



**Die Beschaffenheit des
Niederschlags in
Südoldenburg und im
Osnabrücker Land**





Niedersächsischer Landesbetrieb für
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

Die Beschaffenheit des
Niederschlags in
Südoldenburg und im
Osnabrücker Land



Niedersachsen

Impressum:

Herausgeber:
Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft,
Küsten- und Naturschutz
Am Sportplatz 23
26506 Norden

Bearbeitung:
Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft,
Küsten- und Naturschutz
Betriebsstelle Cloppenburg
Dr. Karin Lau
e-mail: Karin.Lau@nlwkn-clp.niedersachsen.de

November 2005

Titelbild: Foto K. Lau

Bezug:
Niedersächsischer Landesbetrieb für
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
Betriebsstelle Cloppenburg
Drüdingstr. 25
Tel: 04471/886 – 160
Fax: 04471/886 – 100

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	S. 1
2.	Messstellen	S. 1
3.	Niederschlagsbeschaffenheit 2004	S. 2
3.1	Chloridjahresfrachten 2004 im Regenwasser	S. 3
3.1.1	Chloridjahresfrachten an den Freilandmessstellen	S. 3
3.1.2	Chloridjahresfrachten an den Traufenmessstellen	S. 3
3.2	Sulfatjahresfrachten 2004 im Regenwasser	S. 6
3.2.1	Sulfatjahresfrachten an den Freilandmessstellen	S. 7
3.2.2	Sulfatjahresfrachten an den Traufenmessstellen	S. 7
3.3.	Nitratjahresfrachten 2004 im Regenwasser	S. 9
3.3.1.	Nitratjahresfrachten an den Freilandmessstellen	S. 10
3.3.2	Nitratjahresfrachten an den Traufenmessstellen	S. 12
3.4	Ammoniumjahresfrachten 2004 im Regenwasser	S. 13
3.4.1	Ammoniumjahresfrachten an den Freilandmessstellen	S. 14
3.4.2	Ammoniumjahresfrachten an den Traufenmessstellen	S. 14
3.4.3	Versauerungspotential des Ammoniums an Freiland- und Traufenmessstellen	S. 16
3.5	Stickstoffjahresfrachten 2004 im Regenwasser	S. 17
3.5.1	Stickstoffjahresfrachten an den Freilandmessstellen	S. 17
3.5.2	Stickstoffjahresfrachten an den Traufenmessstellen	S. 19
3.6	Frachten-Verhältnis Ammonium-N/Nitrat-N 2004 im Regenwasser	S. 20
3.6.1	Frachten-Verhältnis Ammonium-N/Nitrat-N an den Freilandmessstellen	S. 20
3.6.2	Frachten-Verhältnis Ammonium-N/Nitrat-N an den Traufenmessstellen	S. 20
4	Zusammenfassung	S. 23
5	Literatur	S. 24
6	Anhang	S. 24

1. Einleitung

Seit Ende der 70 Jahre ist bekannt, dass saurer Regen ein ernst zunehmendes Problem darstellt. Die Folgen sind großflächiges Waldsterben und eine Versauerung der Gewässer.

Saurer Regen ist Niederschlag, der durch Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Ammoniak und andere chemische Verbindungen verunreinigt ist. Schwefeldioxid, Stickstoffoxide und weitere säurebildende Gase entstehen bei Verbrennungsprozessen. Die freigesetzten Nichtmetalloxide oxidieren in der feuchten Atmosphäre mit Wasserdampf zu Schwefelsäure und Salpetersäure. Diese Stoffe liegen gelöst in der Luft vor, so dass sie mit dem Niederschlag abregnen.

Für den Säureeintrag spielt neben dieser Nassdeposition die Trockendeposition eine vergleichbare Rolle. Dabei werden Säurebildner als Gase und Partikel in Ökosysteme eingetragen.

Darüber hinaus tragen Ammoniakemissionen in die Luft zur Versauerung der Böden bei.

Ammoniakemissionen entstehen fast ausschließlich in der Tierhaltung.

In den Landkreisen Cloppenburg und Vechta innerhalb des Dienstbezirkes des NLWKN - Betriebsstelle Cloppenburg - wird intensive Landwirtschaft betrieben. Bedingt durch Schweine- und Geflügelhaltung fallen große Mengen an stickstoffhaltiger Gülle an.

Das Regenwasser in Niedersachsen wird im Rahmen eines Depositionsmessnetzes monatlich auf Säurebildner und Nährstoffe untersucht.

Im Dienstbezirk des NLWKN - Betriebsstelle Cloppenburg - werden 10 Regenwassermessstellen betrieben.

Die Belastungssituation des Regenwassers mit Chlorid, Sulfat, Nitrat, Ammonium und Gesamtstickstoff wird anhand von Jahresfrachten für das Jahr 2004 dargestellt und im niedersächsischen Vergleich bewertet.

2. Messstellen

Die Niederschlagsbeschaffenheit wird im Rahmen des Depositionsmessnetzes Niedersachsen vom NLWKN untersucht^{1,2}. Der Niederschlag wird in Sammelgefäßen an Freiland- und Traufenstandorten erfasst. Der Sammelzeitraum beträgt 2 Wochen. Jeweils 2 Wasserproben werden zu einer Monatsmischprobe vereinigt und analysiert².

Die Niederschlagssammler sind als permanent offene „Topf bzw. Trichter-Flasche-Sammler“ zu beschreiben.

Es wird hauptsächlich nasser Niederschlag erfasst, also die im Regenwasser gelösten Stoffe (Nassdeposition). Darüber hinaus gelangt ein geringer Anteil an Gasen und Aerosolen in das Sammelsystem (Trockendeposition).

Anders als die Freilandmessstellen, die hauptsächlich auf Waldlichtungen aufgestellt werden, befinden sich die Traufenstandorte im Wald direkt unter den Bäumen. Die Inhaltsstoffe der Luft und des Niederschlages werden an den Nadeln und Blättern der Bäume adsorbiert und mit der Zeit akkumuliert. Bei einem Regenereignis gelangen die angesammelten Stoffe zusätzlich zu den Inhaltsstoffen des Niederschlages in die Wasserprobe einer Traufenmessstelle. Dadurch werden im Niederschlag einer Traufenmessstelle lokale Effekte erfasst, während der Freilandniederschlag (bedingt durch eine weiträumige Durchmischung des Niederschlages durch den Wind) durch regionale Effekte charakterisiert wird.

In Niedersachsen werden zurzeit vom NLWKN 55 Freiland- und 6 Traufenmessstellen betreut.²

20 der 55 Freilandmessstellen werden im Rahmen des Programms Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) betrieben². Die Standorte dieser BDF-Messstellen sind Bodendauerbeobachtungsflächen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen. Im Gegensatz zu den anderen Freilandmessstellen stehen sie aufgrund der Ausbringung von Stickstoffdünger (z. B. Gülle) auf den Feldern in unmittelbarer Nähe einer Stickstoff-Emissionsquelle.

Vom NLWKN - Betriebsstelle Cloppenburg - werden 7 Freiland- und 3 Traufenmessstellen betreut, s. Tab 1 und 2.

6 der 10 Messstellen liegen im Landkreis Osnabrück. Die Standorte Dörenberg I und Dörenberg II nahe Osnabrück im Teutoburger Wald weisen die höchsten Geländehöhen auf.

Bei den Freilandstandorten Markhausen, Dinklage, Goldenstedt sowie bei der Traufenmessstelle Goldenstedt liegen 2 Besonderheiten vor:

- Die Messstellen befinden sich in den Landkreisen Cloppenburg und Vechta. Hier wird intensive Landwirtschaft (Schweine- und Geflügelmast) betrieben.
- Darüber hinaus haben sie eine direkte emittentennahen Lage: Markhausen und Dinklage sind BDF-Messstellen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen. Die Messstellen in Goldenstedt liegen ca. 500 m von Geflügelmastställen entfernt.

Tab. 1: Standorte der Regenwassermessstellen 2004

Messstellennummer	Messstellenbezeichnung	TK25	Rechtswert	Hochwert	Landkreis
005	Dörenberg I (Kuppenlage)	3814	3434240	5783280	Osnabrück
057	Dörenberg II (Traufe Nord)	3814	3435450	5782825	Osnabrück
014	Kreuzberg	3312	3412725	5833613	Osnabrück
054	Buer-Ostenwalde, Moseler Berg	3716	3455470	5791019	Osnabrück
055	Buer-Ostenwalde, Moseler Berg	3716	3455500	5791600	Osnabrück
013	Trillenberg	3413	3421300	5819300	Osnabrück
061	Goldenstedt	3216	3464588	5845430	Vechta
062	Goldenstedt	3216	3464588	5845363	Vechta
032	Markhausen	3013	3424300	5869750	Cloppenburg
033	Dinklage	3314	3439845	5839291	Vechta

Tab. 2: Standortbeschreibung der Regenwassermessstellen 2004

Messstellennummer	Messstellenbezeichnung	Messstellenart	Geländehöhe [m NN]	Geländebeschreibung
005	Dörenberg I (Kuppenlage)	Freiland	290	Kammlage
057	Dörenberg II (Traufe Nord)	Traufe	330	Nordhang
014	Kreuzberg	Freiland	70	Nord-West-Hang
054	Buer-Ostenwalde, Moseler Berg	Freiland	210	Nord-Ost-Hang
055	Buer-Ostenwalde, Moseler Berg	Traufe	204	Nord-Ost-Hang
013	Trillenberg	Freiland	70	Nord-West-Hang
061	Goldenstedt	Freiland	30	Ebene
062	Goldenstedt	Traufe	30	Ebene
032	Markhausen	Freiland (BDF)	19	Ebene
033	Dinklage	Freiland (BDF)	25	Ebene

3. Niederschlagsbeschaffenheit 2004

Aus dem Parameterumfang des Depositionsmessnetzes Niedersachsen^{1,2} wurden die Verbindungen Sulfat, Chlorid, Ammonium und Nitrat ausgewählt, um Säurebildner und Nährstoffe des Regenwassers zu erfassen. Aus der Summe von Ammonium- und Nitratwerten wurde der Gesamtstickstoffgehalt berechnet. (Organische Stickstoffverbindungen und Nitrit sind hier zu vernachlässigen.) Außerdem wurde das Verhältnis von Ammonium und Nitrat als Quotient ermittelt, um die Stickstoffbelastung des Regenwassers, die durch die intensive Tierhaltung verursacht wird, zu charakterisieren^{3,4}.

Die Belastungssituation des Regenwassers wurde anhand von Jahresfrachten dargestellt. Jahresfrachten werden in Kilogramm (kg) pro Hektar (ha) und Jahr (a) angegeben, um eine Vergleichbarkeit mit landwirtschaftlichen Betrachtungen zu gewährleisten. Jahresfrachten werden aus der Summe der Monatsfrachten ermittelt. Die Monatsfracht eines Parameters erhält man aus dem Produkt der Parameterkonzentration und der erfassten Niederschlagsmenge in diesem Monat¹.

In Tabelle 3 im Anhang sind Niederschlagsmengen und Jahresfrachten 2004 der 7 Freilandmessstellen im Dienstbezirk des NLWKN - Betriebsstelle Cloppenburg - dargestellt.

Weil es zur Charakterisierung von Regenwasserinhaltsstoffen kein einheitliches absolutes Klassifizierungsschema (wie etwa die Güteklassen im Bereich der Oberflächengewässer) gibt, wurde eine relative Klassifizierung innerhalb Niedersachsens vorgenommen. Dazu wurden Perzentile auf der Datengrundlage von 110 Messwerten (Jahresfrachten von 2003 und 2004 der 55 niedersächsischen Freilandmessstellen) herangezogen⁵.

Ein Perzentil teilt eine Zahlenreihe in Teile und ist von Extremwerten weniger beeinflusst als andere statistische Kenngrößen (z. B. Mittelwert). Das 90-Perzentil ist z. B. derjenige Wert, der in 90 % aller Fälle unterschritten wird. Das 50-Perzentil wird entsprechend in 50 % aller Fälle unterschritten und liegt damit in der Mitte der Zahlenreihe (Median).

Mit Hilfe der Perzentile als Klassifizierungsgrenzen wurde eine Einordnung der Werte der 7 Freilandstandorte innerhalb Niedersachsens vorgenommen. Die Farbsymbole blau, grün, gelb, orange oder rot zeigen an, ob die Kenngrößen im unteren (< 50 Perzentil), im leicht erhöhten (>=50 – 75 Perzentil), im erhöhten (>= 75 – 90 Perzentil), im hohen (>= 90 – 95 Perzentil) oder im sehr hohen Bereich (>= 95-Perzentil) liegen.

Auf eine weitere Unterteilung des unteren Bereiches (< 50 Perzentil) z. B. mit Hilfe des 25-Perzentils wurde verzichtet, weil keine Jahresfracht in diese Kategorie gefallen wäre.

Dieses Klassifizierungsschema wird auch im folgenden Text für Kartendarstellungen der Jahresfrachten verwendet. Die Klassifizierungsstufen in den Karten beginnen mit dem Minimum und enden mit dem Maximum der niedersächsischen Jahresfrachten.

Unabhängig von dem Klassifizierungsschema findet in Form von Diagrammen ein Vergleich mit früheren Werten und niedersächsischen Mittelwerten statt.

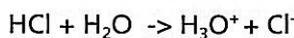
In Tab. 4 im Anhang sind Niederschlagsmengen und Jahresfrachten 2004 der 3 Traufenmessstellen dargestellt. Eine Einordnung innerhalb Niedersachsens war aufgrund der geringen Datenlage (von insgesamt 6 niedersächsischen Traufenstandorten) nicht sinnvoll.

Im weiteren Textverlauf findet in Form von Diagrammen ein Vergleich mit früheren Werten und den Werten der benachbarten Freilandstandorte statt.

Um die saure Wirkung des Regenwassers bei Freiland- und Traufenstandorten darzustellen, sind in den Tab. 5 und 6 im Anhang pH-Jahresmittelwerte und Wasserstoffionenjahresfrachten aufgeführt. Im Vergleich mit der eigentlichen Säurebelastung des Regenwassers, wird die potentiell bodenversauernde Wirkung von Ammonium quantifiziert, s. Kap. 3.4.

3.1 Chloridjahresfrachten 2004 im Regenwasser

Bei der Verbrennung von PVC, das in den vergangenen Jahrzehnten in großen Mengen zur Herstellung von Fenstern, Fußböden und vielen anderen Gegenständen verwendet wurde, entsteht Chlorwasserstoff (HCl). HCl ist gasförmig und bildet mit dem Niederschlagswasser Salzsäure.



Chloridgehalte im Regenwasser können außer aus industriellen Quellen in küstennahen Regionen über Sea-Spray, d. h. über den Eintrag meerwasserhaltige Aerosole in höheren Konzentrationen vorkommen.

3.1.1 Chloridjahresfrachten an den Freilandmessstellen

Die Chloridjahresfrachten des Regenwassers 2004 an den 7 Freilandmessstellen liegen zwischen 11,6 und 20,2 kg/ha*a und damit überwiegend im leicht erhöhten Bereich innerhalb Niedersachsens, s. Tab. 3 und Abb. 1.

Die höchste Jahresfracht im Dienstbezirk tritt bei der nördlichsten Messstelle Markhausen auf. Sie wird wahrscheinlich durch einen Chlorid-Eintrag über Sea-Spray bedingt.

Die räumliche Heterogenität der Standorte, die sich hier nur andeutet, wird bei der Betrachtung der Extremwerte von ganz Niedersachsen bestätigt: Die maximale Chloridfracht von 138,8 kg/ha *a wurde im nördlichen und der Minimalwert von 4,6 kg/ha *a im südlichen Niedersachsen gefunden⁵. Im Vergleich zu den anderen Parametern gibt es nur bei Chlorid diese große Spannweite zwischen den Extremwerten. In solchen Fällen ist für einen Wertevergleich der Median aussagekräftiger als der Mittelwert, s. Abb. 2.

Die Frachten aller 7 Freilandstandorte liegen bis auf Markhausen deutlich unterhalb des Mittelwertes (19,3 kg/ha*a), aber bis auf Buer oberhalb des Medianwertes (12,3 kg/ha*a)⁵. Im Vergleich zu den vergangenen Jahren ist von einer Stagnation auszugehen.

