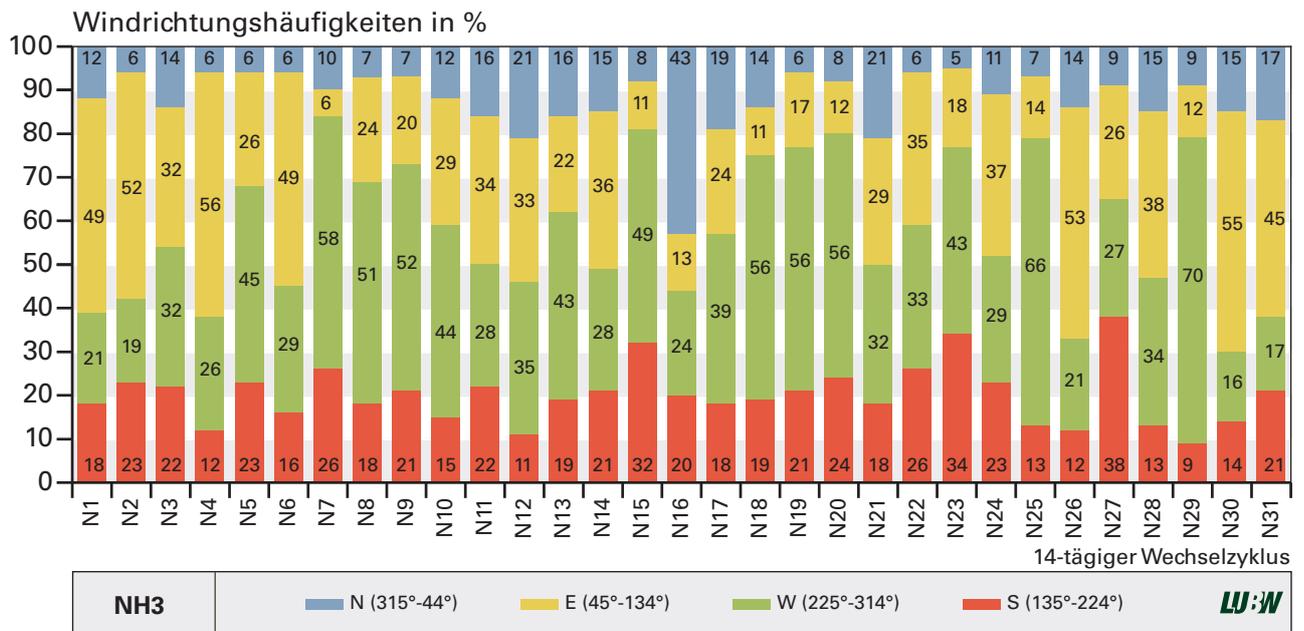


Abb. 5-12: Windrichtungsverteilung im Enzkreis von 16.10.2003 – 22.12.2004. Quelle: LUBW

Nicht nur die Quellstärke, Entfernung zur Quelle, Saison und Windrichtung spielen wie bereits erwähnt eine Rolle, sondern auch die Windgeschwindigkeit beeinflusst die Ausbreitung und damit auch die ermittelbaren Ammoniakkonzentrationen. Werden für einen Messstandort die Konzentrationen nur in Bezug zu einer Windrichtung betrachtet, ergibt sich ein Zusammenhang zwischen Ammoniakkonzentration und dem Quotienten aus Windrichtungshäufigkeit und Windgeschwindigkeit. Dieser Zusammenhang wurde

im Rahmen einer Diplomarbeit bei der LUBW [49] aufgestellt.

In Abb. 5-14 sind die Ergebnisse für einen leeseitigen quellnahen Messstandort während der Wintersaison für Westwind erfasst. Bei dieser Betrachtung ergab sich ein Korrelationskoeffizient von $r^2=0,60$. Mit zunehmender Windgeschwindigkeit sinkt die Ammoniakkonzentration an diesem Standort, hingegen steigt sie bei abnehmenden Windge-

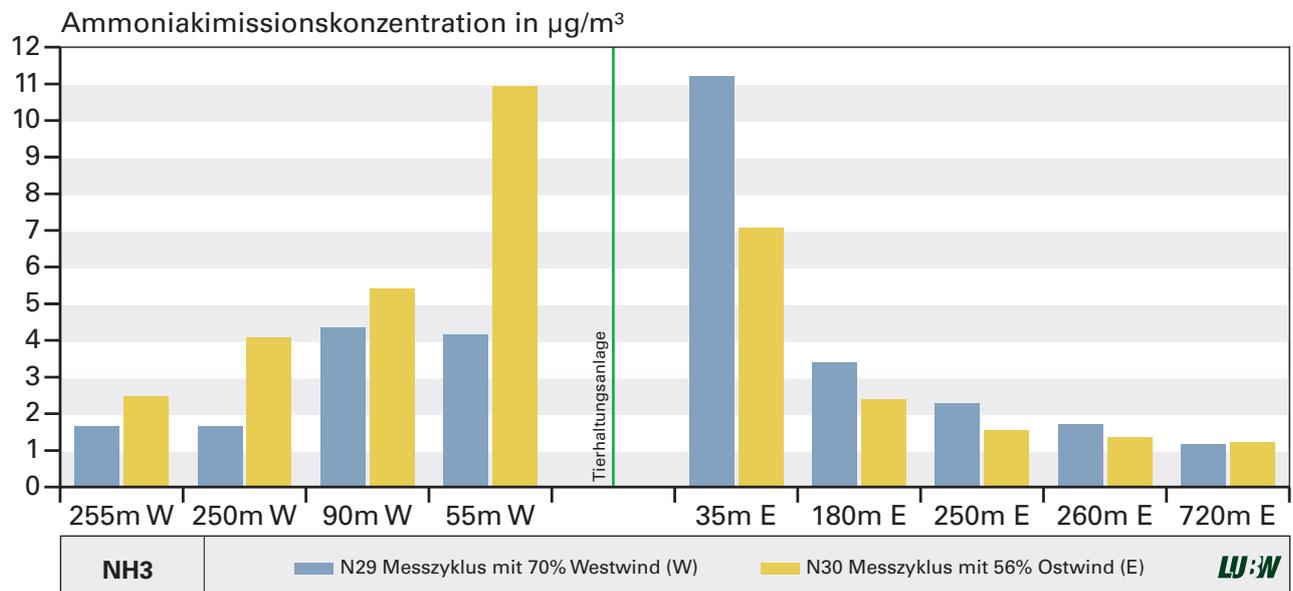


Abb. 5-13: Ammoniakkonzentration in Abhängigkeit von Windrichtung und Entfernung zur Quelle während zwei Messzyklen. Quelle: LUBW