3.1.2 Chloridjahresfrachten an den Traufenmessstellen

An den Traufenmessstellen Dörenberg, Buer-Ostenwalde und Goldenstedt liegen 2004 höhere Chloridfrachten als an den benachbarten Freilandmessstellen vor, s. Tab. 4 und Abb. 3.

Im Mittel wurden 3-fach höhere Werte gefunden. Die höchsten Werte kommen bei den Traufenmessstellen Dörenberg (057) und Goldenstedt (062) mit 59 und 45,8 kg/ha *a vor.

Die hohen Jahresfrachten der Traufenstandorte im Vergleich zum Freiland werden durch die unterschiedlichen Sammelbedingungen verursacht, s. Kap. 2. Durch die Erfassung der Kronentraufe liegen in den Wasserproben von Traufenmessstellen höhere Konzentrationen der Regenwasserinhaltsstoffe vor. Die höheren Konzentrationen der Wasserproben bedingen trotz geringerer Niederschlagsmengen unter den Bäumen (s. Tab. 3 und 4) höhere Jahresfrachten als im Freiland.

Die Niederschlagsmengen der Traufenstandorte Buer-Ostenwalde und Dörenberg liegen mit einem prozentualen Anteil von 85 % und 80 % in einem vergleichbaren Bereich mit den benachbarten Freilandmessstellen. Anders ist es bei der Traufenmessstelle Goldenstedt. Hier wird mit einer Niederschlagsmenge von 38 % im Vergleich zum Freiland ein deutlicher Unterschied sichtbar.

Abb. 1: Chloridjahresfrachten 2004



Gewässerüberwachungssystem
Niedersachsen
Gütemessnetz Deposition

Beschaffenheit des Regenwassers
an Freilandmessstellen
des regionalen Gewässerkundlichen
Landesdienstes im Dienst-
bezirk der Betriebsstelle
Cloppenburg



10

Kilometer

Chloridjahresfrachten
[kg/ha * a]

- 4,6 - 12,2
- 12,3 - 21,9
- 22,0 - 39,2
- 39,3 - 57,4
- 57,5 - 138,8

Untere Werte der Klassengrenzen
(12,3; 22; 39,3; 27,5) entsprechen
den 50-; 75-; 90-; 95-Perzentilen
niedersächsischer Niederschlags-
daten von 2003/2004

Kleinsten (4,6) und größter Wert
(138,8) entsprechen dem Minimum
und Maximum in Niedersachsen.

Dienstbezirk

Herausgeber:
Niedersächsischer Landesbetrieb
für Wasserwirtschaft, Küsten-
und Naturschutz
- Betriebsstelle Cloppenburg -

Kartengrundlage:
ATKIS ÜK500
Landesvermessung und Geobasis-
informationen Niedersachsen
(LGN)
Die Kartengrundlage ist gesetz-
lich geschützt. Vervielfältigung
mit Erlaubnis des Herausgebers.

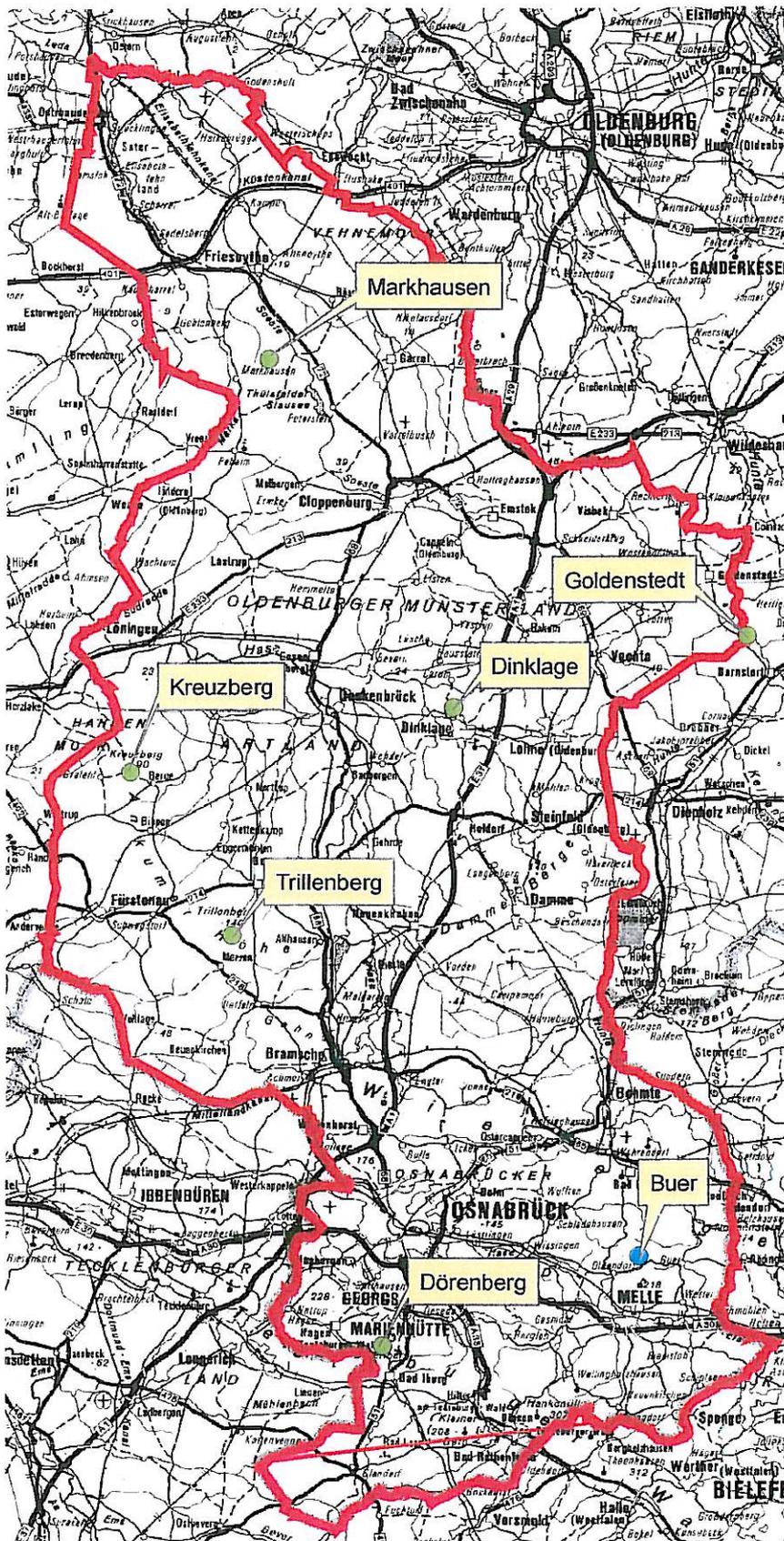
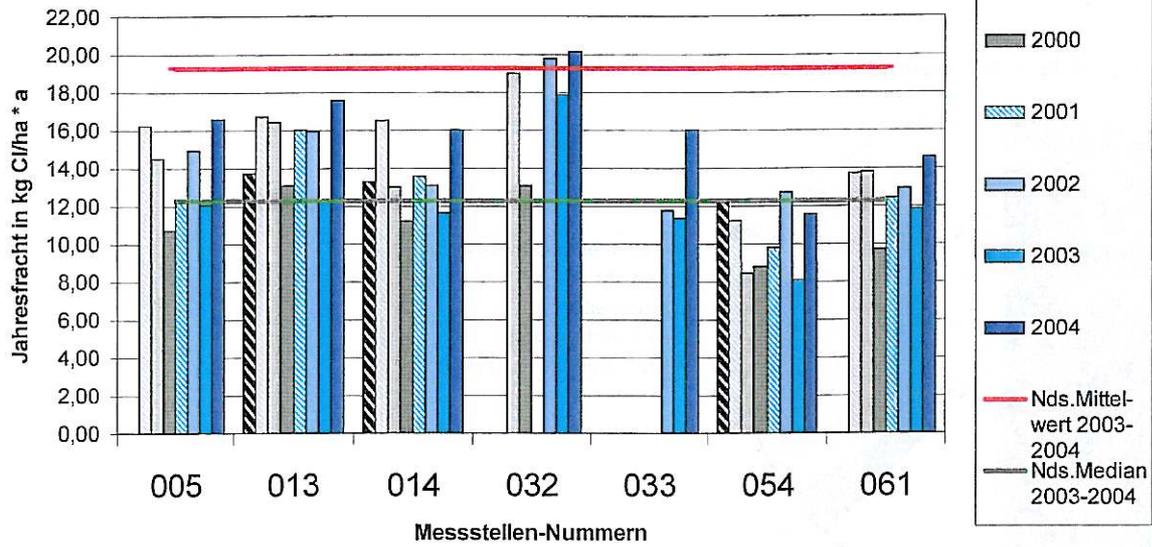
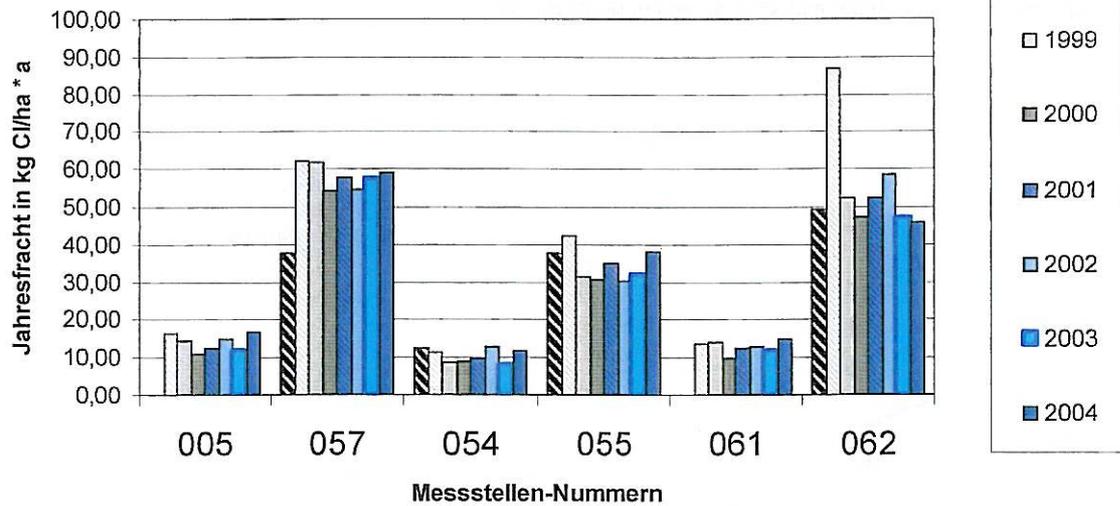


Abb. 2: Chloridjahresfrachten bei 7 Freilandregenwassermessstellen im Dienstbezirk des NLWKN - Betriebsstelle Cloppenburg -



005:Dörenberg; 013:Trillenberg; 014:Kreuzberg; 032:Markhausen; 033:Dinklage; 054:Buer-Ostenwalde; 061: Goldenstedt

Abb. 3 : Chloridjahresfrachten bei 3 Freiland- und 3 Traufenregenwassermessstellen



005:Dörenberg; 057:Dörenberg Traufe; 054:Buer; 055 BuerTraufe; 061: Goldenstedt 062 Goldenstedt Traufe

3.2 Sulfatjahresfrachten 2004 im Regenwasser

Schwefeldioxid SO_2 und weitere säurebildende Gase entstehen hauptsächlich bei Verbrennungsprozessen

der Energieindustrie (Kraft- und Fernheizwerke)⁶, s. Abb. 4. Bedingt durch technische Maßnahmen zur Luftreinhaltung (Entschwefelungs-Anlagen) ist die Entwicklung der Schwefelemissionen in der Bundesrepublik Deutschland stark rückläufig⁶, s. Abb.5.

Abb.4: Emittentengruppen für Schwefeldioxid-Emissionen in Deutschland 2001⁶

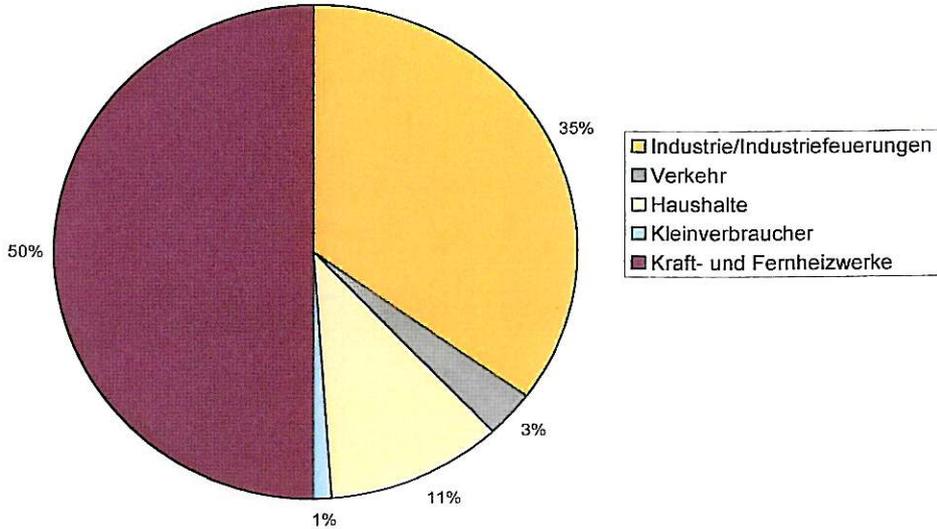
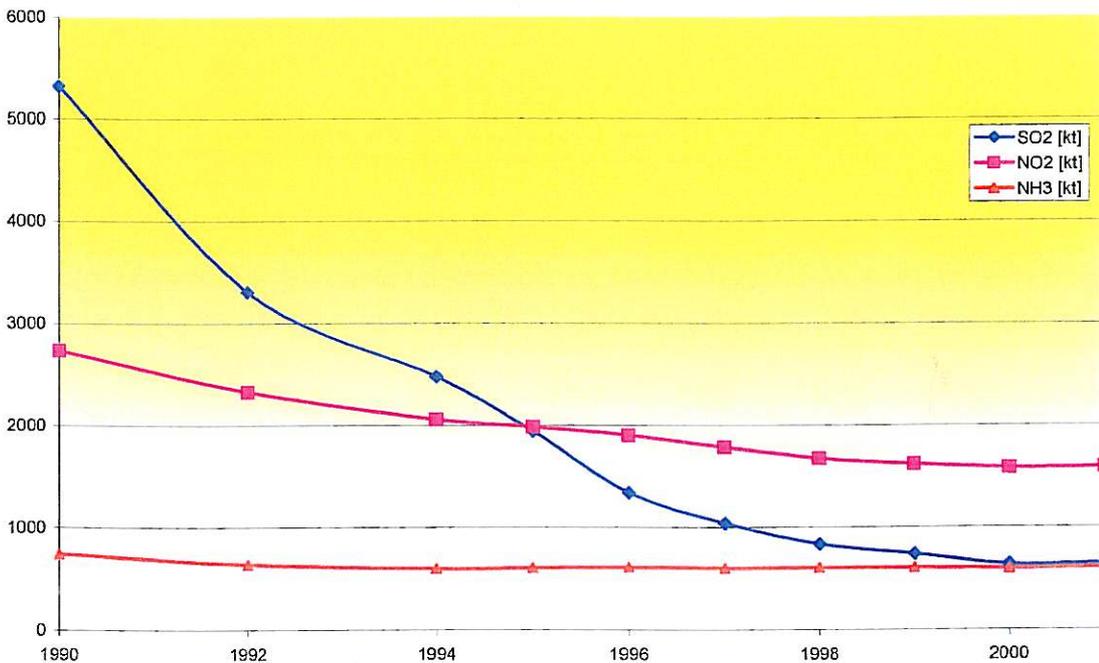
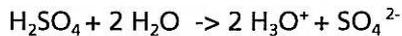
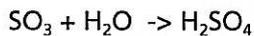
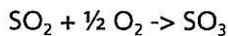


Abb.5: Schwefeldioxid-, Stickstoffoxid- und Ammoniak-Emissionen in Deutschland⁶



Schwefeldioxid wird in der feuchten Atmosphäre mit Wasserdampf zu Schwefelsäure oxidiert. Die Stoffe liegen dann gelöst in der Luft vor und regnen mit dem Niederschlag ab. Neben der Nassdeposition erfolgt ein Direkteintrag des Gases als Trockendeposition.



Relativ hohe Sulfatbelastungen sind bedingt durch die SO_2 -Emission an industrienahen Standorten zu erwarten. Sie können aber auch in entfernteren Höhenlagen zu finden sein. Durch Ferntransport können die Schadstoffe herangetragen und mit dem Steigungsregen aus der Atmosphäre ausgewaschen werden.

3.2.1 Sulfatjahresfrachten an den Freilandmessstellen

Die Sulfatfrachten des Regenwassers an den Freilandmessstellen liegen zwischen 16,4 und 25,0 kg/ha*a, s. Tab. 3 und Abb. 6.

Bei der Messstelle Dörenberg, die sich in regenreicher Höhenlage bei Osnabrück befindet (s. Tab. 2, 3), kommt die höchste Belastung mit 25 kg/ha*a innerhalb des Dienstbezirkes des NLWKN - Betriebsstelle Cloppenburg - vor. Im niedersächsischen Vergleich ist

der Wert als hoch einzustufen, weil er oberhalb des 90-Perzentils (24 kg/ha *a)⁵ liegt.

Bei den beiden anderen Messstellen in Höhenlage Buer-Ostenwalde und Trillenberg ergibt sich ein unterschiedliches Bild. Bei Trillenberg liegt analog zu Dörenberg bedingt durch relativ hohe Niederschlagsmengen eine erhöhte Sulfatfracht vor. Bei Buer ergibt sich dagegen bedingt durch relativ niedrige Niederschlagsmengen nur eine leicht erhöhte Jahresfracht, wie sie auch bei den anderen Messstellen vorkommt.

In den vergangenen Jahren ist die Sulfatbelastung des Regenwassers leicht rückläufig, s. Abb. 7.

Der niedersächsische Mittelwert lag 1997 -1999⁷ mit 22,3 kg /ha*a ebenfalls höher als der Mittelwert von 2003-2004 (16,7 kg /ha*a)⁵.

Damit wird die abnehmende Tendenz der Schwefeldioxid-Emission (s. Abb. 5) widergespiegelt.

3.2.2 Sulfatjahresfrachten an den Traufenmessstellen

An den Traufenmessstellen liegen analog zum Chlorid höhere Sulfatfrachten als an den Freilandmessstellen vor, s. Abb. 8. 2004 wurden im Mittel 4-fach höhere Werte als an den benachbarten Freilandstandorten gefunden. Der höchste Wert liegt bei der Traufenmessstelle Dörenberg 057 mit 118 kg/ha *a vor. Analog zu den Freilandmessstellen zeigt sich im Vergleich mit den vergangenen Jahren eine fallende Tendenz.

Abb. 6: Sulfatjahresfrachten 2004



Gewässerüberwachungssystem
Niedersachsen
Gütemessnetz Deposition

Beschaffenheit des Regenwassers
an Freilandmessstellen
des regionalen Gewässerkund-
lichen Landesdienstes im Dienst-
bezirk der Betriebsstelle
Cloppenburg



10

Kilometer

Sulfatjahresfrachten
[kg/ha * a]

- 6,4 - 16,5
- 16,5 - 19,5
- 19,6 - 23,9
- 24,0 - 26,5
- 26,6 - 30,2

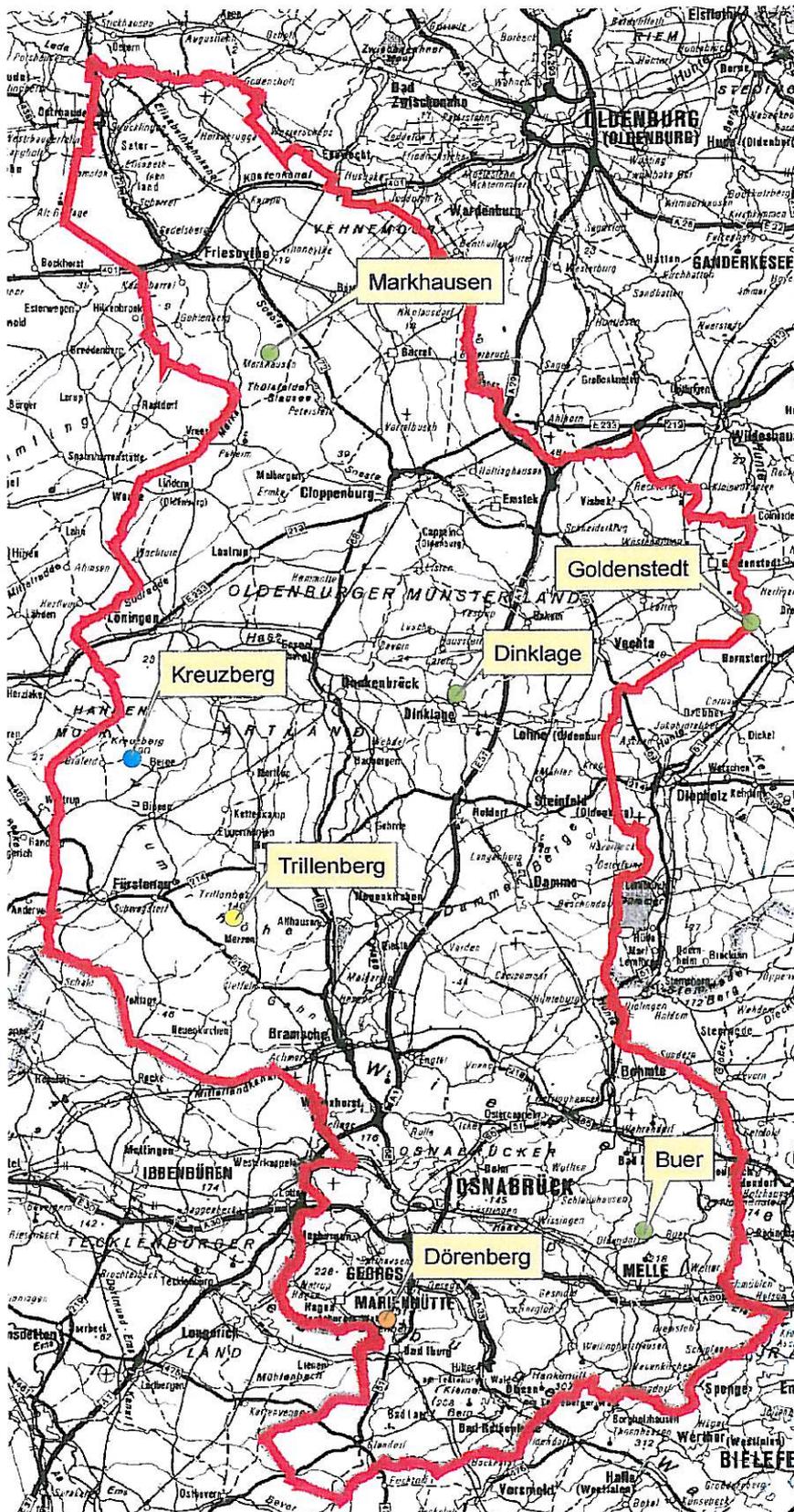
Untere Werte der Klassengrenzen
(16,5; 19,6; 24; 26,6) entsprechen
50-; 75-; 90- und 95-Perzentilen
niedersächsischer Niederschlags-
daten von 2003/2004

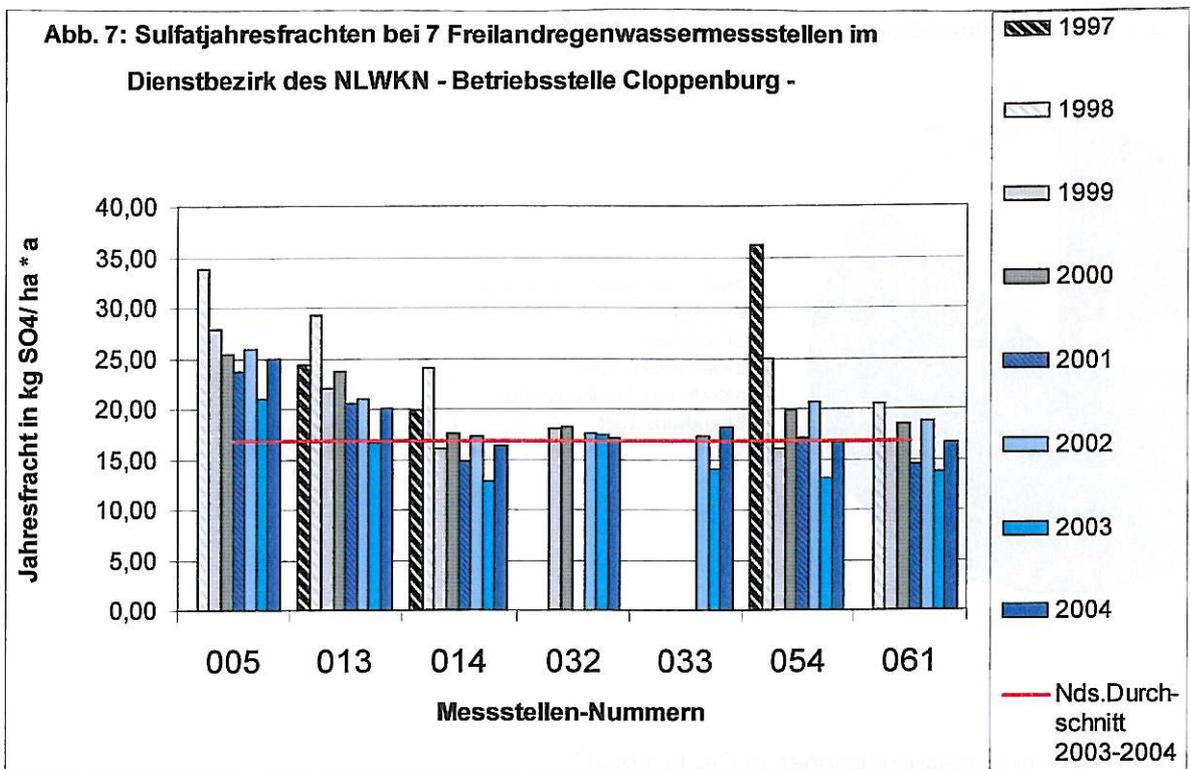
Kleinster Wert (6,4) und größter
Wert (30,2) entsprechen dem
Minimum und Maximum in
Niedersachsen.

Dienstbezirk

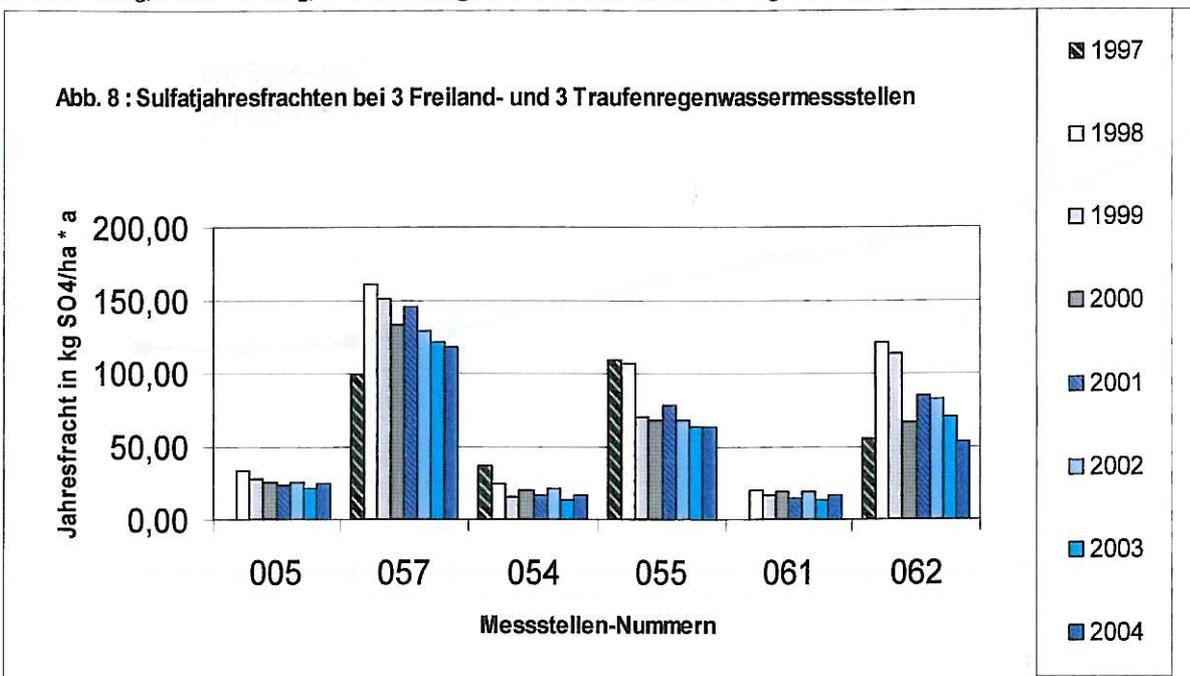
Herausgeber:
Niedersächsischer Landesbetrieb
für Wasserwirtschaft, Küsten-
und Naturschutz
- Betriebsstelle Cloppenburg -

Kartengrundlage:
ATKIS UK500
Landesvermessung und Geobasis-
informationen Niedersachsen
(LGN)
Die Kartengrundlage ist gesetz-
lich geschützt. Vervielfältigung
mit Erlaubnis des Herausgebers.





005:Dörenberg; 013:Trillenberg; 014:Kreuzberg; 032:Markhausen; 033:Dinklage; 054:Buer-Ostenwalde; 061: Goldenstedt



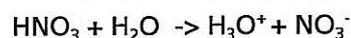
005:Dörenberg; 057:Dörenberg Traufe; 054:Buer; 055 Buer Traufe; 061: Goldenstedt 062: Goldenstedt Traufe

3.3 Nitratjahresfrachten 2004 im Regenwasser

Nitrat im Regenwasser stammt aus der Reaktion des Regenwassers mit Stickstoffoxiden. Stickstoffoxide (NO_x) entstehen vorwiegend bei Verbrennungsprozessen in Kraftwerken, Gebäudeheizungen und Kraftfahrzeugen aus dem Sauerstoff und dem Stickstoff der Luft. Der Straßenverkehr macht dabei über 60 % der NO_x-Emissionen aus⁶, s. Abb. 9.

Bei der Verbrennung entsteht zunächst vorwiegend Stickstoffmonoxid (NO), das in der Atmosphäre schnell zu Stickstoffdioxid (NO₂) oxidiert wird. NO₂ wird in

der feuchten Atmosphäre mit Wasserdampf zu Salpetersäure oxidiert. Die Säure liegt dann gelöst in der Luft vor und regnet mit dem Niederschlag ab (Nassdeposition).



Im Gegensatz zu der stark rückläufigen Entwicklung der Schwefelemission ist für die Stickstoffoxideinträge in Deutschland nur ein leichter Rückgang feststellbar⁶, s. Abb. 5 und 10.