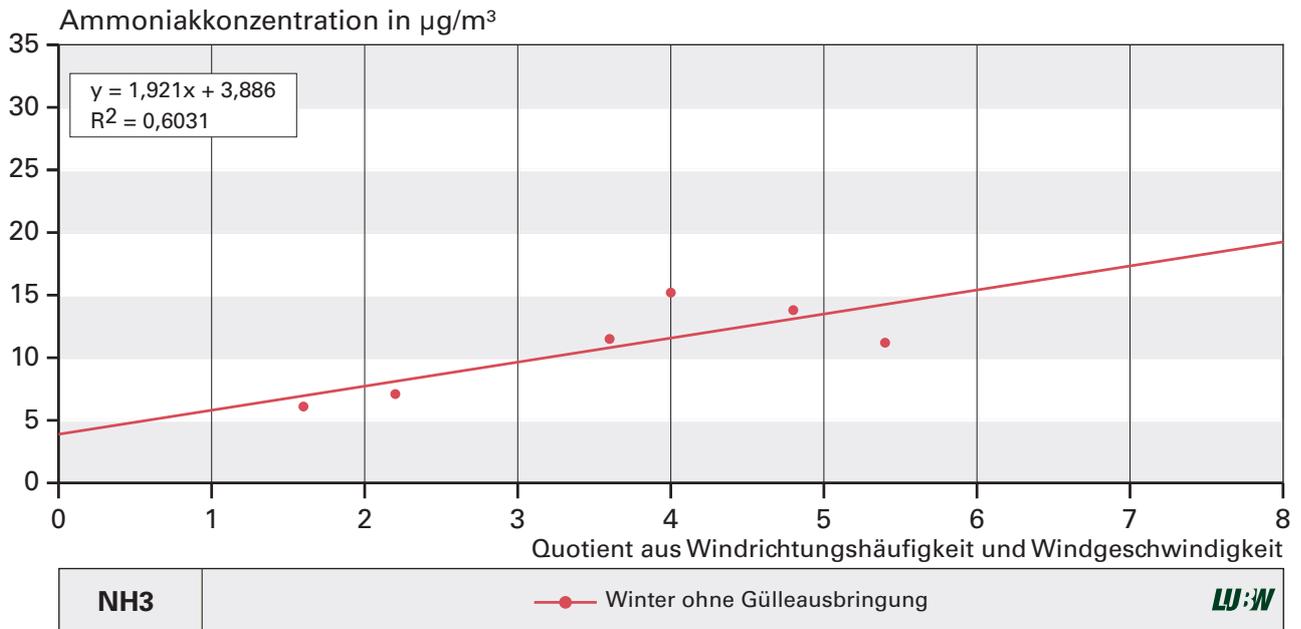


Abb. 5-14: Ammoniakkonzentration in Bezug zum Quotienten aus Windrichtungshäufigkeit und Windgeschwindigkeit für Westwind, Ergebnisse für den Winter. Quelle: LUBW

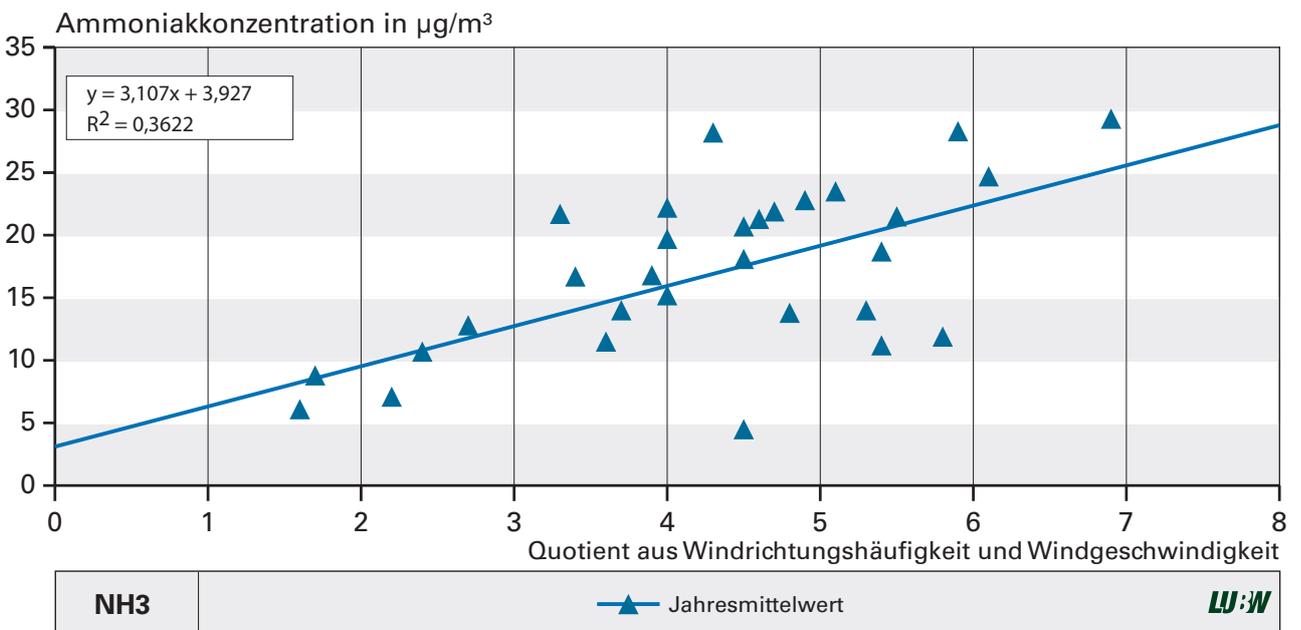


Abb. 5-15: Ammoniakkonzentration in Bezug zum Quotienten aus Windrichtungshäufigkeit und Windgeschwindigkeit für Westwind, für die gesamte Saison. Quelle: LUBW

schwindigkeiten. Das emittierte Ammoniak wird bei höheren Windgeschwindigkeiten stärker verdünnt, aber auch weiter transportiert und kann somit auch in entfernteren Gebieten wirken.

Bei Betrachtung eines gesamten Jahresverlaufs mit insgesamt 31 Zyklen (Abb. 5-15), ergibt sich ein Korrelationsfaktor von lediglich $r^2=0,36$, d. h. es spielen noch andere Effekte wie z. B. Düngemanagement mit, welche die oben dargestellten Zusammenhänge zwischen Windrichtungs-

häufigkeit, Windgeschwindigkeit und Ammoniakkonzentration überlagern.

5.2.3 Ergebnisse aus dem überwiegend nicht landwirtschaftlichen Umfeld

Im Untersuchungszeitraum 2005 bis 2006 wurden im Ortenaukreis die Messungen der Ammoniak-Immissionen im Umfeld der Schweinemast auch um die landwirtschaftlichen Bereiche Milchvieh- und Pferdehaltung sowie den Verkehr und den Siedlungsbereich erweitert. Die Jahres-

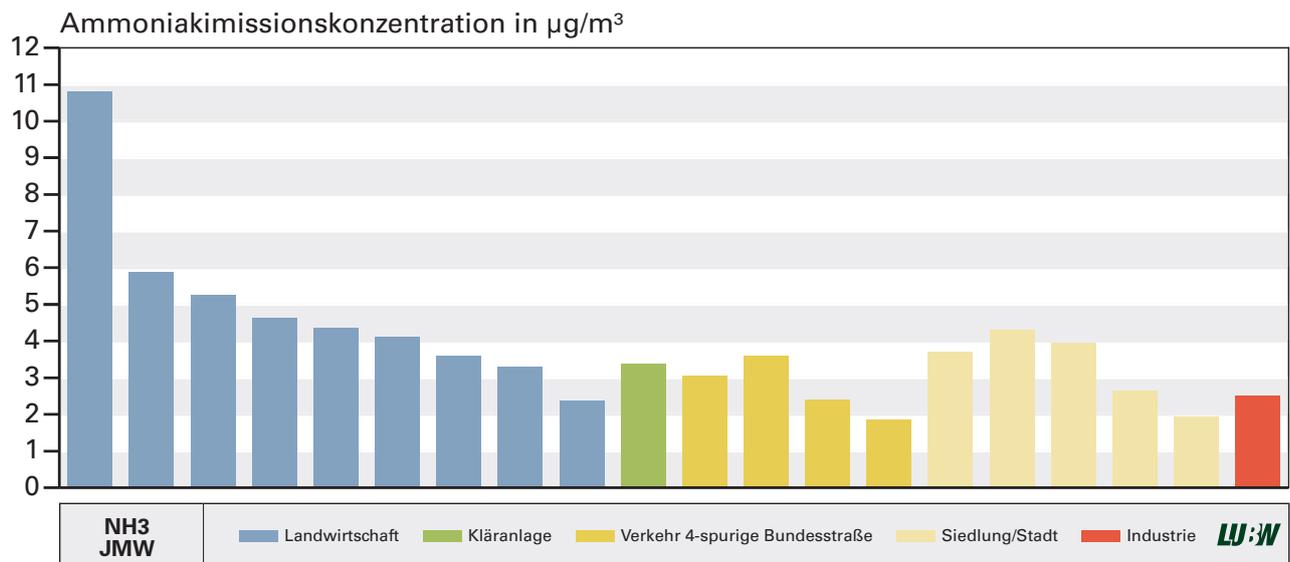


Abb. 5-16: Ammoniak-Messprogramm von 2005 – 2006, Jahresmittelwerte der Ammoniak-Immissionen an 20 Messstandorten. Quelle: LUBW

mittelwerte an den 20 Messorten lassen sich aus Abb. 5-16 ablesen. Die höchsten Jahresmittelwerte gab es in direkter Nähe einer Schweinemastanlage. Im Umkreis von 0,2 km bis 1,5 km konnten bei den übrigen landwirtschaftlichen Betrieben bis auf einen Standort Ammoniak-Immissionen von mehr als 3 µg/m³ gemessen werden.