Abb.9: Emittentengruppen für Stickstoffoxid-Emissionen in Deutschland 2001⁶

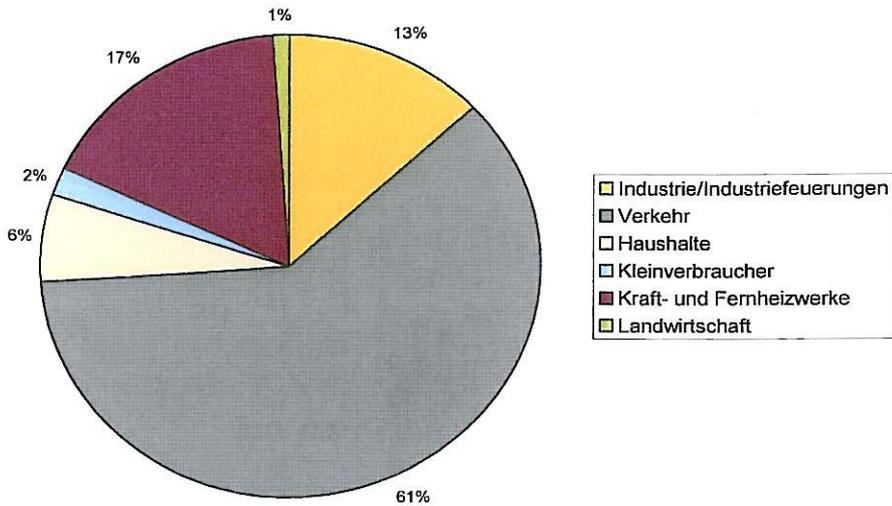
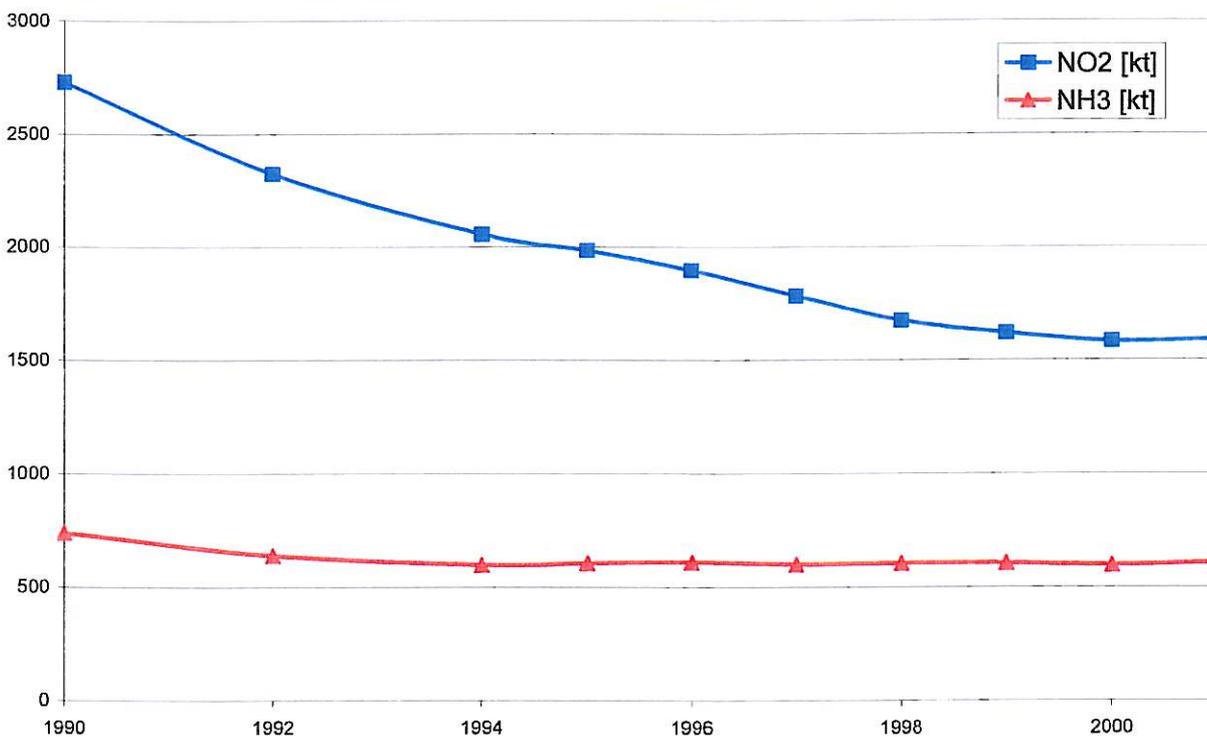


Abb.10: Stickstoffoxid- und Ammoniak-Emissionen in Deutschland⁶



3.3.1 Nitratjahresfrachten an den Freilandmessstellen

Die Nitratfrachten des Regenwassers 2004 an den Freilandmessstellen der Betriebsstelle Cloppenburg liegen zwischen 3,9 und 6,1 kg N/ha *a, s. Tab. 3, Abb. 11. Analog zu den Sulfatfrachten wurden die höchsten Werte innerhalb des Dienstbezirkes bei den regenreichen Messstellen in Höhenlagen, Dörenberg (6,1 kg N/ha*a) und Trillenberg (4,8 kg N/ha*a) gefunden. Im niedersächsischen Vergleich liegen die Werte sehr hoch bzw. erhöht, vgl. rote und gelbe Kennzeichnungen in Tab. 3 und Abb. 11. Bei beiden Messstellen

wird der niedersächsische Mittelwert 2003/2004 von 4,2 kg N/ha *a überschritten⁵, s. Abb. 12. Die Frachten der anderen Messstellen liegen dagegen knapp unterhalb des Mittelwertes, im Bereich des Medianwertes (4 kg N/ha*a). In den vergangenen Jahren ist eine Stagnation oder eine leicht rückläufige Nitratbelastung des Regenwassers zu verzeichnen. Der niedersächsische Mittelwert lag 1997 -1999⁷ mit 5 kg N/ha*a höher als der Mittelwert von 2003-2004 (4,2 kg N/ha*a)⁵. Damit wird die leicht abnehmende Tendenz der Stickstoffoxid-Emission (Abb. 10) widerspiegelt.

Abb. 11: Nitratjahresfrachten 2004



Gewässerüberwachungssystem
Niedersachsen
Gütemessnetz Deposition

Beschaffenheit des Regenwassers an
Freilandmessstellen
des regionalen Gewässerkundlichen
Landesdienstes im Dienst-
bezirk der Betriebsstelle
Cloppenburg



10

Kilometer

Nitratjahresfrachten
[kg N/ha * a]

- 2,8 - 3,9
- 4,0 - 4,5
- 4,6 - 5,3
- 5,4 - 5,9
- 6,0 - 7,6

Untere Werte der Klassengrenzen
(4;4,6;5,4;6) entsprechen
50-, 75-, 90- und 95-Perzentilen
niedersächsischer Niederschlags-
daten von 2003/2004.
Kleinster (2,8) und größter Wert
(7,6) entsprechen dem Minimum
und Maximum in Nieder-
sachsen.

Dienstbezirk

Herausgeber:
Niedersächsischer Landesbetrieb
für Wasserwirtschaft, Küsten-
und Naturschutz
- Betriebsstelle Cloppenburg -

Kartengrundlage:
ATKIS UK500
Landesvermessung und Geobasis-
informationen Niedersachsen
(LGN)
Die Kartengrundlage ist gesetz-
lich geschützt. Vervielfältigung
mit Erlaubnis des Herausgebers.

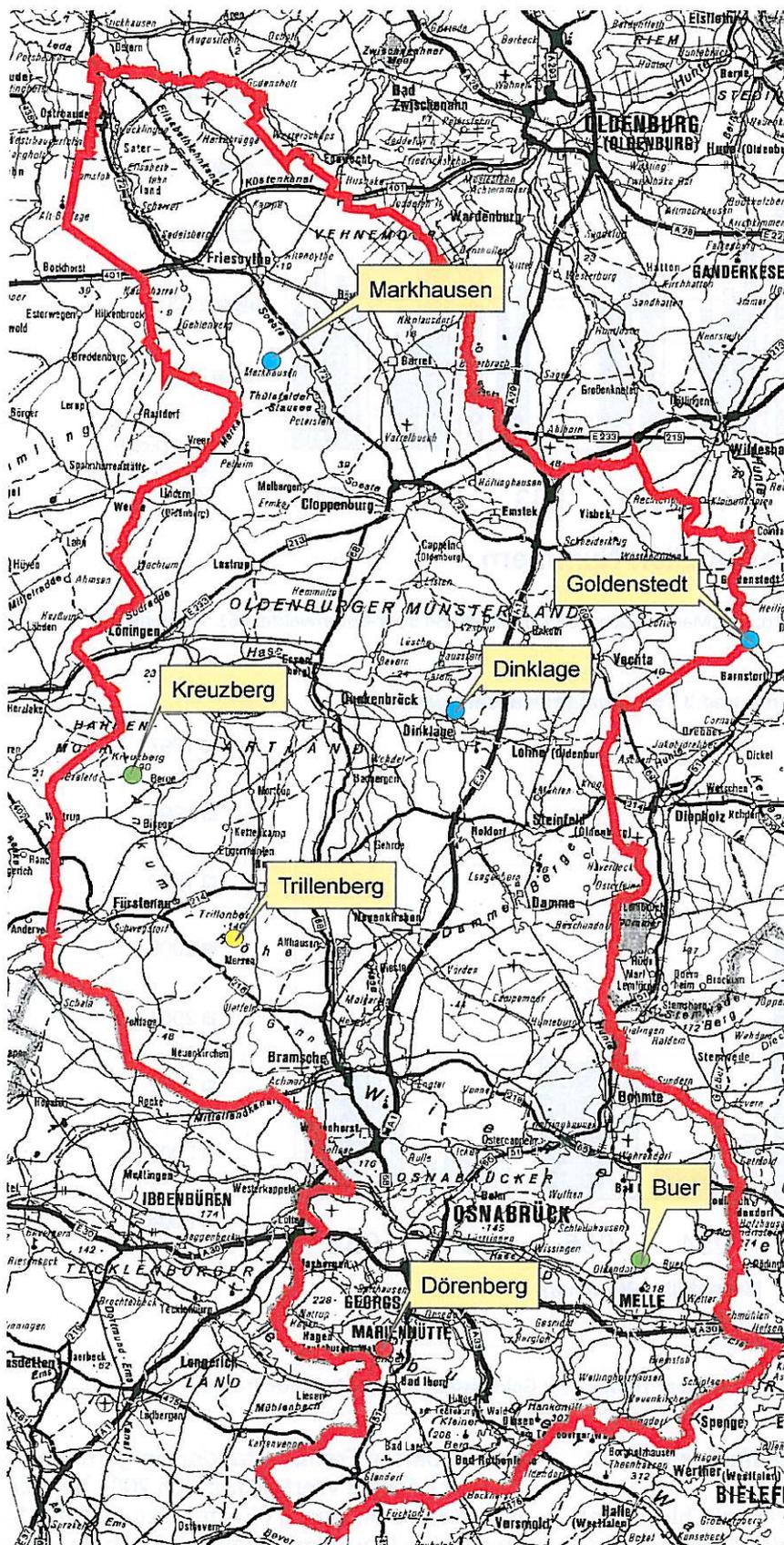
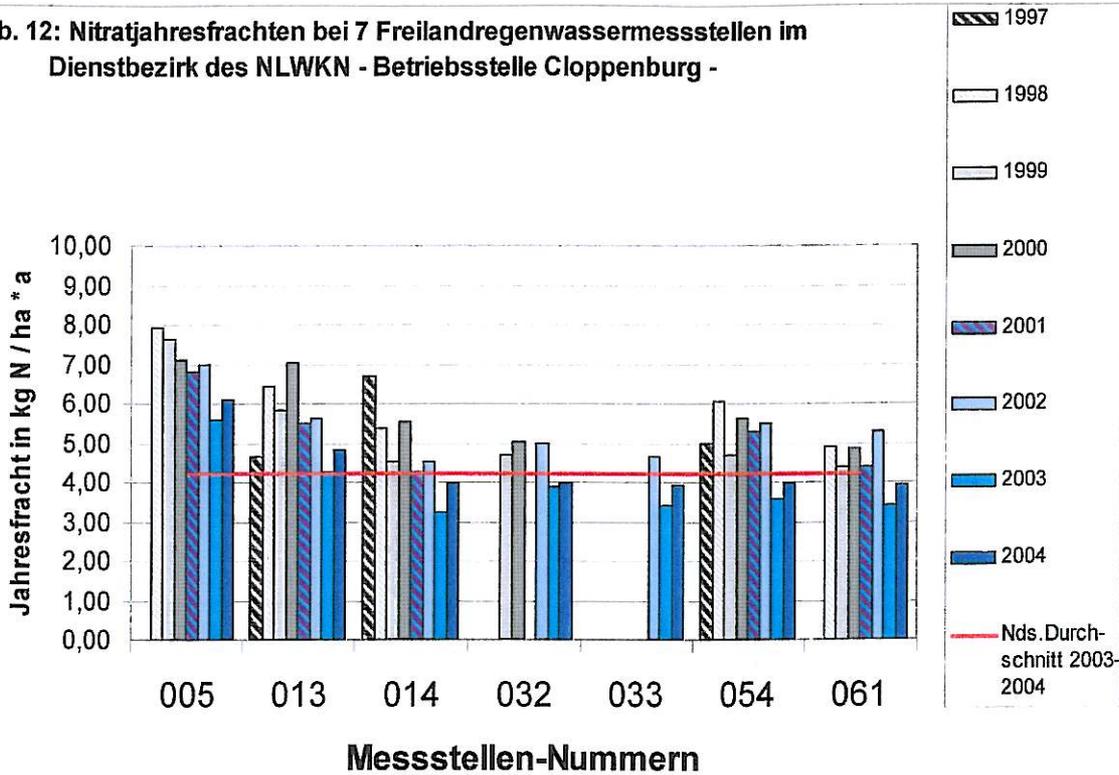
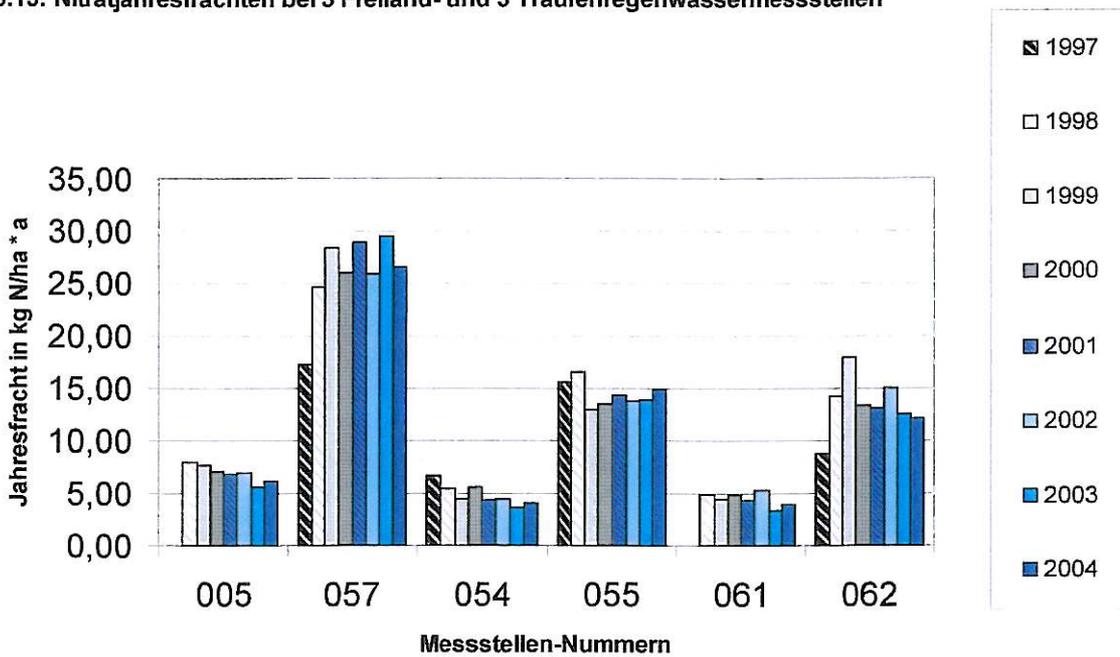


Abb. 12: Nitratjahresfrachten bei 7 Freilandregenwassermessstellen im Dienstbezirk des NLWKN - Betriebsstelle Cloppenburg -



005:Dörenberg; 013:Trillenberg; 014:Kreuzberg; 032:Markhausen; 033:Dinklage; 054:Buer-Ostenwalde; 061: Goldenstedt

Abb.13: Nitratjahresfrachten bei 3 Freiland- und 3 Traufenregenwassermessstellen



005:Dörenberg; 057:Dörenberg Traufe; 054:Buer; 055 Buer Traufe; 061: Goldenstedt 062 Goldenstedt Traufe

3.3.2 Nitratjahresfrachten an den Traufenmessstellen

An den Traufenmessstellen liegen wie bei Chlorid und Sulfat höhere Nitratfrachten als an den Freilandmessstellen vor, s. Tab 4 und 3. Im Mittel wurden an den Traufenmessstellen 3,5-fach höhere Werte als an den

benachbarten Freilandstandorten gefunden, s. Abb 13. Der höchste Wert ergibt sich 2004 bei der Traufenmessstelle Dörenberg 057 mit 26,6 kg N/ha *a. Analog zu den Freilandmessstellen zeigt sich im Vergleich mit den vergangenen Jahren eine Stagnation der Frachten.

3.4 Ammoniumjahresfrachten 2004 im Regenwasser

Ammonium im Regenwasser stammt von der Auswaschung von Ammoniak (NH₃) und Ammonium (NH₄⁺) aus der Luft.