Die über ein Jahr gemittelten Ammoniakkonzentrationen im Verkehrs- und Siedlungsbereich umfassen eine Spanne von 1 µg/m³ bis 7 µg/m³ (Abb. 5-16, Abb. 5-17). Für diese

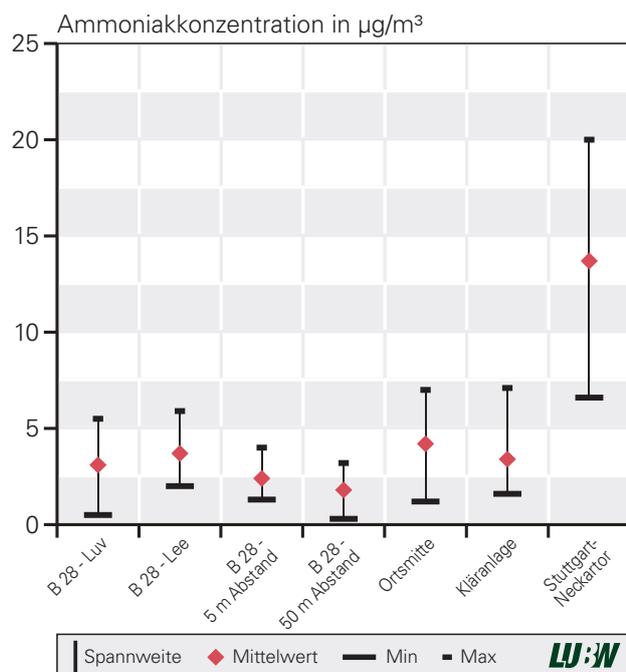


Abb. 5-17: Ammoniak-Messprogramm von 2005 - 2006; mittlere, maximale und minimale Konzentrationen bei nicht landwirtschaftlichen Quellen. Quelle: LUBW

Streubreite sind die Parameter Entfernung, Verkehrsdichte sowie Verkehrsfluss verantwortlich. Untersuchungen in Schottland [51] an unterschiedlich stark befahrenen Straßen belegen, dass die Ammoniak- und Stickstoffdioxidkonzentration von der Verkehrsdichte bzw. der Fahrzeugflotte abhängt. Außerdem nahm die Ammoniakkonzentration bei dieser Untersuchung auf den ersten 10 m um bis zu 40 Prozent ab. Der eingetragene Stickstoff - oxidiertes wie reduzierter - hat einen direkten Einfluss auf die Artenzusammensetzung der Vegetation in Fahrbahnnähe. Die Untersuchungen der LUBW zeigten sowohl den Einfluss des Abstands als auch der Windrichtung. Beim Vergleich der Ammoniakkonzentrationen an den in 3 m Entfernung zur vierspurigen Bundesstraße (B 28) gelegenen Luv und Lee-Standorten wird dies deutlich. Über diesen Streckenabschnitt fahren täglich 25.500 Fahrzeuge (Emissionskataster). Die Ammoniakkonzentrationen sind auf der Lee-Seite rund 18 Prozent höher als auf Luv-Seite.

Neben den bisher bekannten Faktoren wie Quellart, Entfernung oder Windrichtung spielt bei der Ammoniak-Immission als weiterer Faktor die Umgebungsstruktur eine Rolle. Im Vergleich zu den vorherigen Standorten ist die Konzentration an den fünf Messstandorten im besiedelten Gebiet um 12 Prozent höher. An diesen fünf Standorten beträgt das tägliche Verkehrsaufkommen 6.500 bis 28.500 Fahrzeuge. Die ermittelten Ammoniakkonzentrationen liegen im Mittel höher als die an der Bundesstraße. Verantwortlich dafür ist die geschlossene Bebauung an diesen Standorten. Bei der B 28 breiten sich die Emissionen der

Fahrzeuge relativ frei aus und verteilen sich in der Umgebung. Eine freie Ausbreitung ist im bebauten Siedlungsbe- reich nicht möglich, daher sind hier höhere Ammoniak- konzentrationen nachweisbar. Aus der Literatur sind u. a. bei Kirchner [14] höhere Konzentrationen aus Tunnelmes- sungen belegt. Beim Vergleich mit der Verkehrsmessstation Stuttgart Neckartor mit täglich 70.000 Fahrzeugen wird deutlich, dass durch die Verkehrsmenge und die enge Stra- ßenbebauung erhöhte Ammoniakkonzentrationen nach- weisbar waren (Abb. 5-17).

5.3 Ammoniakmessnetz in Baden-Württemberg

Aus den Ergebnissen und Erkenntnissen der vorausgegan- genen Projekte resultierte 2007 der Aufbau eines dauer- haften landesweiten Ammoniakmessnetzes in Baden- Württemberg. Mittels Passivsammlern – hier Ferm-Sammler – werden an 19 Standorten die Ammoniak-Immissionen im 14-tägigen oder 28-tägigen Rhythmus erfasst (siehe Ab- schnitt 5.1.2). Die Kriterien für die Standortauswahl waren zum einen die Hintergrundsituation im Bereich der poten- ziellen Emittenten wie Landwirtschaft, Industrie oder Stadt, zum anderen die Immissionssituation im Verkehrs- bereich.

Die Hintergrundwerte sind bei Genehmigungsverfahren im landwirtschaftlichen Bereich von Bedeutung. Gemäß der TA Luft Anhang 1, Abschnitt 4.8 [1] ist der Schutz emp- findlicher Pflanzen und Ökosysteme vor erhöhten Stick- stoffeinträgen zu berücksichtigen.

5.3.1 Standortauswahl

Insgesamt wurden 19 Standorte nach Kriterien wie Quell- kategorie, Hintergrund und Vernetzung mit anderen be- reits bestehenden Messprogrammen ausgewählt (Abb. 5-18). Ziel war es, ein Messnetz zu etablieren, das über mehrere Jahre Bestand hat und den Kostenrahmen über- schaubar hält. Die Verteilung der Standorte und die Zuge- hörigkeit zu einer Quellkategorie bzw. zu bestehenden Messprogrammen fasst Tab. 5-2 zusammen.

Tab. 5-2: Standorte des Ammoniakmessnetzes Baden-Württemberg

Quellkategorie	Anzahl	Integration in bestehende langjährige Messnetze
Hintergrund	2	Depositionsmessnetz und Luftmess- station, Bodendauerbeobachtung
Landwirtschaft	4	Depositionsmessnetz, Luftmessstation
Stadt/Verkehr	6	Luftmessstation, Spotmessprogramm
Industrie	7	Luftmessstation, Bodendauerbeobachtung

Für die beiden Standorte Wilhelmsfeld im Odenwald und Sonnenbühl (Erpfingen) auf der Schwäbischen Alb, welche die Hintergrundsituation in Baden-Württemberg wider- spiegeln, kann aufgrund der Überschneidung mit anderen Messnetzen die Summe der Einträge aus den reduzierten und den oxidierten Stickstoffverbindungen berechnet wer- den.