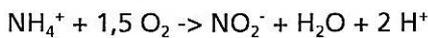
Im Gegensatz zu der rückläufigen Entwicklung der Schwefel- und Stickstoffoxidemission ist für die Ammoniakemissionen eher eine Stagnation feststellbar⁶, s. Abb. 10.

Ammoniakemissionen entstehen überwiegend in der Tierhaltung⁶ (s. Abb. 14).

Ammoniak wird im Stallbereich, bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdünger (z. B. Gülle) sowie bei der Weidewirtschaft freigesetzt. Aus dem Harnstoff der Tierfäkalien wird mikrobiell neben Kohlendioxid Ammonium gebildet, das teilweise als Ammoniak gasförmig entweicht.

Anders als bei der Reaktion des Regenwassers mit SO₂ oder NO_x (s. Kap. 3.2 und 3.3), ist die Säurewirkung von NH₃ bzw. NH₄⁺ im Regenwasser nicht am pH-Wert zu erkennen. Die versauernde Wirkung wird erst im Boden aufgrund von bodenchemischen Vorgängen induziert, s. Kap. 3.4.3.

Bei der Nährstoffaufnahme von Ammonium durch die Pflanzen werden pro Mol Ammonium 1 Mol Wasserstoffionen freigesetzt. Bei der Nitrifikation sind es pro Mol Ammonium 2 Mol Wasserstoffionen:



Das gebildete Nitrat wird in Grund- und Oberflächengewässern ausgewaschen oder zu Lachgas (N₂O) oder elementarem Stickstoff (N₂) denitrifiziert.

Die Ammoniakemissionen durch Tierhaltung ist innerhalb Deutschlands in den Landkreisen Cloppenburg und Vechta sehr stark ausgeprägt⁸. Während für ganz Deutschland die Rinderhaltung als NH₃-Verursacher eine große Rolle spielt, werden in diesen Landkreisen die NH₃-Emissionen durch Schweine- und Geflügel-

haltung verursacht⁸. Deutschlandweit liegen hier die höchsten Schweine- und Geflügelbestände vor. Um die Viehdichten in den Landkreisen darzustellen, wurden in Abb. 15 Dungeinheiten pro Hektar landwirtschaftliche Betriebsfläche (DE/ha LF) verwendet⁹. Eine Dungeinheit ist das Güllevolumen, das 80 kg Stickstoff enthält¹⁰. Der Berechnung einer Dungeinheit sind folgende während eines Jahres gehaltene Tierzahlen zugrunde gelegt:

Rinder (über 2 Jahre): 1,5;
 Schweine (über 20 kg): 7;
 Legehennen: 100;
 Masthähnchen: 300;
 Mastputen: 100.

Für 2003 wurden in den Landkreisen Cloppenburg und Vechta mit 2,6 und 3,7 DE/ha LF die höchsten Werte Niedersachsens ermittelt. In ganz Niedersachsen lagen dagegen nur 0,96 DE/ha LF vor⁹. Darüber hinaus ist im Zeitraum von 1991-2003 für die Landkreise Cloppenburg und Vechta ein leichter Anstieg der Viehdichten zu verzeichnen, während die Zahlen für ganz Niedersachsen konstant geblieben sind (s. lineare Trendlinien in Abb. 15).

Bedingt durch Ammoniakemissionen aus dieser Region und aus benachbarten Ländern, stellt die N-Belastung des Regenwassers im Dienstbezirk des NLWKN - Betriebsstelle Cloppenburg - innerhalb Niedersachsens einen deutlichen Stickstoff-Belastungsschwerpunkt dar^{3,11}.

Aus dem N-Eintrag aus Deposition und der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung (über Mineraldünger, organischen Dünger, leguminöse N-Bindung abzüglich Ernteabfuhr) ergeben sich aus Flächenbilanzierungen Stickstoffüberschüsse^{11,12}. In Grundwasserkörpern im Betrachtungsraum Mittlere Ems innerhalb des Dienstbezirkes der Betriebsstelle Cloppenburg liegen die N-Überschüsse zwischen 77 und 90 kg N/ha *a¹². Die Deposition wurde dabei mit einem N-Eintrag zwischen 15 – 30 kg N/ha *a (auf Freiflächen / Wald) berücksichtigt und lieferte damit einen viel kleineren Beitrag als die Düngeraufbringung¹²

Abb.14: Emittentengruppen für Ammoniak-Emissionen in Deutschland 2001⁶

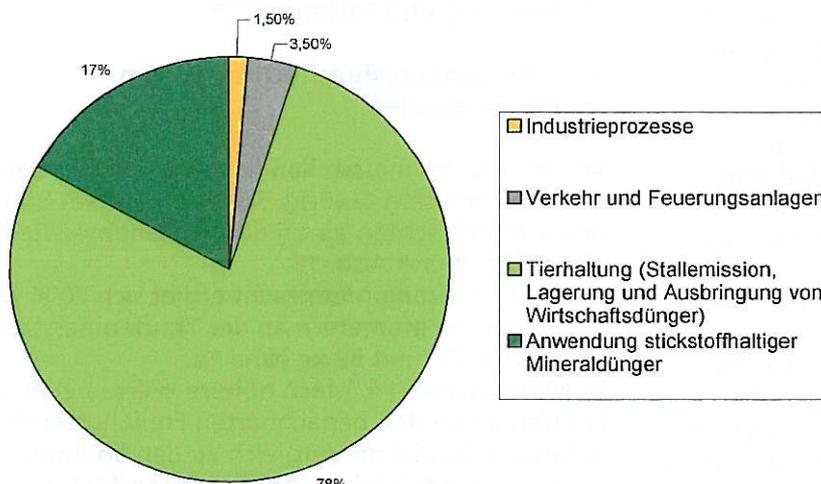
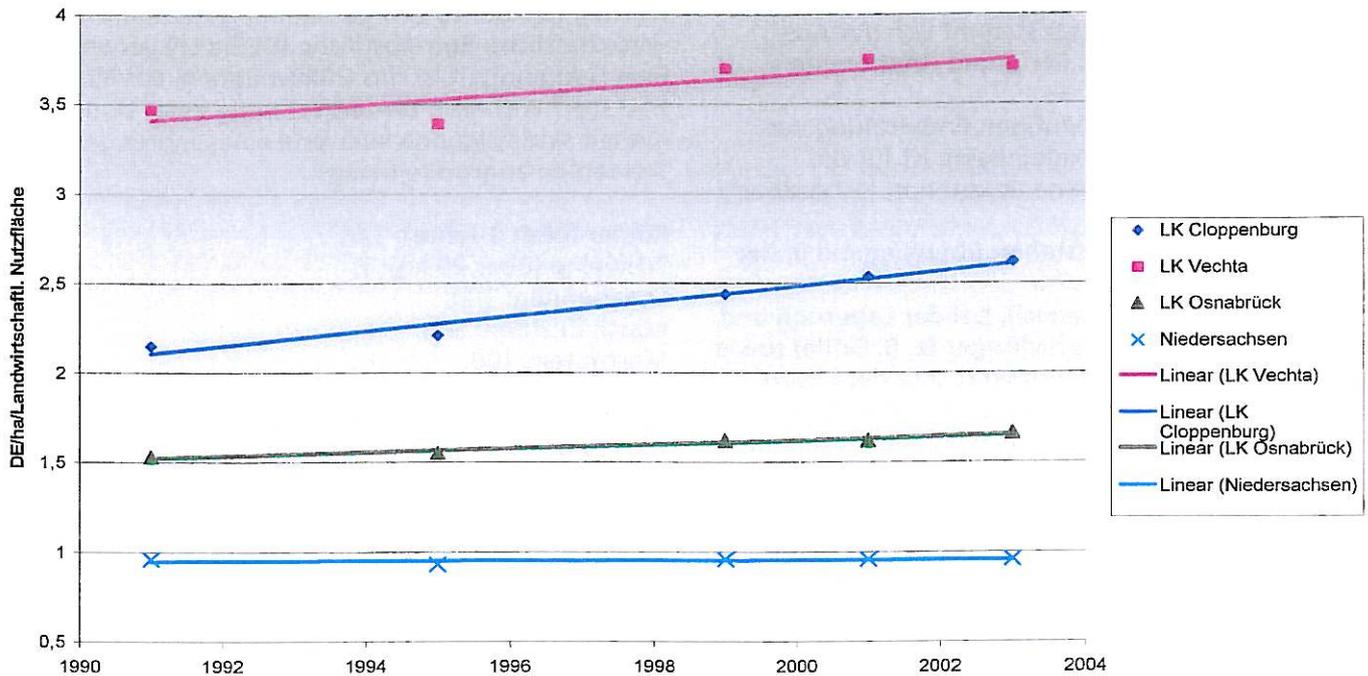


Abb.15: Dungeinheiten im Dienstbezirk des NLWKN - Betriebsstelle Cloppenburg - und Niedersachsen⁹



3.4.1 Ammoniumjahresfrachten an den Freilandmessstellen

Die Ammoniumfrachten des Regenwassers an den Freilandmessstellen liegen zwischen 7,2 und 10,5 kg N/ha*a, s. Tab 3 und Abb. 16.

Im Gegensatz zu den Chlorid-, Sulfat- und Nitratfrachten dominieren hier im niedersächsischen Vergleich erhöhte und sehr hohe Werte, vgl. gelbe und rote Markierungen. Außerdem wird der niedersächsische Mittelwert (6,4 kg N/ha*a) von allen 7 Messstellen überschritten, s. Tab 3, Abb. 17. Die auffällig hohen Jahresfrachten von Ammonium innerhalb Niedersachsens sind auf Emissionen aus der intensiven Landwirtschaft in den Landkreisen Cloppenburg und Vechta und den Nachbarländern zurückzuführen. Über einen großräumigen Ausgleich durch die Atmosphäre findet sich die Belastung in der gesamten Region wieder. Die Spitzenbelastung liegt mit 10,5 kg N/ha*a bei der Messstelle Dörenberg im Landkreis Osnabrück. Das ist analog zu den hohen Sulfat- und Nitratfrachten auf die regenreiche Höhenlage dieser Messstelle zurückzuführen. Auffällig ist, dass die zweithöchste Fracht (9,8 kg N/ha*a) anders als bei den Parametern Sulfat und Nitrat nicht bei der Messstelle Trillenber, sondern bei der BDF-Messstelle Dinklage liegt. Im Gegensatz zu den Messstellen Trillenber und Dörenberg ist Dinklage also nur mit Ammonium sehr hoch belastet (rote Farbe), nicht aber mit Sulfat und Nitrat (grüne und blaue Markierung). Das heißt, hier deutet sich über eine relative Ammoniumanreicherung gegenüber anderen Parametern die N-Emittentennahe Lage der Messstelle innerhalb der Region an, s. Kap. 3.6.1. Dazu gehört auch die hohe potentiell bodenversauernde Wirkung des Ammoniums, s. Kap. 3.4.3.

In der Belastung der gesamten Region und den unterschiedlichen Höhenlagen der Messstellen ist der Grund zu sehen, dass sich an den BDF-Messstellen trotz ihrer N-Emittentennahe Lage nicht die höchsten Ammoniumbelastungen ergeben.

Im Vergleich zu den vergangenen Jahren ist eine Stagnation oder eine leicht rückläufige Ammoniumbelastung des Regenwassers zu verzeichnen, s. Abb. 17. Das wird auch im Vergleich der niedersächsischen Mittelwerte der Jahre 1997 – 1999 (7,6 kg N/ ha*a)⁷ mit 2003-2004 (6,4 kg N/ ha*a)⁵ deutlich. Dass sich trotz gestiegener Tierdichte im Dienstbezirk des NLWKN - Betriebsstelle Cloppenburg - (s. Abb. 15) eine stagnierende bzw. eine leicht rückläufige Belastung der Ammoniumfrachten im Regenwasser ergibt, könnte auf das wachsende Umweltbewusstsein der Landwirte zurückzuführen sein. Dazu zählen technische Verbesserungen bei der Gülleausbringung (z. B. Schleppschlauchtechnik) und ein bewussterer Umgang mit Düngung und Fütterung^{11,13}.

3.4.2 Ammoniumjahresfrachten an den Traufenmessstellen

An den Traufenmessstellen liegen analog zu den anderen Parametern Chlorid, Sulfat und Nitrat höhere Ammoniumfrachten als an den Freilandmessstellen vor, s. Tab. 4 und Abb. 18.

Die höchste Ammoniumfracht ergibt sich 2004 wie bei den anderen Parametern an der Traufenmessstelle Dörenberg 057 mit 52 kg N/ha *a.

Im Mittel wurden 4,5-fach höhere Werte bei den Traufen als an den benachbarten Freilandstandorten gefunden. Das ist im Vergleich zu den anderen Parametern der höchste Anreicherungsfaktor.

Abb. 16: Ammoniumjahresfrachten 2004



Gewässerüberwachungssystem
Niedersachsen
Gütemessnetz Deposition

Beschaffenheit des Regenwassers
an Freilandmessstellen
des regionalen Gewässerkund-
lichen Landesinstitutes im Dienst-
bezirk der Betriebsstelle
Cloppenburg



10

Kilometer

Ammoniumjahresfrachten
[kg N/ha * a]

- 3,2 - 6,1
- 6,2 - 7,4
- 7,5 - 8,6
- 8,7 - 9,2
- 9,3 - 10,9

Untere Werte der Klassengrenzen
(6,2; 7,5; 8,7; 9,3) entsprechen
50-, 75-, 90- und 95-Perzentilen
niedersächsischer Niederschlags-
daten von 2003/2004.
Kleinster (3,2) und größter Wert
(10,9) entsprechen dem Mini-
mum und Maximum in Nieder-
sachsen.

Dienstbezirk

Herausgeber:
Niedersächsischer Landesbetrieb
für Wasserwirtschaft, Küsten-
und Naturschutz
- Betriebsstelle Cloppenburg -

Kartengrundlage:
ATKIS UK500
Landesvermessung und Geobasis-
informationen Niedersachsen
(LGN)
Die Kartengrundlage ist gesetz-
lich geschützt. Vervielfältigung
mit Erlaubnis des Herausgebers.