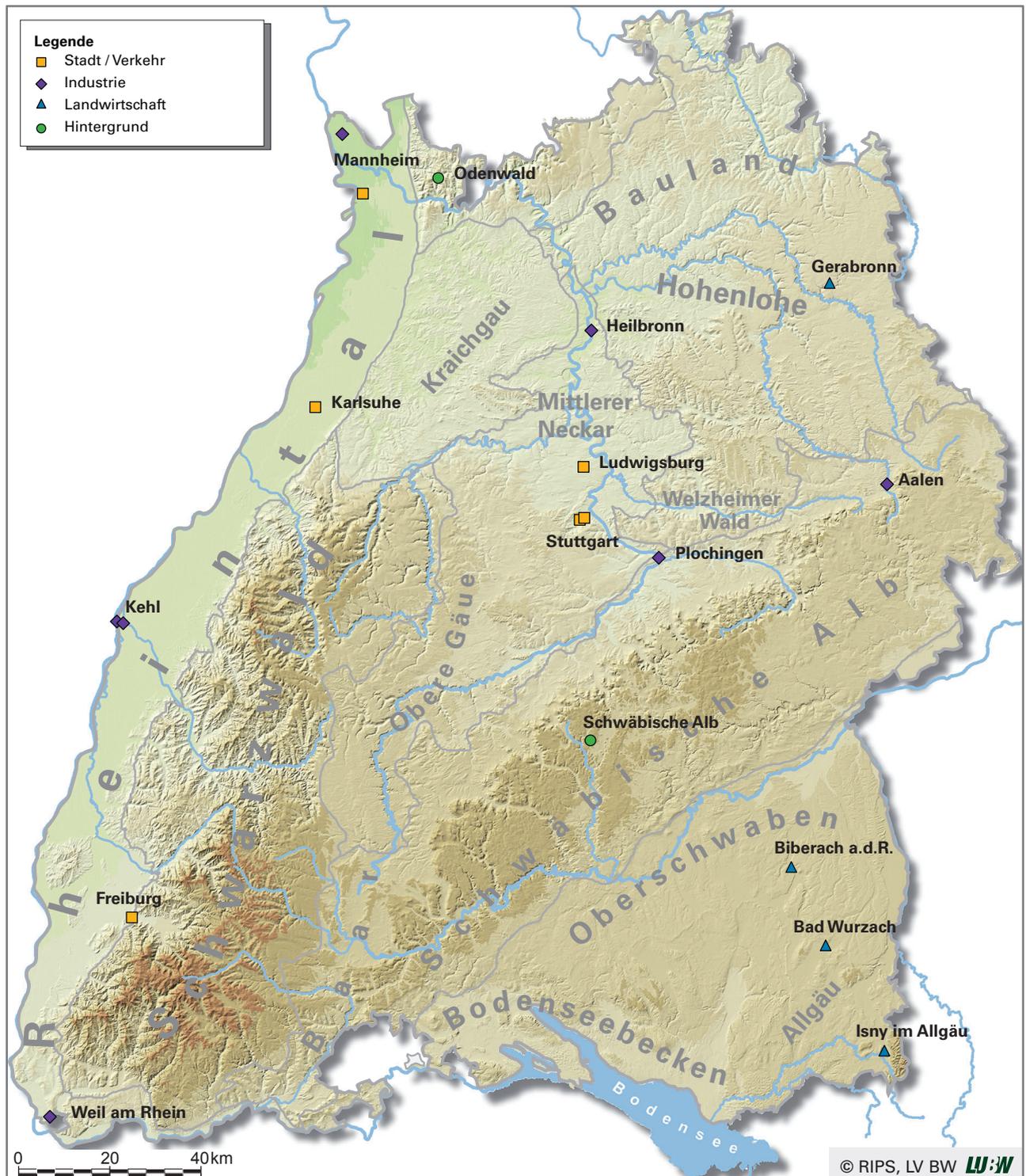


Abb. 5-18: Ammoniakmessnetz Baden-Württemberg seit 2007, Standorte der Messungen mit jeweiliger Quellkategorie. Quelle: LUBW

5.3.2 Erste Ergebnisse nach einem Jahr Messnetzbetrieb

5.3.2.1 Ammoniak-Immissionen im Verkehrsbereich

Von den sechs Messstandorten der Quellkategorie Stadt/Verkehr sind bis auf Mannheim-Süd alle Teil des Verkehrsmessprogramms in Baden-Württemberg. An diesen Standorten werden kontinuierlich weitere Parameter wie Stickstoffdioxide und PM₁₀ ermittelt. Die Ammoniakkonzentrationen spiegeln an allen diesen Standorten die Situation in unmittelbarer Nähe zur Fahrbahn wieder. Auch hier gilt, dass mit zunehmender Entfernung die Konzentrationen abnehmen.

Wie Abb. 5-19 zeigt, korrelieren die täglichen Verkehrsmengen (DTV) nicht direkt mit den Ammoniakkonzentrationen. Für die gemessenen Konzentrationen sind weitere

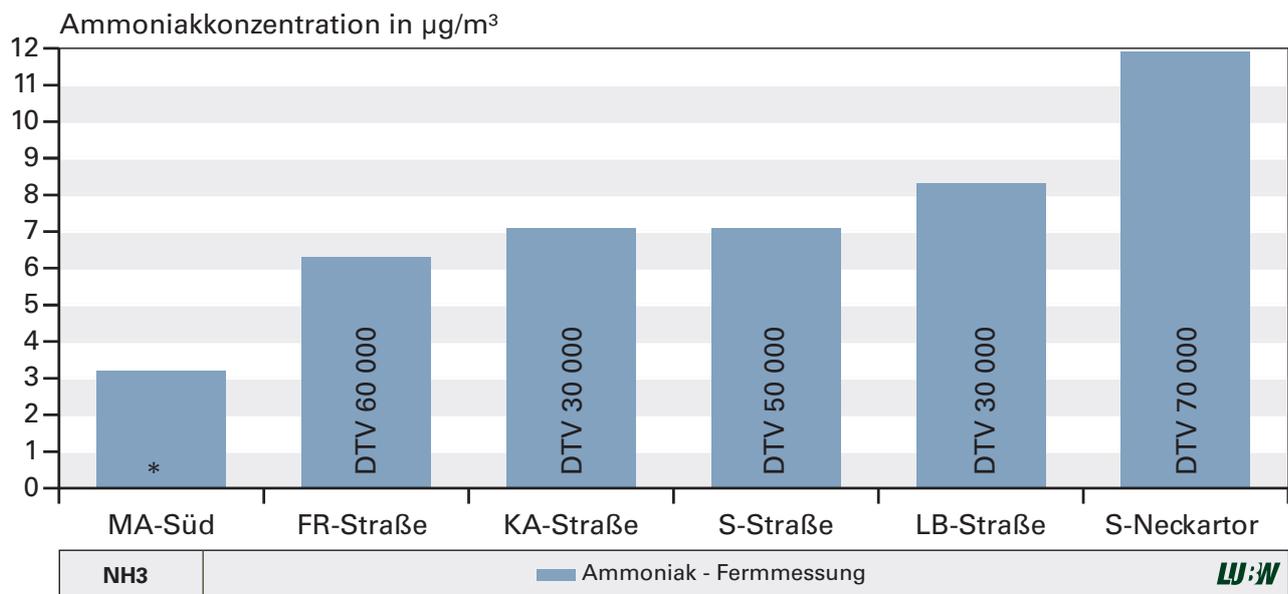


Abb. 5-19: Ammoniakmessnetz 2007: Jahresmittelwerte der Ammoniakkonzentrationen an den verkehrsbeeinflussten Standorten.
Quelle: LUBW *für 2007 liegen keine DTV vor

Faktoren relevant, wie die Bebauungsstruktur, die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte sowie die Ausbreitungsverhältnisse am jeweiligen Straßenabschnitt. Die Verkehrszahlen stammen aus der lokalen Verkehrserfassung der LUBW bzw. aus dem Spot-Messbericht [52]; sie wurden auf Zehntausend gerundet.

5.3.2.2 Ammoniak-Immissionen in den übrigen

Quellkategorien

Mit den übrigen Messstandorten soll die Ammoniaksituation in einem weiten Umfeld der jeweiligen Quellkategorie erfasst werden, also die Immissionssituation, die in einer landwirtschaftlichen oder industriell geprägten Region vorherrscht. Daher sind die mittleren Ammoniak-Immissionen in diesen Regionen auch geringer, als die in direkter Nähe des Verkehrs. Für den relativ unbeeinflussten Hintergrund in Baden-Württemberg ergab sich im ersten Jahr 2007 ein Jahresmittelwert von ca. $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Im landwirtschaftlichen Umfeld können Jahresmittelwerte von ca. $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erwartet werden und in industriellen Regionen zwischen $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Abb. 5-20). Inwieweit eine detailliertere Differenzierung nach Quellkategorien möglich sein wird, werden die Ergebnisse der kommenden Jahre zeigen.

5.3.2.3 Ammoniak-Immissionen im saisonalen

Verlauf

Über die Jahresmittel der Ammoniakkonzentrationen lassen sich die einzelnen Quellkategorien bisher nicht ein-

deutig unterscheiden. Ein Ansatz hierzu ist der saisonale Verlauf der Ammoniak-Immissionen, wie er in den beiden Abbildungen 5-21 und 5-22 dargestellt ist.