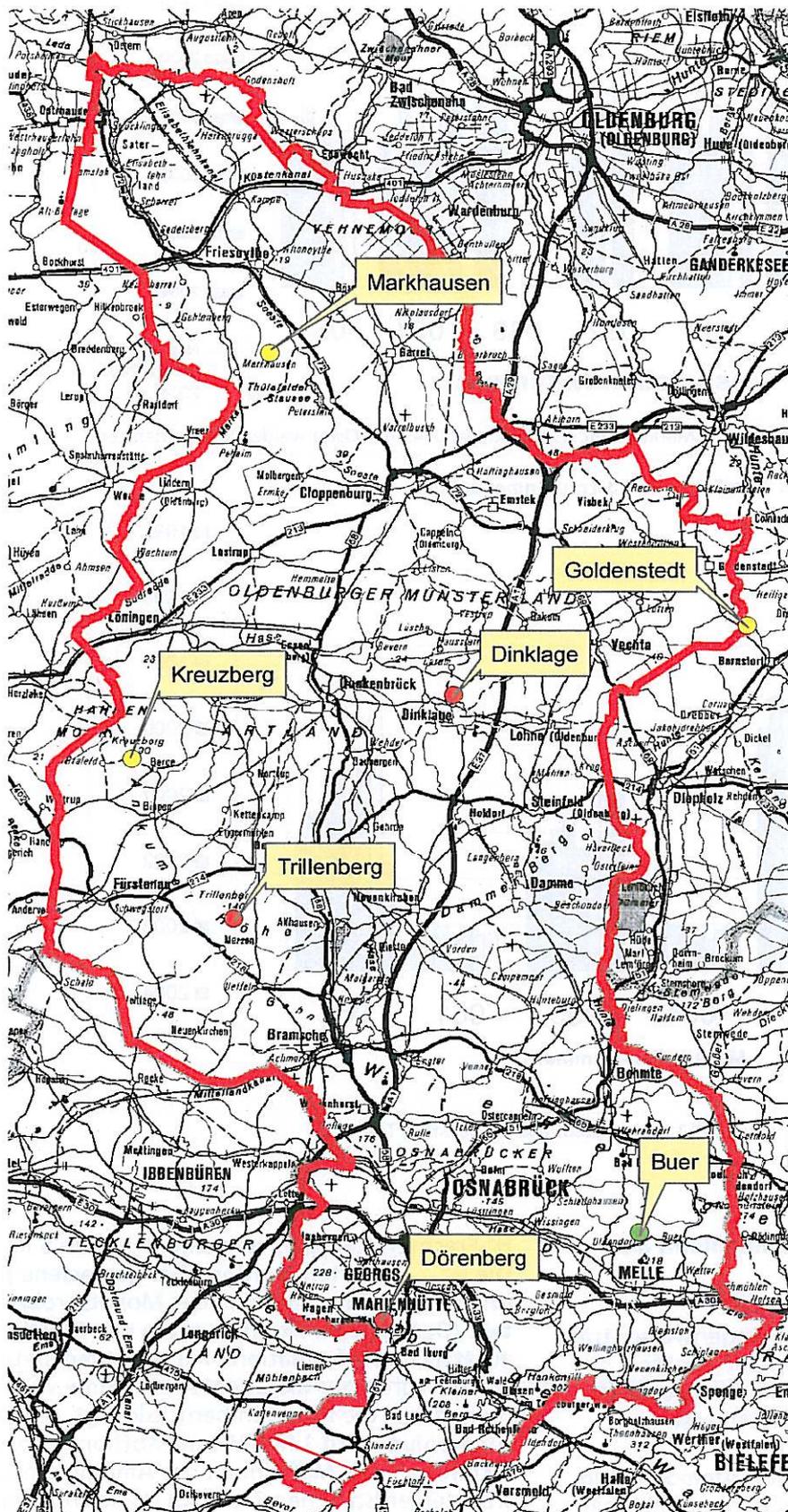
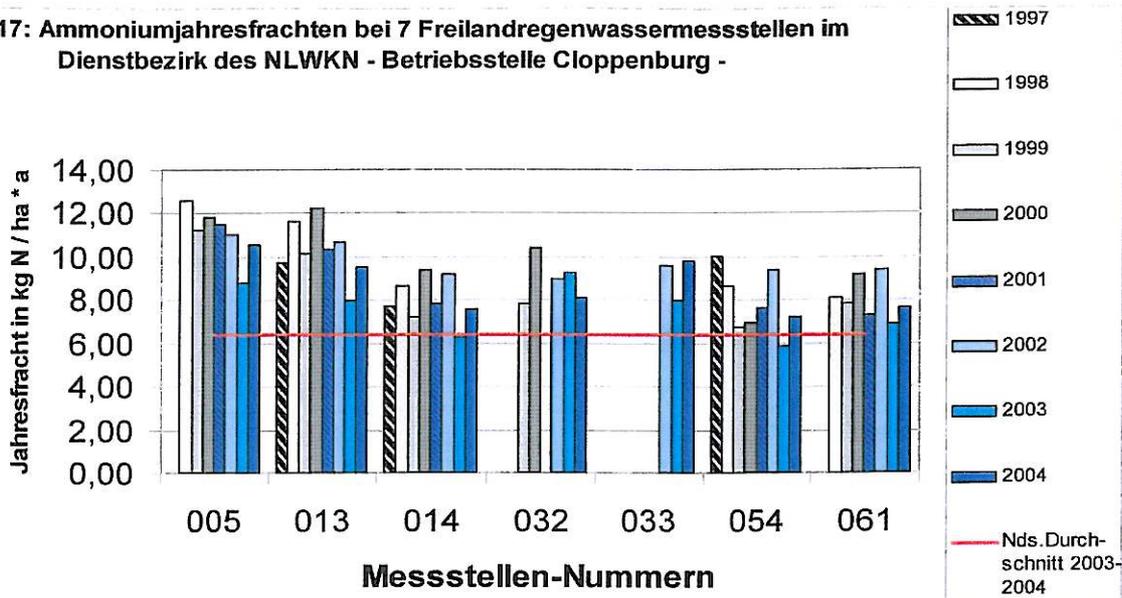
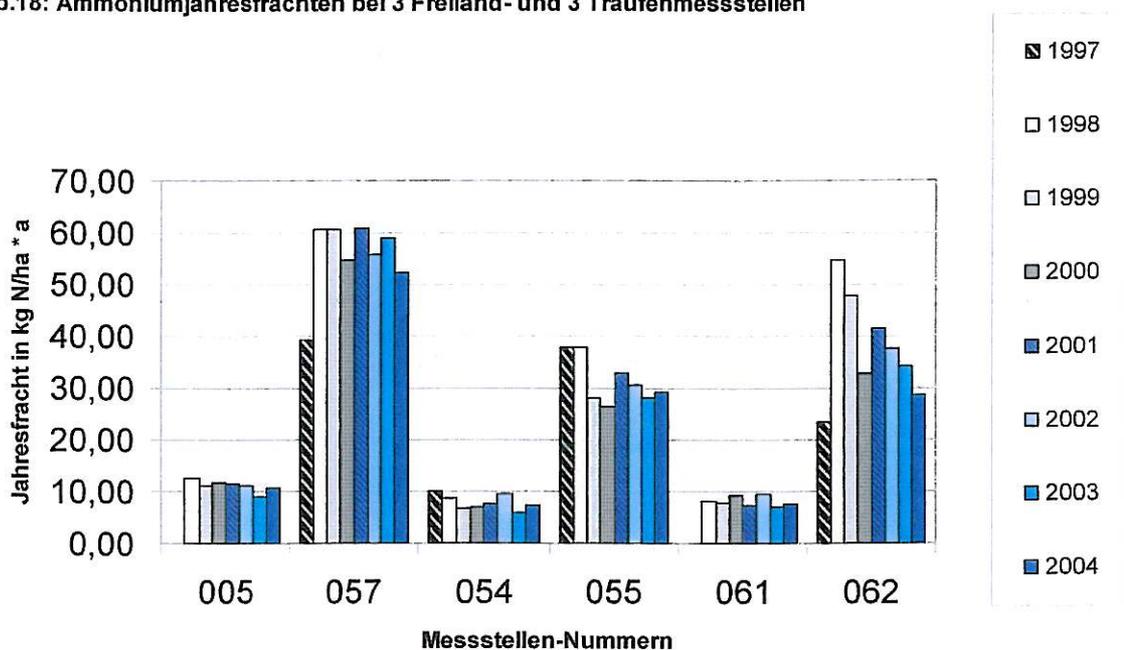


Abb. 17: Ammoniumjahresfrachten bei 7 Freilandregenwassermessstellen im Dienstbezirk des NLWKN - Betriebsstelle Cloppenburg -



005:Dörenberg; 013:Trillenberg; 014:Kreuzberg; 032:Markhausen; 033:Dinklage; 054:Buer-Ostenwalde; 061: Goldenstedt

Abb.18: Ammoniumjahresfrachten bei 3 Freiland- und 3 Traufenmessstellen



057:Dörenberg Traufe; 054:Buer; 055 Buer Traufe; 061: Goldenstedt 062 Goldenstedt Traufe

3.4.3 Versauerungspotential des Ammoniums an Freiland- und Traufenmessstellen

Eine hohe Ammoniumbelastung im Regenwasser trägt zur Versauerung der Böden bei. Bei der direkten Aufnahme von Ammonium durch die Pflanzen oder durch Nitrifikation werden Wasserstoffionen im Boden freigesetzt, s. Kap. 3.4.

Um die Höhe des Säurepotentials von Ammonium im Dienstbezirk der Betriebsstelle Cloppenburg abschätzen zu können, wurden im Regenwasser vorhandene Wasserstoffionenfrachten („ H^+_{RW} “) mit potentiell im Boden durch Ammonium freigesetzten, berechneten

H^+ -Frachten („ $H^+_{NH_4}$ “) verglichen¹⁴, s. Tab 5 im Anhang. Die H^+_{RW} -Frachten wurden über gemessene pH-Werte und Niederschlagsmengen der Monatsproben ermittelt. (Der pH- Jahresmittelwert in der Tabelle dient der zusätzlichen Information.) Für die berechnete $H^+_{NH_4}$ -Fracht wurde nur die direkte Aufnahme von Ammonium durch die Pflanzen berücksichtigt, d. h. pro Mol Ammonium wird 1 Mol Wasserstoffionen freigesetzt. 1 kg N/ha*a als Maßeinheit der Ammoniumjahresfrachten entsprechen 71,4 Mol N, gleichbedeutend mit 71,4 Mol NH_4 . D. h. pro kg N/ha*a aus der Deposition können 71,4 Mol $H^+_{NH_4}$ im Boden freigesetzt werden. Diese potentiell freigesetzten H^+ -Frachten ($H^+_{NH_4}$) sind bei allen Messstellen sehr viel höher als die

im Regenwasser vorhandenen H^+ -Frachten H^+_{RW} . Die Verhältnisse $H^+_{NH_4} / H^+_{RW}$ liegen zwischen 15 und 179. Die mit Abstand höchsten „Versauerungsfaktoren“ ergeben sich 2004 mit 111 und 179 an den BDF-Messstellen Markhausen und Dinklage. 2003 lag der höchste Faktor Niedersachsens bei Dinklage mit 307. Der Grund für diese Auffälligkeiten bei den BDF-Messstellen liegt in einer relativ hohen Ammoniumfracht im Vergleich zu einer sehr niedrigen H^+_{RW} -Fracht. Diese „Ammoniumanreicherung“ zeigt sich in kleineren Größenordnungen auch im Vergleich zu anderen Parametern (z. B. Nitrat, s. Kap. 3.6.1) und scheint quasi ein Unterscheidungsmerkmal zu den anderen Freilandmessstellen darzustellen.

Im niedersächsischen Vergleich liegt die H^+_{RW} -Fracht der BDF-Messstellen mit 5,2 und 3,9 mol/ha*a im unteren Bereich (blaue Kennzeichnung). Bedingt durch hohe $H^+_{NH_4}$ -Frachten werden in der Summe H^+ -Gesamtfrachten von 584 und 702 mol/ha*a erreicht ($H^+_{NH_4} + H^+_{RW}$), die eine erhöhte bzw. sehr hohe Belastung darstellen (gelbe, rote Markierung). D. h. besonders an den BDF-Messstellen ergibt sich ein hohes verstecktes Bodenversauerungspotential, das nicht am pH-Wert des Regenwassers abzulesen ist. Z. B. liegt der pH-Jahresmittelwert von Dinklage mit 6,3 höher, d. h. alkalischer als der natürliche pH-Wert von unbelastetem Regenwasser von 5,6. Er liegt näher am Neutralbereich (pH=7) als der pH-Wert 5,4 von Dörenberg. Die H^+_{RW} -Fracht des Regenwassers von Dinklage beträgt mit 5,2 mol/ha*a nur 1/10 der Fracht von Dörenberg (50,5 mol/ha*a). Im Boden können aber bedingt durch ähnlich hohe Ammoniumfrachten bei beiden Standorten fast gleich hohe $H^+_{NH_4}$ -Frachten (um 700 - 750 mol/ha*a) zusätzlich freigesetzt werden.

Bei den Traufenmessstellen spielt die berechnete Bodenversauernde Wirkung des Ammoniums mit $H^+_{NH_4}$ -Werten zwischen 2071 und 3729 mol/ha*a auf Grund hoher Ammoniumgehalte noch eine deutlich höhere Rolle als an den Freilandstandorten, s. Tab. 6 im Anhang.

Der höchste „Versauerungsfaktor“ von 2063 liegt bei der Messstelle Goldenstedt vor. Die Ursache ist wie bei den BDF-Messstellen unter den Freilandstandorten in der relativ hohen Ammoniumfracht im Vergleich zu einer sehr niedrigen H^+_{RW} Fracht zu sehen. Diese „Ammoniumanreicherung“ scheint innerhalb der Traufenmessstellen eine Besonderheit zu sein, die auf die N-emittentennahe Lage des Standorts zurückzuführen ist (vgl. Kap. 3.6.2).

3.5 Stickstoffjahresfrachten 2004 im Regenwasser

Stickstoffverbindungen in der Atmosphäre kommen als Stickstoffoxide (NO_x), Ammoniak (NH_3), Lachgas (N_2O) und elementarer Stickstoff (N_2) vor. 26 % der Gesamtemission der Stickstoffverbindungen in Niedersachsen entfallen auf den Verkehr und 62 % auf die Landwirtschaft^{8,15}.

Im Regenwasser können die Stickstoffverbindungen der Luft als Einzelverbindungen Nitrat (NO_3^-), Ammonium (NH_4^+), Nitrit (NO_2^-) und als Summenparameter

Gesamtstickstoff (TN_b) bestimmt werden. Der TN_b erfasst neben den genannten anorganischen Einzelverbindungen auch organische Stickstoffverbindungen. Eigene Versuche haben jedoch gezeigt, dass organische N-Verbindungen und Nitrit nur in sehr geringen Konzentrationen im Regenwasser vorhanden sind. Damit entspricht die Gesamtstickstofffracht praktisch der Summe von Ammonium-N und Nitrat-N. Die Stickstoffjahresfracht wird hier deshalb rechnerisch aus der Ammonium-N und der Nitrat-N-Fracht ermittelt.

3.5.1 Stickstoffjahresfrachten an den Freilandmessstellen

An den Freilandmessstellen liegen 2004 Stickstoffjahresfrachten (als Summe von Nitrat- und Ammonium-N) zwischen 11,2 und 16,6 kg N/ha*a vor, s. Tab 3, Abb. 19. Die Werte liegen oberhalb des niedersächsischen Mittelwertes von 10,6 kg/N ha*a⁵, s. Abb. 20.

Da die Ammoniumbelastungen größer als die Nitratbelastungen sind, machen sie einen Großteil der Gesamtstickstofffrachten an den Freilandmessstellen aus, s. Kap. 3.6.1.

Dadurch werden Ähnlichkeiten der Ammonium- und Stickstofffrachten sowie Unterschiede zu den Jahresfrachten der Parameter Chlorid, Sulfat, Nitrat bedingt:

- Alle Stickstofffrachten liegen genau wie die Ammoniumfrachten oberhalb des 50-Perzentils der niedersächsischen Niederschlagsdaten.
- Bei allen Messstellen wird der niedersächsische Mittelwert überschritten.
- Zu den 3 Messstellen mit den höchsten Frachten innerhalb des Dienstbezirkes der Betriebsstelle Cloppenburg gehört neben Dörenberg und Trillenberg die BDF-Messstelle Dinklage.

Bei der Messstelle Dörenberg ergibt sich mit 16,6 kg N/ha*a die absolute Spitzenbelastung in Niedersachsen. Hier addieren sich sehr hohe Ammoniumfrachten zu sehr hohen Nitratbelastungen (s. Kap 3.3.1 und 3.4.1).

Bei der BDF-Messstelle Dinklage ist hauptsächlich die sehr hohe Ammoniumfracht (vgl. rote Markierung in Tab. 3 und Kap. 3.4.1) für den hohen Stickstoffgehalt verantwortlich (vgl. orange Markierung in Tab. 3 und Abb. 19). Der Nitratwert liegt im unteren Bereich innerhalb Niedersachsens (vgl. blaue Markierung in Tab. 3). Analoges gilt auch für die BDF-Messstelle Markhausen.

Insgesamt stellt der Dienstbezirk der Betriebsstelle Cloppenburg wie in den vergangenen Jahren ein Stickstoffbelastungsschwerpunkt innerhalb Niedersachsens dar^{3,11}.

Allerdings sind die absoluten Stickstofffrachten als leicht rückläufig zu bezeichnen, s. Abb. 20.

Der niedersächsische Durchschnittswert von 1997–1999 lag mit 12,6 kg/N ha*a ebenfalls höher als der Durchschnittswert (10,6 kg/N ha*a) von 2003–2004. Das passt zu der stagnierenden bzw. leicht rückläufigen Tendenz der Ammoniak- und Stickstoffoxid-Emissionen in Deutschland (Abb. 10).

Abb. 19: Stickstoffjahresfrachten 2004



Gewässerüberwachungssystem
Niedersachsen
Gütemessnetz Deposition

Beschaffenheit des Regenwassers an
Freilandmessstellen
des regionalen Gewässerkundlichen
Landesdienstes im Dienst-
bezirk der Betriebsstelle
Cloppenburg



10

Kilometer

Stickstoffjahresfrachten
als Summe von Ammo-
nium-N und Nitrat-N
[kg N/ha * a]

- 6,1 - 10,5
- 10,5 - 12,1
- 12,2 - 13,4
- 13,5 - 14,2
- 14,3 - 16,6

Untere Werte der Klassengrenzen
(10,5; 12,2; 13,5; 14,3) entsprechen
50-, 75-, 90- und 95-Perzentilen
niedersächsischer Niederschlags-
daten von 2003/2004

Kleinster (6,1) und größter Wert
(16,6) entsprechen dem Mini-
mum und Maximum in Nieder-
sachsen.

Dienstbezirk

Herausgeber:
Niedersächsischer Landesbetrieb
für Wasserwirtschaft, Küsten-
und Naturschutz
- Betriebsstelle Cloppenburg -

Kartengrundlage:
ATKIS UK500
Landesvermessung und Geobasis-
informationen Niedersachsen
(LGN)
Die Kartengrundlage ist gesetz-
lich geschützt. Vervielfältigung
mit Erlaubnis des Herausgebers.

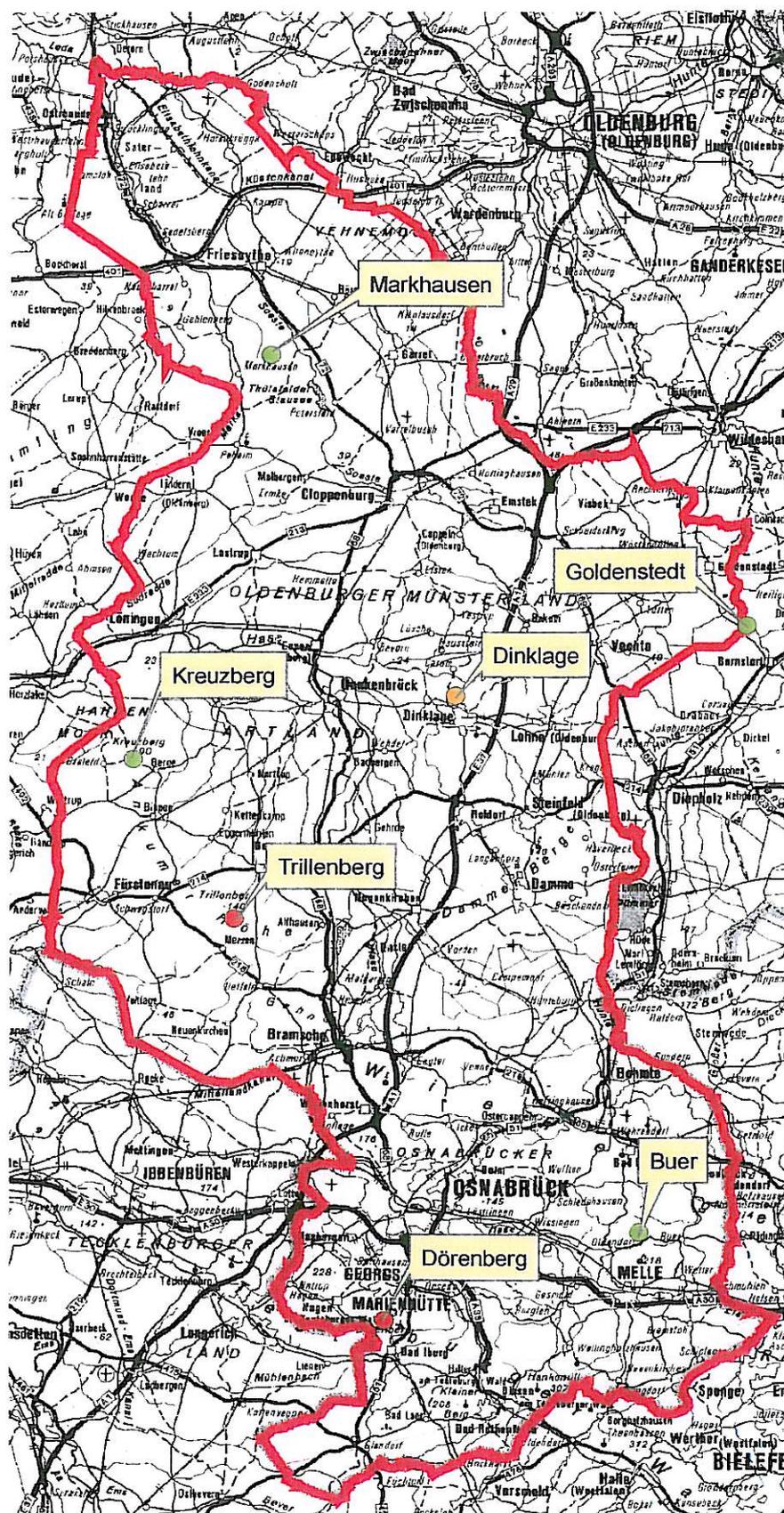
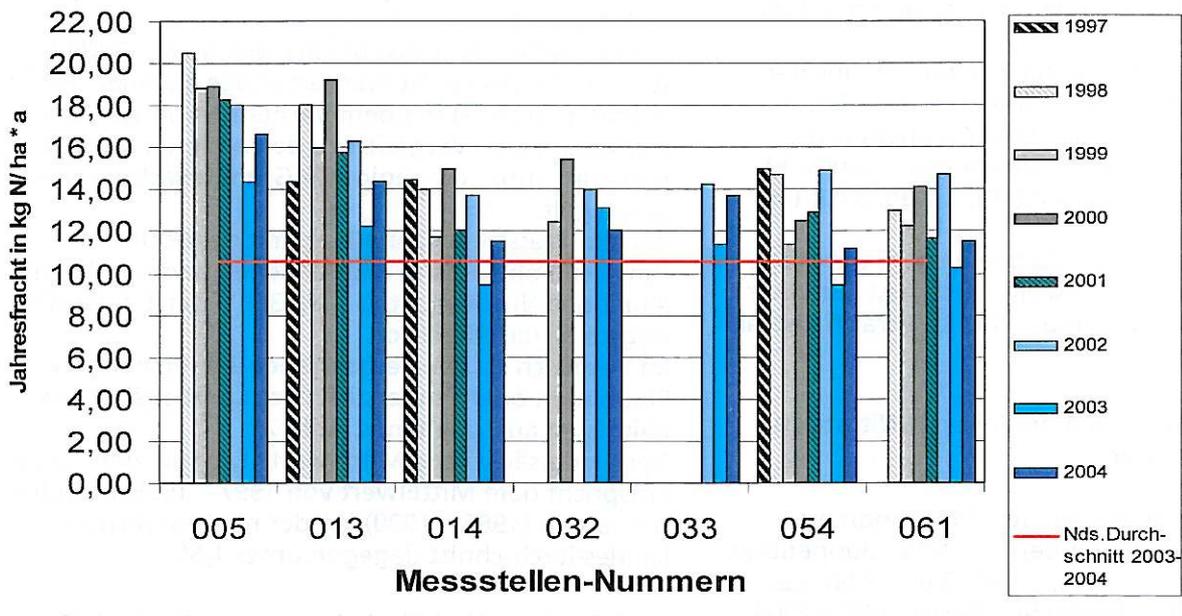
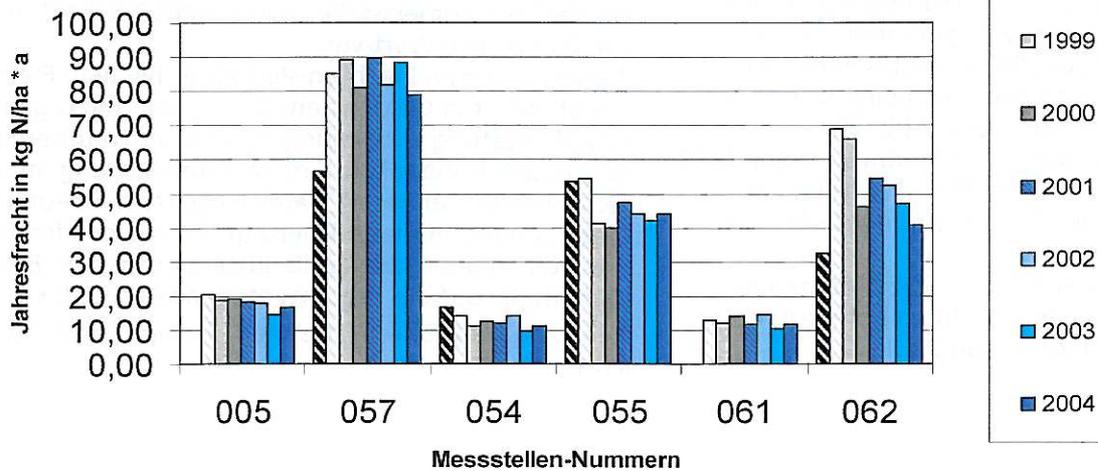


Abb. 20: Stickstoffjahresfrachten bei 7 Freilandregenwassermessstellen im Dienstbezirk des NLWKN - Betriebsstelle Cloppenburg -



005:Dörenberg; 013:Trillenberg; 014:Kreuzberg; 032:Markhausen; 033:Dinklage; 054:Buer-Ostenwalde; 061: Goldenstedt

Abb. 21: Stickstoffjahresfrachten bei 3 Freiland- und 3 Traufenregenwassermessstellen



005: Dörenberg, 057:Dörenberg Traufe; 054:Buer; 055 BuerTraufe; 061: Goldenstedt 062 Goldenstedt Traufe

3.5.2 Stickstoffjahresfrachten an den Traufenmessstellen

An den Traufenmessstellen liegen analog zu den Nitrat- und Ammoniumfrachten höhere Stickstofffrachten als an den Freilandmessstellen vor, s. Tab. 4 und Abb. 21. Im Mittel wurden 4-fach höhere

Werte als an den benachbarten Freilandstandorten gefunden. Die höchste Stickstofffracht ergibt sich 2004 wie bei den anderen Parametern an der Traufenmessstelle Dörenberg 057 mit 78,7 kg N/ha * a. Analog zu den Freilandmessstellen zeigt sich im Vergleich mit den vergangenen Jahren an den Messstellen eine Stagnation oder eine leicht fallende Tendenz

3.6 Frachten-Verhältnis Ammonium-N/Nitrat-N 2004 im Regenwasser

Die Stickstofffrachten im Regenwasser setzen sich aus Ammonium- und Nitrat-Frachten zusammen, s. Kap 3.5.

Ammoniumemissionen aus der Region und aus den Nachbarländern haben zur Folge, dass der Dienstbezirk des NLWKN - Betriebsstelle Cloppenburg - einen deutlichen Stickstoff-Belastungsschwerpunkt innerhalb Niedersachsens darstellt, s. Kap. 3.4.1 und 3.5.1.

Die Stickstoffbelastung des Regenwassers, die durch intensive Tierhaltung verursacht wird, lässt sich über das Verhältnis von Ammonium-N und Nitrat-N charakterisieren^{3,4}.

3.6.1 Frachten-Verhältnis Ammonium-N/Nitrat-N an den Freilandmessstellen

Die Frachten-Verhältnisse an den 7 Freilandmessstellen im Dienstbezirk der Betriebsstelle Cloppenburg liegen zwischen 1,7 und 2,5; s. Tab. 3 und Abb. 22. Der niedersächsische Durchschnittswert 2003 – 2004 von 1,5 entspricht dem niedersächsischen Median⁵. Bei allen Messstellen wird dieser Wert analog zu den Ammonium- und Stickstofffrachten deutlich überschritten, s. Abb. 22 und 23.

Die höchsten Werte wurden (im Gegensatz zu den anderen Parametern) bei den BDF-Messstellen Dinklage (2,5) und Markhausen (2,1) gefunden. Diese Werte liegen oberhalb des 95-Perzentils in Niedersachsen und sind damit als sehr hoch einzustufen, s. rote Kennzeichnung in Tab. 3 und Abb. 22.

Sowohl der Mittelwert der 55 Freilandmessstellen (1,5) als auch der Mittelwert der 20 BDF-Messstellen in Niedersachsen 2003 - 2004 (1,6)⁵ wird deutlich überschritten.

Die hohen N-Verhältnisse bei den BDF-Messstellen Markhausen und Dinklage sind durch hohe Ammoniumbelastungen bedingt, s. Kap 3.4.1.

Die Ammoniakemissionen, die in unmittelbarer Nähe zu diesen BDF-Messstellen auftreten, machen sich damit nicht in absolut höheren Ammoniumjahresfrachten innerhalb der Region bemerkbar, sondern in einer relativen Anreicherung von Ammonium im Vergleich zu Nitrat, vgl. Kap. 3.4.1.

Andererseits ergibt sich bei der Messstelle Goldenstedt, trotz der emittentennahe Lage zu einem Geflügelstall (s. Kap. 2) mit dem Verhältnis von 1,9 keine Auffälligkeit im Vergleich zu den anderen Messstellen. Hier wird „nur“ die regionale Grundbelastung widerspiegelt.

Bei der Messstelle Dörenberg mit der höchsten Ammoniumbelastung liegt dagegen bedingt durch eine hohe Nitratfracht, (s. Kap 3.3.1) mit 1,7 das niedrigste N-Verhältnis vor.

Im Vergleich zu den vergangenen Jahren ist von einer Stagnation oder tendenziell leicht gestiegenen Verhältnissen auszugehen, s. Abb. 23.

Der niedersächsische Mittelwert (1,5) von 2003 - 2004 entspricht dem Mittelwert von 1997 – 1999. In früheren Jahren (1986 – 1990) lag der niedersächsische Landesdurchschnitt dagegen unter 1,5⁷.

3.6.2 Frachten-Verhältnis Ammonium-N/Nitrat-N an den Traufenmessstellen

An den Traufenmessstellen ergeben sich mit Werten von 2 bis 2,4 etwas höhere Verhältnisse als an den benachbarten Freilandmessstellen, s. Tab. 4 und Abb. 24. An der Traufenmessstelle Goldenstedt 062 liegt mit 2,4 der höchste Wert vor.

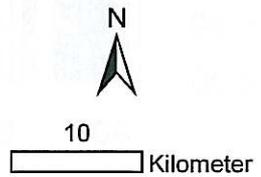
Während sich im Frachten-Verhältnis bei dem Freilandstandort in Goldenstedt (1,9) „nur“ die regionale Grundbelastung widerspiegelt, wird im Traufbereich eine relativ hohe lokale Ammoniumbelastung im Vergleich mit den anderen Traufenmessstellen deutlich. Diese „Ammoniumanreicherung“ ist wie bei den BDF-Messstellen unter den Freilandstandorten eine Besonderheit, die auf die N-emittentennahe Lage der Messstelle zurückzuführen ist, s. Kap. 2, Kap. 3.4.3 und 3.6.1.

Abb. 22: Frachten-Verhältnis Ammonium-N / Nitrat-N 2004



Gewässerüberwachungssystem
Niedersachsen
Gütemessnetz Deposition

Beschaffenheit des Regenwassers
an Freilandmessstellen
des regionalen Gewässerkund-
lichen Landesinstitutes im Dienst-
bezirk der Betriebsstelle
Cloppenburg



Stickstoffjahresfrachten
Verhältnis
Ammonium-N / Nitrat-N

- 0,9 - 1,5
- 1,5 - 1,6
- 1,7 - 1,9
- 2,0
- 2,1 - 2,6

Untere Werte der Klassengrenzen
(1,5; 1,7; 2,0; 2,1) entsprechen
50-; 75-; 90- und 95-Perzentilen
niedersächsischer Niederschlags-
daten von 2003/2004.
Kleinster (0,9) und größter Wert
(2,6) entsprechen dem Minimum
und Maximum in Niedersachsen.

Dienstbezirk

Herausgeber:
Niedersächsischer Landesbetrieb
für Wasserwirtschaft, Küsten-
und Naturschutz
- Betriebsstelle Cloppenburg -

Kartengrundlage:
ATKIS UK500
Landesvermessung und Geobasis-
informationen Niedersachsen
(LGN)
Die Kartengrundlage ist gesetz-
lich geschützt. Vervielfältigung
mit Erlaubnis des Herausgebers.