An dem landwirtschaftlich geprägten Messstandort Isny werden die Passivsammler monatlich ausgetauscht, mit einer Nachweisgrenze von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dadurch lässt sich ein Anstieg der Ammoniakkonzentration im Übergang von Winter zum Frühjahr deutlich erkennen. Dies ist der Zeitpunkt für u. a. Gülle- und Mistausbringungen. Über die Wintermonate Dezember und Januar stellt sich ein Minimum ein, da hier laut Düngemittelverordnung [43] keine Gülle ausgebracht werden darf.

Ganz anders sieht der Verlauf an den verkehrsbeeinflussten Messstandorten aus (Abb. 5-22). Hier werden alle 14 Tage die Passivsammler analysiert und ein saisonaler Verlauf wie bei Isny ist nicht erkennbar.

An dem landwirtschaftlich geprägten Standort Bad Wurzach werden sowohl die Ammoniak-Immissionen als auch Ammonium-Depositionen erfasst. Anhand der Ergebnisse lässt sich eine zweigipfelige Kurve mit Maxima im Frühjahr und Herbst ermitteln. Die Maxima sind durch die Zeiten der Düngerausbringung bedingt (Abb. 5-23). Einen ähnlichen Kurvenverlauf weisen auch die Untersuchungsreihen aus dem ANSWER-Projekt [53] auf. Inwieweit die unterschiedlich hohen Maxima von Ammoniak

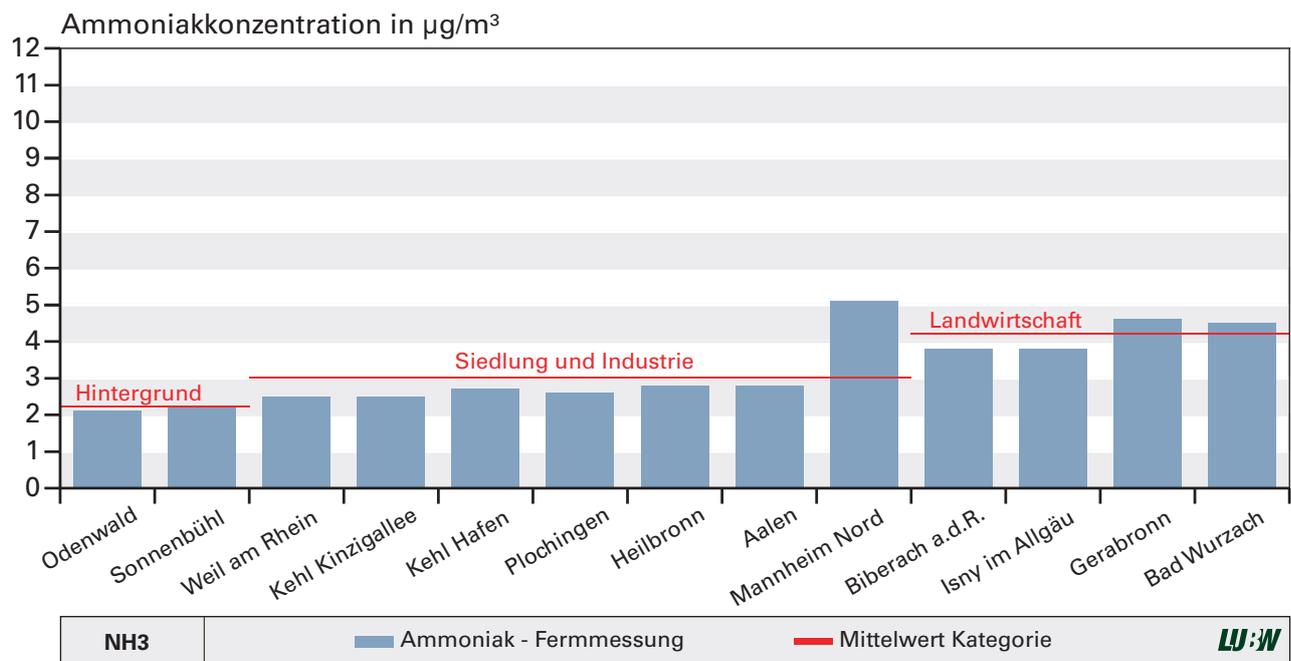


Abb. 5-20: Ammoniakmessnetz 2007: Jahresmittelwerte der Ammoniakkonzentration an den verschiedenen Standorten ohne die Verkehrsstationen. Quelle: LUBW

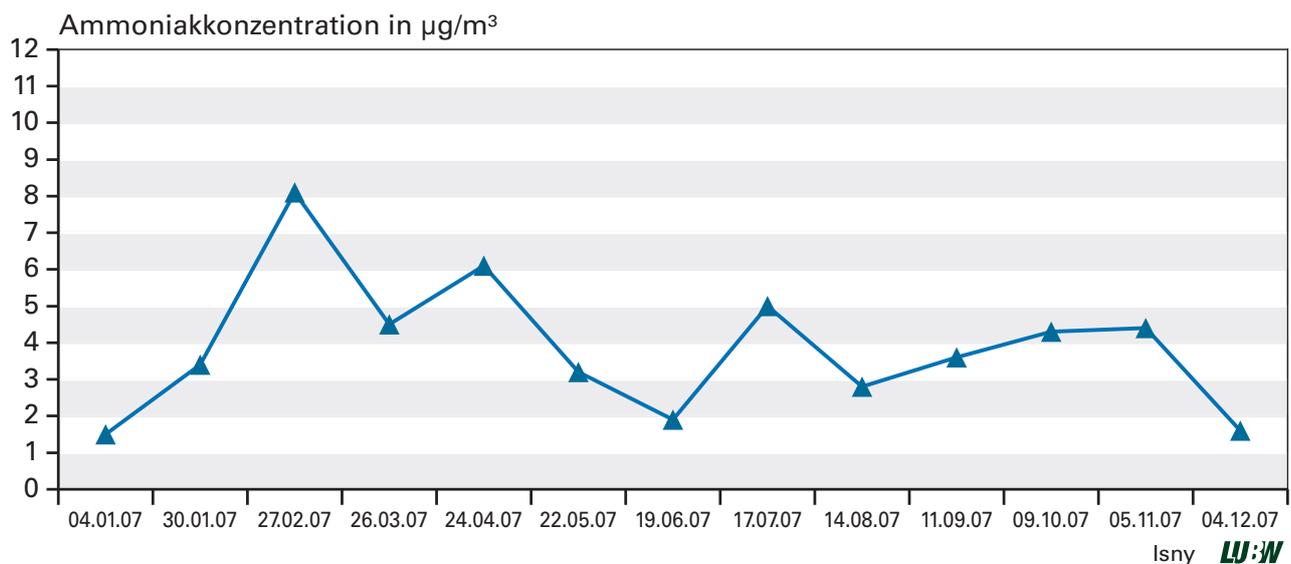


Abb. 5-21: Ammoniakmessnetz 2007: Jahresverlauf (monatliche Messungen) der Ammoniakkonzentration bei Isny, einem landwirtschaftlich geprägten Messstandort. Quelle: LUBW

und Ammonium typisch sind, kann nur durch langjährige Messungen ermittelt werden.

5.3.2.4 Gesamter Stickstoffeintrag an zwei Hintergrundstandorten

An zwei Standorten, Wilhelmsfeld im Odenwald und Sonnenbühl auf der Schwäbischen Alb, können die Stickstoffeinträge für das Jahr 2007 über die vier Komponenten Ammoniak, Ammonium, Stickstoffdioxid und Nitrat berechnet werden (Abb. 5-24 und Abb. 5-25). Für eine vereinfachte Berechnung der Stickstoffeinträge werden die gemessenen Gesamteinträge von Nitrat und Ammonium berücksichtigt. Für die gasförmigen Komponenten Ammoniak und

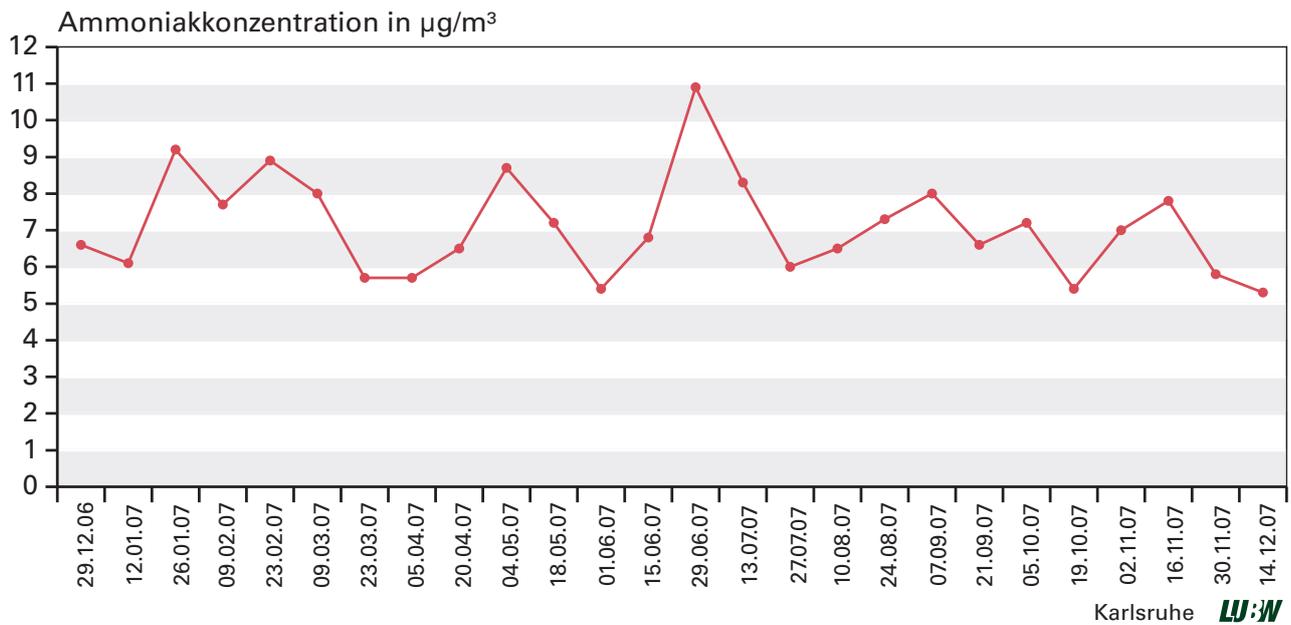


Abb. 5-22: Ammoniakmessnetz 2007: Jahresverlauf (14-tägige Messungen) der Ammoniakkonzentration an der Karlsruher Verkehrsmessstation. Quelle: LUBW

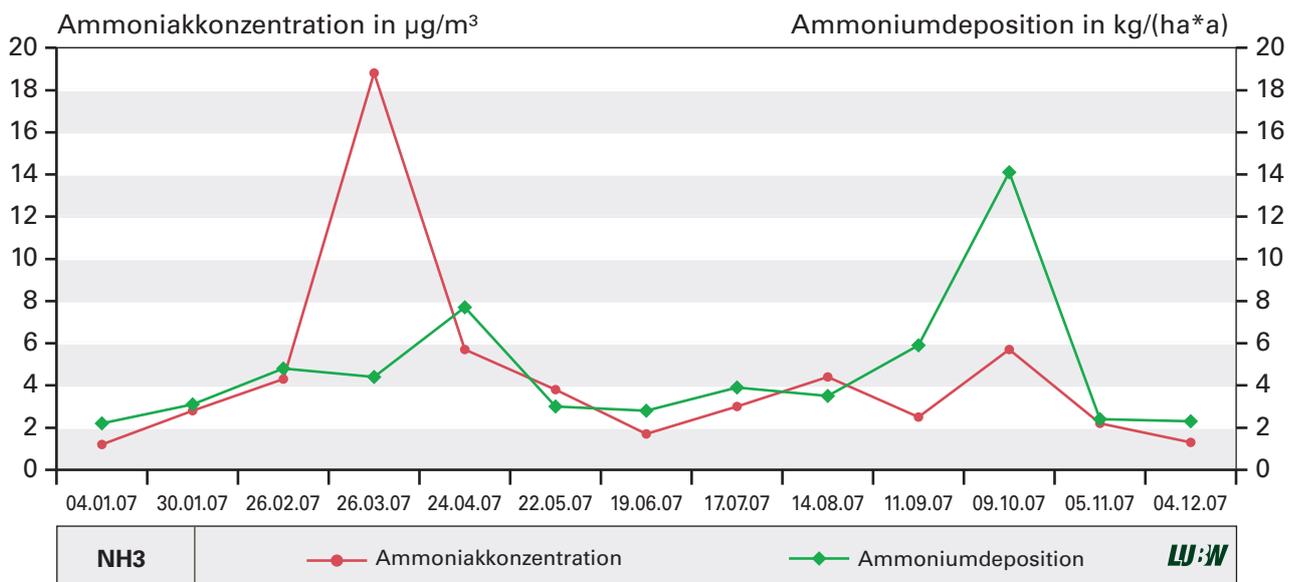


Abb. 5-23: Ammoniakkonzentration und Ammonium-Deposition im Vergleich; Jahresverlauf 2007 aus monatlichen Messungen bei Bad Wurzach. Quelle: LUBW

Stickstoffdioxid werden die gemessenen Konzentrationen, gemäß VDI 3782 (5.3.4 und 5.3.5) [37] mit einer Depositionsgeschwindigkeit von 0,6 cm pro Sekunde für Stickstoffoxide und 1,2 cm pro Sekunde für Ammoniak, als trockene Deposition umgerechnet. Dabei ergaben sich für das 2007 Gesamtstickstoffeinträge von ca. 17 kg/ha und 21 kg/ha. Bei Wilhelmsfeld tragen hauptsächlich Stickstoffdioxid und Ammoniak zu den Stickstoffeinträgen bei, am Standort Sonnenbühl ist es überwiegend das Ammoniak. Wilhelmsfeld liegt im Einflussbereich des Großraums Mannheim -

Heidelberg, während Sonnenbühl eher landwirtschaftlich geprägt ist. Im Vergleich dazu liegen die Eintragsraten, berechnet nach dem UBA Modell [41], für beide Standorte um 2 kg/ha und Jahr höher. Die UBA-Berechnung stützt sich auf längere Zeitreihen, wohingegen eigene Messwerte bisher nur für das Jahr 2007 vorliegen.

Diese beiden Beispiele verdeutlichen, dass die Standorte entsprechend ihrem Umfeld einen charakteristischen Eintrag der vier Stickstoffkomponenten aufweisen. Eine Über-

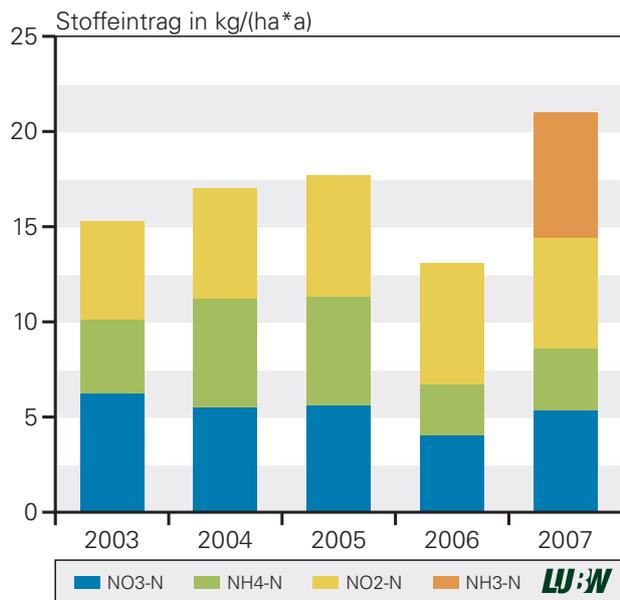


Abb. 5-24: Stickstoffeinträge am Standort Odenwald – Wilhelmsfeld. Quelle: LUBW

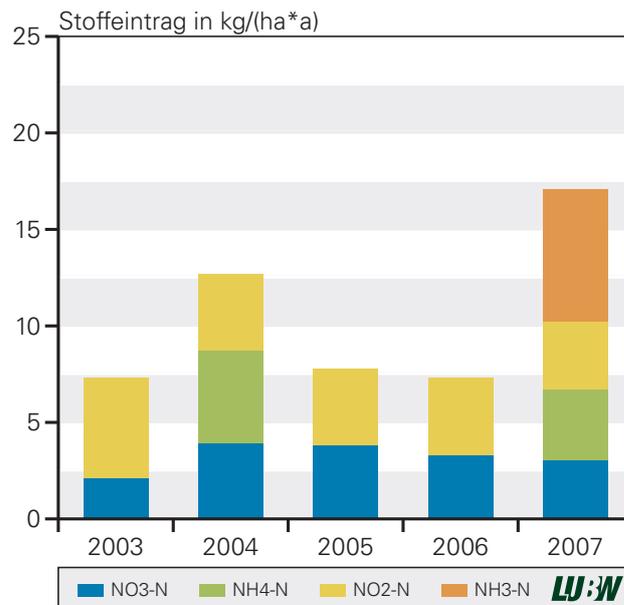


Abb. 5-25: Stickstoffeinträge am Standort Schwäbische Alb – Sonnenbühl. Quelle: LUBW

tragung der Stickstoffeinträge von einem Standort auf einen anderen ist nicht möglich. Daher ist es notwendig, sowohl die reduzierten als auch die oxidierten sowie die organischen Stickstoffeinträge an den einzelnen Standorten bzw. für die unterschiedlichen Regionen zu erfassen. Erst mit entsprechend vollständigen Datensätzen lassen sich die eingetragenen Stickstoffmengen mit ausreichender Zuverlässigkeit ermitteln.

6 Literatur

- [1] TA LUFT (2002): Erste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz. Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft. 24. Juli 2002
- [2] 33.BIMSCHV, Dreiunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (2004): Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen, vom 13. Juli 2004 (BGB. I S. 1612)
- [3] Spiegel-online; www.spiegel-online.de vom 9. 12 2004, 22.09.2008
- [4] EG-RICHTLINIE 2001/81/EG: Nationales Programm zur Einhaltung von Emissionshöchstwerten für bestimmte Luftschadstoffe nach der (NEC-Richtlinie) Luftreinhaltung 2010
- [5] <http://www.landschaftsmuseum.de/Seiten/Material/Zunder.htm>
- [6] MÖLLER, DETLEV (2003): Luft - Chemie, Physik, Biologie, Reinhaltung, Recht. Walter de Gruyter Verlag. Berlin
- [7] BÄCKERALF, M.; EWENDT, R. (2004): Typische Energieeinsparpotentiale bei Kühlung und Klimatisierung. Referat an der Fachhochschule Bielefeld. Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik
- [8] SCHACHTSCHABEL, P.; BLUME, H.-P.; BRÜMMER, G.; HARTGE, K.-H.; SCHWERTMANN, U. (1992): Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart
- [9] BLW Bundesamt für Landwirtschaft (Hrsg.) (2004): Agrarbericht 2004. Bern
- [10] GISI, U.; SCHENKER, R.; SCHULIN, R.; STADELMANN, F.; STICHER, H. (1997): Bodenökologie. Thieme Verlag. Stuttgart
- [11] FAO Food and Agriculture Organization of the united nations (2008): Current world fertilizer, trends and outlook for 2011/12, Rome
- [12] <http://www.gesundheitpro.de/Ammoniak-gesundheit-A050829ANONI013382.html>, 22.09.2008
- [13] KTBL Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.) (2005): Faustzahlen für die Landwirtschaft. 13. Aufl. Darmstadt
- [14] Umweltbundesamt (2004): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs 2.1. Bd 107, 02/2004 Wien
- [15] KIRCHNER, M.; BRAEUTIGAM, S. (2001): Ammoniak und Verkehr. Messergebnisse aus München und Salzburg 1999-2001
- [16] FRAHM, J.-P. (2006): Der Einfluss von Ammoniak auf Stickstoff liebende Flechten in verkehrsbelasteten Gebieten. Immissionsschutz 11, Heft 4
- [17] LFU BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (HRSG.) (2004): AMMONIAK UND AMMONIUM
- [18] LAI Länderausschuss für Immissionsschutz (Hrsg.) (1996): Bewertung von Ammoniak- und Ammonium-Immissionen: Bericht des Unterausschusses „Wirkungsfragen“ des LAI; vom LAI verabschiedet in seiner 89. Sitzung vom 25.-27.10.1995 in Mainz. Erich Schmidt Verlag. Berlin
- [19] TRGS 900 (2008): Technische Regeln für Gefahrstoffe. Letzte Änderungen Juni 2008
- [20] Zweite Verordnung zur Änderung der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung vom 1. August 2006, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2006 Teil 1 Nr. 37
- [21] HAMBURGER ABENDBLATT 27.Feb. 2008; www.abendblatt.de, 22.09.2008
- [22] INDUSTRIEVERBAND AGRAR (Hrsg.) (2007): Wichtige Zahlen. Düngemittel. Produktion, Markt, Landwirtschaft. Bülzi
- [23] LTZ LANDWIRTSCHAFTLICHES TECHNOLOGIE ZENTRUM AUGUSTENBERG (2007): Düngung von Acker- und Sonderkulturen, Karlsruhe
- [24] <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/21914/>, 22.09.2008
- [25] NIEDER, R.; KÖSTER, W.; KERSEBAUM, K.-CH. (2007): Beitrag der Landwirtschaft zu diffusen N-Einträgen. Wasserwirtschaft WaWi Heft 1-2. 2007
- [26] PRUEß, A. (2007): Aktivitäten zur medien- und grenzübergreifenden Stickstoff-Bilanzierung. KRdL-Expertenforum Stickstoff und die Wirkung auf die Vegetation, FAL Braunschweig, Karlsruhe 15.12.2006

- [27] WALZ, CH. (2000): NO_x-Minderung nach dem SCR-Verfahren: Untersuchungen zum Einfluß des NO₂-Anteils, Dissertation an der Universität Karlsruhe (TH)
- [28] <http://www.env-it.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2359> <http://www.env-it.de/umweltdaten/>, 22.09.2008
- [29] AID HEFT 1454/2003: Ammoniak-Emissionen in der Landwirtschaft mindern – Gute fachliche Praxis
- [30] LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (Hrsg.) (2008): Luftschadstoff-Emissionskataster Baden-Württemberg 2006
- [31] Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, <http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de>, 22.09.2008
- [32] UMEG - Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg (2003): Luftschadstoff-Emissionskataster Baden-Württemberg 2000. Quellengruppe Biogene Quellen. Karlsruhe
- [33] KTBL Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.) (2006): Nationaler Bewertungsrahmen Tierhaltungsverfahren. KTBL-Schrift 446. Darmstadt
- [34] UM Umweltministerium Baden-Württemberg (2005): Erlass zu Ammoniakemissionsfaktoren für Anlagen zum Halten oder zur Aufzucht von Nutztieren, Stuttgart 2005
- [35] FAL, DÄMMGEN U. (Hrsg.) (2005): Calculations of Emissions from German Agriculture – National Emission Inventory Report (NIR) 2007 for 2005. Sonderheft 304
- [36] DÄMMGEN, U.; LÜTTICH, M.; HÄNEL, H.-D.; DÖHLER, D.; EURICH-MENDEN, B.; OSTERBURG, B. (2006): Landwirtschaftliche Emissionsinventare in Deutschland. Aus Emissionen in der Tierhaltung. KTBL-Schrift 449. S. 24-36
- [37] VDI-RICHTLINIE VDI 3782 (2004): Depositionsparameter, Umweltmeteorologie. Atmosphärische Ausbreitungsmodelle.
- [38] DRECHSLER, S.; AHRENS, D.; LUMPP, R.; HOLST, TH.; UHRNER, U. (2006): Hohe Feinstaubbelastung als Folge der Aerosolbildung. Immissionsschutz 11 Heft 2
- [39] NAGEL H.-D.; GREGOR H.-D. (Hrsg.) (1999): Ökologische Belastungsgrenzen: Ein internationales Konzept für die Luftreinhaltung = Critical loads & levels. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg
- [40] BUWAL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.) 2005: Stickstoffhaltige Luftschadstoffe in der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 384, Bern
- [41] <http://osiris.uba.de/website/dep01/viewer.htm>, 22.09.2008
- [42] DÖHLER, H.; DÄMMGEN, U.; EURICH-MENDEN; B.; OSTERBURG, B.; LÜTTICH, M.; BERG, W.; BERGSCHMIDT, A.; BRUNSCH, R. BMVEL/UBA (Hrsg.) (2002): Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung an internationale Richtlinien sowie Erfassung und Prognose der Ammoniak-Emissionen der deutschen Landwirtschaft und Szenarien zur Minderung bis zum Jahre 2010. UBA Texte 5/02
- [43] DÜMV (2007): Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung – DüMV) 22. Oktober 2007, BGBl. I S. 2494
- [44] ARBEITSKREIS - Ermittlung und Bewertung von Stickstoffeinträgen (2006) Abschlussbericht
- [45] KOST, W.-J.; NIELINGER, J. (2008): Optimiertes Ammoniak-Abstandsverfahren für die Landwirtschaft in Baden-Württemberg
- [46] Windstatistiken von Baden-Württemberg: http://brs-web.lubw.baden-wuerttemberg.de/brs-web/home.cweb?AUTO_ANONYMOUS_LOGIN, 22.09.2008
- [47] BIGANZOLI, K.; BULLINGER, M.; KLINK, J.; DUTZI, R.; LUMPP, R. (2007): Messverfahren für Ammoniak in der Außenluft. Validierung von Langzeitdenudern und Passivsammlern. VDI, Braunschweig
- [48] UNIVERSITÄT HOHENHEIM (2005): Wissenschaftliche Untersuchung zur GIRL-Anwendung unter den speziellen Bedingungen der Baden-Württembergischen Schweineproduktion. Abschlussbericht
- [49] SÖRGEL, CH. (2005): Immissionen von Ammoniak im Umfeld zweier landwirtschaftlicher Betriebe. Diplomarbeit am Institut für Geographie und Geoökologie der Universität (TH) Karlsruhe. Reihe Karlsruher Berichte zur Geographie und Geoökologie; 18

- [50] FRIEBE, M. (2006): Ammoniakimmissionen im landwirtschaftlichen und städtischen Umfeld am Beispiel einer Untersuchungsreihe im Ortenaukreis. Diplomarbeit an der Berufsakademie Karlsruhe und der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz. Karlsruhe
- [51] CAPE, J.N.; TANG, Y.S.; VAN DIJK, N.; LOVE, L.; SUTTON, M.A.; PALMER, S.C.F. (2004): Concentrations of ammonia and nitrogen dioxide at roadside verges, and their contribution to nitrogen deposition. *Environmental Pollution* 132 (2004) 469-478
- [52] LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (2008): Spot-Messungen 2007. Darstellung der Messergebnisse. http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/38982/spotmessungen_2007.pdf?command=downloadContent&filename=spotmessungen_2007.pdf
- [53] MOHR, K.; MEESENBURG, H.; HORVATH, B.; MEIWES, K.J.; SCHAAF, S.; DÄMMGEN, U. (2005): Bestimmung von Ammoniak-Einträgen aus der Luft und deren Wirkungen auf Waldökosysteme. ANSWER-Projekt. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Oldenburg, Göttingen und Braunschweig

7 Abkürzungsverzeichnis

Chemische Formeln		Einheiten	
CO ₂	Kohlenstoffdioxid	cm/s	Zentimeter pro Sekunde; Einheit der Depositionsgeschwindigkeit
H ⁺	Wasserstoffion, Proton		
H ₂	Wasserstoff	ha	Hektar
H ₂ O	Wasser	kg/ha*a	Kilogramm pro Hektar und Jahr, Einheit für die Depositionsmengen
HNO ₃	Salpetersäure		
H ₂ SO ₄	Schwefelsäure	kg/TP*a	Kilogramm pro Tierplatz und Jahr; Emissionsfaktor bei Tierhaltungen
N ₂	Stickstoff		
NH _x	reduzierte Stickstoff-Verbindung(en)	kt	Kilotonne
(NH ₂) ₂ CO	Harnstoff	µg/m ³	Mikrogramm pro Kubikmeter - Volumenkonzentration
NH ₃	Ammoniak		
NH ₃ -SCR	über Ammoniak gesteuerte selective katalytische Reduktion (von Stickstoffoxiden)	mg/l	Milliogramm pro Liter - Volumenkonzentration
NH ₄ ⁺	Ammonium-Ion	pH	negativer dekadischer Logarithmus der H ⁺ -Ionenkonzentration
NH ₄ Cl	Salmiak (Ammoniumchlorid)	ppm	parts per million, Volumenmischungsverhältnis
(NH ₄) ₂ SO ₄	Diammoniumsulfat	t/a	Tonnen pro Jahr
NH ₄ HSO ₄	Ammoniumhydrogensulfat		
NO _x	Stickoxide (NO + NO ₂)		
NO	Stickstoffmonoxid		
NO ₂	Stickstoffdioxid		
NO ₂ ⁻	Nitrit		
NO ₃ ⁻	Nitrat		
N ₂ O	Lachgas		
O ₂	Sauerstoff		
OH ⁻	Hydroxyl-Ion		
R-NH ₂	organisches Amin (funktionale Gruppe der Aminverbindungen)		
R-OH	organisches Hydroxyl (funktionale Gruppe der Alkoholverbindungen)		
SO ₂	Schwefeldioxid		
SO ₄ ²⁻	Sulfat-Ion		

Weitere Abkürzungen

aid	Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten e.V.
AKS	Ausbreitungsklassenstatistik
AUSTAL	Lagrangisches Ausbreitungsrechenmodell gemäß der TA Luft
BImSchV	Bundes-Immissionsschutz-Verordnung
BMVEL	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
BRD	Bundesrepublik Deutschland
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Schweiz
CLE	Critical Level
CLO	Critical Load
E	Ost
E-Faktor	Emissionsfaktor
EG	Europäische Gemeinschaft
EU	Europäische Union
GIRL	Geruchsimmissionsrichtlinie
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
LAI	Länderausschuss für Immissionsschutz
LUBW	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, Baden-Württemberg
LTZ	Landwirtschaftliches Technologiezentrum, Augustenberg
Mio.	Millionen
N	Nord
NEC-RL	EG-Richtlinie für nationale Emissionshöchstgrenzen für bestimmte Luftschadstoffe, englisch: national emission ceilings
N_{\min}	Mineralisierter Stickstoff in Böden
PM10	particulate matter, Feinstaub von einer Größe $\leq 10 \mu\text{m}$
S	Süd
TA	Technische Anleitung
UBA	Umweltbundesamt
UMEG	Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg; jetzt LUBW
UN/ECE	United Nations Economic Commission for Europe, die Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa
VDI	Verband Deutscher Ingenieure
v_d	Depositionsgeschwindigkeit m/s oder cm/s

8 Anhang

Tab.: 8-1 Ammoniakkonzentrationen in Baden-Württemberg 2007

Messstandorte	Kategorie	Ammoniakkonzentration, Jahresmittelwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Aalen	Industrie	2,8
Bad Wurzach	Landwirtschaft	4,6
Biberach	Landwirtschaft	2,5
Freiburg-Straße	Stadt/Verkehr	6,4
Gerabronn	Landwirtschaft	4,5
Heilbronn	Industrie	2,7
Isny im Allgäu	Landwirtschaft	3,9
Karlsruhe-Straße	Stadt/Verkehr	7,1
Kehl-Hafen	Industrie	2,5
Kehl-Kinzigallee	Industrie	2,4
Ludwigsburg-Straße	Stadt/Verkehr	8,3
Mannheim Nord	Industrie	3,8
Mannheim Süd	Stadt/Verkehr	3,2
Plochingen	Industrie	2,6
Schwäbische Alb (Sonnenbühl)	Hintergrund	1,8
Stuttgart Neckartor	Stadt/Verkehr	11,8
Stuttgart-Straße	Stadt/Verkehr	7,1
Weil am Rhein	Industrie	2,2
Odenwald (Wilhelmsfeld)	Hintergrund	1,3