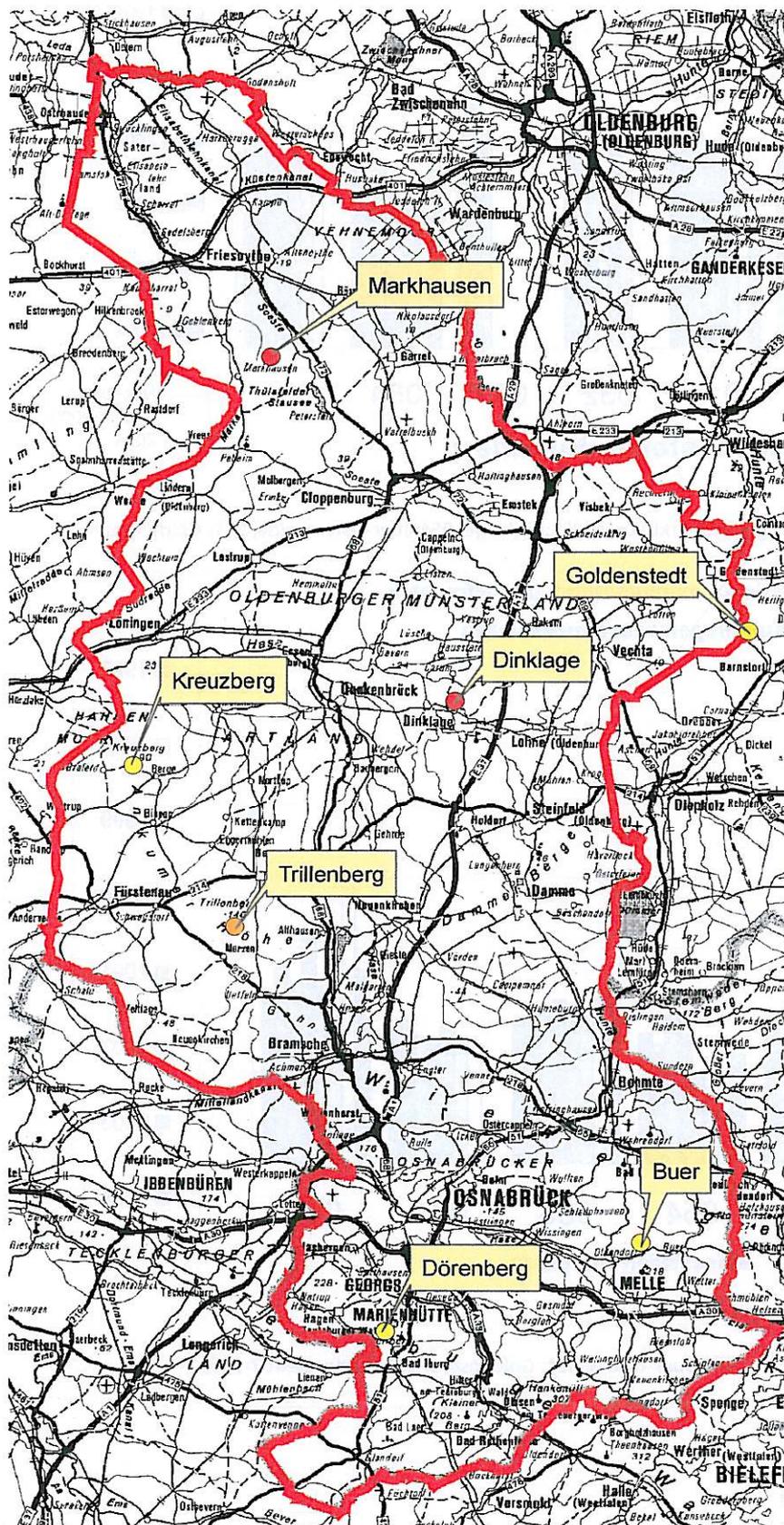
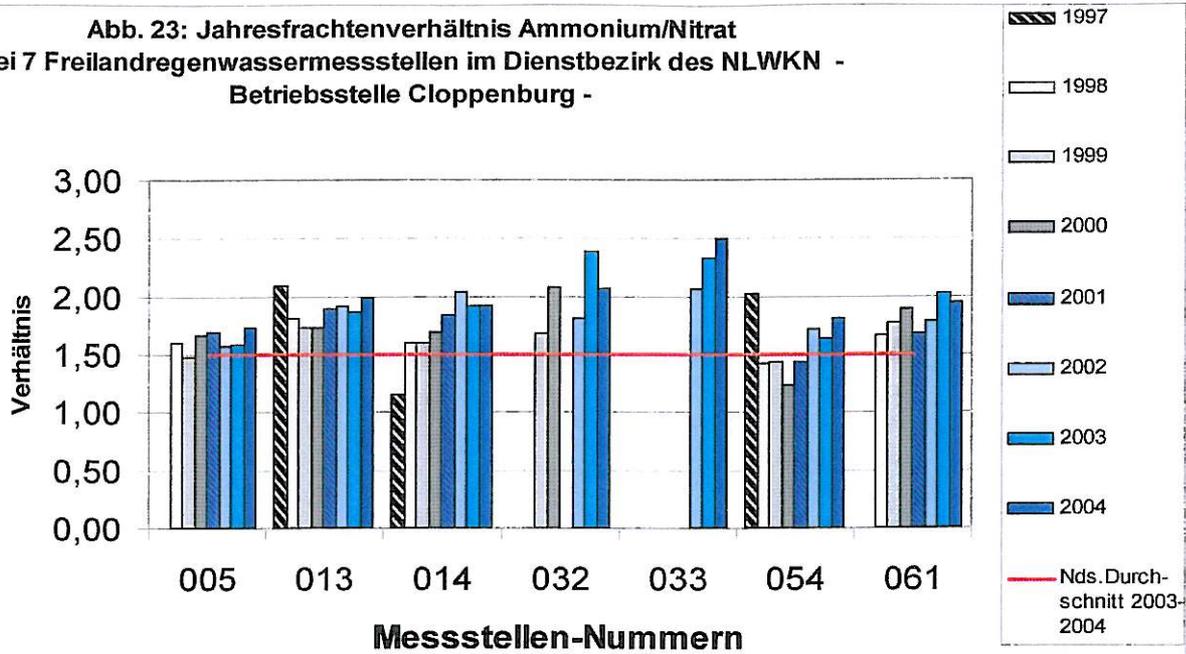
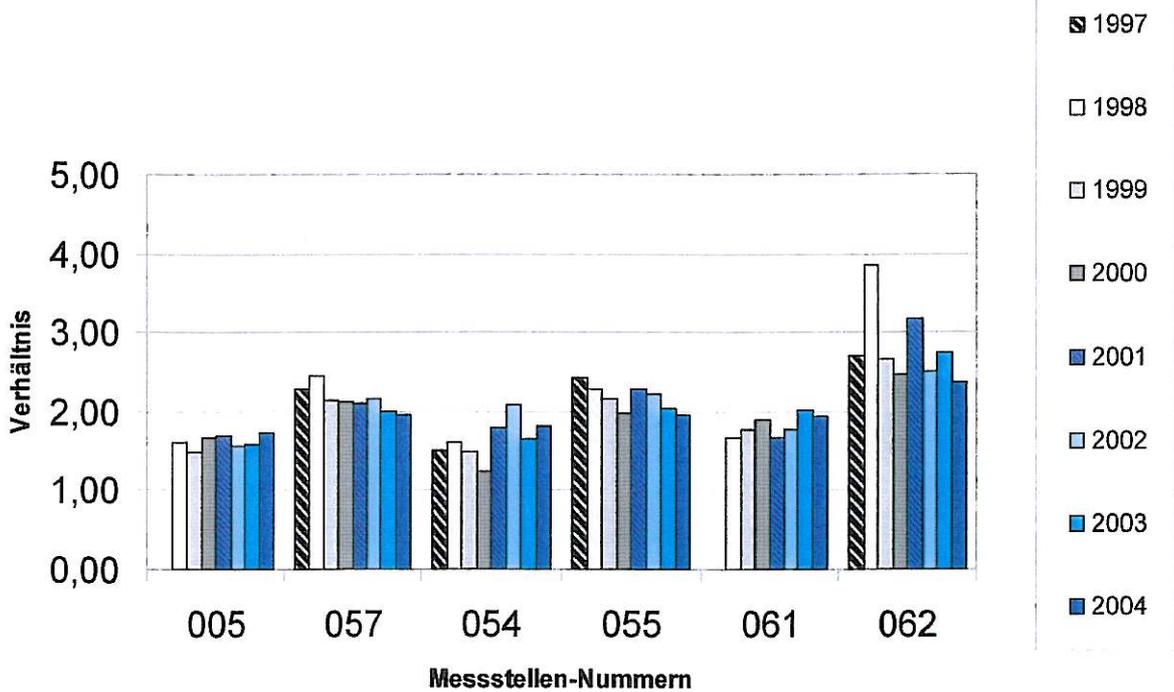


Abb. 23: Jahresfrachtenverhältnis Ammonium/Nitrat bei 7 Freilandregenwassermessstellen im Dienstbezirk des NLWKN - Betriebsstelle Cloppenburg -



005:Dörenberg; 013:Trillenberg; 014:Kreuzberg; 032:Markhausen; 033:Dinklage; 054:Buer-Ostenwalde; 061: Goldenstedt

Abb. 24: Jahresfrachtenverhältnis Ammonium/Nitrat-Jahresfrachten bei 3 Freiland- und 3 Traufenregenwassermessstellen



005:Dörenberg; 057:Dörenberg Traufe; 054:Buer; 055 Buer Traufe; 061: Goldenstedt 062 Goldenstedt Traufe

4. Zusammenfassung

Die Atmosphäre ist durch Schwefeldioxid SO_2 , Stickstoffoxide NO_x , Ammoniak NH_3 und andere chemischen Verbindungen verunreinigt. Während Schwefeldioxid und Stickstoffoxide bei Verbrennungsprozessen aus Industrie und Verkehr gebildet werden, entstehen Ammoniakemissionen fast ausschließlich in der Tierhaltung.

Diese Schadstoffe und Säurebildner gelangen über Nass- und Trockendeposition in das Regenwasser und bedingen den sauren Regen. Anders als bei der Reaktion des Regenwassers mit SO_2 oder NO_x ist die Säurewirkung von NH_3 bzw. NH_4^+ im Regenwasser nicht am pH-Wert zu erkennen. Die versauernde Wirkung wird erst im Boden aufgrund von bodenchemischen Vorgängen induziert.

Im Regenwasser werden die emittierten Luftinhaltsstoffe als Chlorid, Sulfat, Nitrat und Ammonium bestimmt und der Eintrag über Jahresfrachten in $\text{kg/ha} \cdot \text{a}$ für das Jahr 2004 quantifiziert. Darüber hinaus erhält man durch die Aufsummierung von Nitrat-N und Ammonium-N die Gesamtstickstoffbelastung des Regenwassers. (Organische Stickstoffverbindungen und Nitrit sind zu vernachlässigen.) Über das Verhältnis von Ammonium und Nitrat wird dabei die Stickstoffbelastung des Regenwassers, die durch die intensive Tierhaltung verursacht wird, charakterisiert.

Die Regenwasserqualität wird im Dienstbezirk des NLWKN - Betriebsstelle Cloppenburg - im Rahmen des Depositionsmessnetzes Niedersachsen überwacht. Dafür werden 7 von insgesamt 55 niedersächsischen Freilandmessstellen und 3 von 6 niedersächsischen Traufenmessstellen betrieben.

Unter den Freilandmessstellen sind die Standorte Markhausen und Dinklage hervorzuheben:

- Sie liegen in den Landkreisen Cloppenburg und Vechta. Hier wird intensive Landwirtschaft (Schweine- und Geflügelmast) betrieben.
- Sie sind BDF-Messstellen. Die Standorte dieser Messstellen sind Bodendauerbeobachtungsflächen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen. Im Gegensatz zu den anderen Freilandmessstellen stehen sie damit über die Ausbringung von Stickstoffdünger (z. B. Gülle) in unmittelbarer Nähe einer Stickstoff-Emissionsquelle.

Weil zur Charakterisierung der Belastungssituation des Regenwassers mit Chlorid, Sulfat, Nitrat und Ammonium kein einheitliches absolutes Klassifizierungsschema (wie etwa die Güteklassen im Bereich der Oberflächengewässer) existiert, wurde eine

relative Klassifizierung innerhalb Niedersachsens vorgenommen. Dazu wurden Perzentile auf der Datengrundlage von 110 Messwerten (Jahresfrachten von 2003 und 2004 der 55 niedersächsischen Freilandmessstellen) herangezogen.

Im niedersächsischen Vergleich fallen hohe Jahresfrachten von Ammonium und Gesamtstickstoff sowie ein hohes Verhältnis von Ammonium zu Nitrat an allen Freilandmessstellen im Dienstbezirk des NLWKN - Betriebsstelle Cloppenburg - auf.

Das ist hauptsächlich auf die intensive Landwirtschaft, die in den Landkreisen Cloppenburg und Vechta sowie in den Nachbarländern betrieben wird, zurückzuführen.

Über einen großräumigen Ausgleich der N-Frachten in der Atmosphäre, findet sich die Belastung in der gesamten Region wieder. Über den Steigungsregen werden die Schadstoffe ausgewaschen, so dass es zu einer Spitzenbelastung von Ammonium und Gesamtstickstoff an der Messstelle Dörenberg bei Osnabrück im Teutoburger Wald kommt. Die Stickstoffjahresfracht von $16,6 \text{ kg N/ha} \cdot \text{a}$ stellt hier im Freiland die maximale Belastung innerhalb Niedersachsens dar.

In der Belastung der gesamten Region und den unterschiedlichen Höhenlagen der Messstellen ist der Grund zu sehen, dass sich an den BDF-Messstellen trotz ihrer N-emittentennahe Lage nicht die höchsten Ammonium- und Stickstoff-Belastungen ergeben.

Ammoniakemissionen, die in unmittelbarer Nähe zu den BDF-Messstellen auftreten, wirken sich im Regenwasser aber über eine relativ hohe Ammoniumanreicherung im Vergleich zu Nitrat aus. An den BDF-Messstellen findet man regionale Spitzenwerte von 2,1 und 2,5.

Die berechnete potentiell bodenversauernde Wirkung von Ammonium überschreitet die eigentliche Säurebelastung des Regenwassers (Wasserstoffionenfrachten) bei allen Messstellen um ein Vielfaches. An den BDF-Messstellen, die die geringsten Wasserstoffionenfrachten aufweisen, liegen mit Werten um 110 und 180 die höchsten Faktoren vor. D. h. hier ergibt sich ein hohes verstecktes Bodenversauerungspotential, das nicht am pH-Wert des Regenwassers abzulesen ist.

Im Vergleich zu früheren Jahren ist die Ammonium- und Stickstoffbelastung des Regenwassers trotz gesteigerter Tierdichten in den Landkreisen Cloppenburg und Vechta als stagnierend oder leicht rückläufig zu bezeichnen. Das könnte auf das wachsende Umweltbewusstsein der Landwirte zurückzuführen sein. Dazu zählen technische Verbesserungen bei der Gülleausbringung (z. B. Schleppschlauchtechnik) und ein bewussterer Umgang mit Düngung und Fütterung

5. Literatur

1. NLÖ: "Belastung von Wasser und Boden durch Schadstoffe in Luft und Niederschlägen. Depositions- Meßnetz Niedersachsen", 1993.
2. <http://www.nlwkn.niedersachsen.de>
3. NLÖ: "Untersuchung von Niederschlagswasser 1988 bis 1990", 1992.
4. NLWK - Betriebsstelle Cloppenburg: "Beschaffenheit des Regenwassers 2002", 2003.
5. NLWK Niederschlagsgütedaten von 2003 und 2004.
6. Umweltbundesamt, Emissionen nach Emittentengruppen in Deutschland 1990 bis 2001, www.env-it.de/umweltdaten, 2003.
7. NLÖ: "Niedersächsischer Umweltbericht", 2001.
8. NLÖ: "CAFE in Niedersachsen –Europäisches Programm zur Luftqualität." S. 18 – 24 in NLÖ (Hrsg.) „Nachhaltiges Niedersachsen, 26, Dauerhaft umweltgerechte Entwicklung“, 2003.
9. Nds. Landesamt für Statistik, zusammengestellte Daten, 2005.
10. Gülleverordnung Niedersachsen vom 9.1.1990 (Nds. GVBl. S.9).
11. NLÖ: "Boden- und gewässerschonende Landwirtschaft – Strategien zur Minimierung

des Stoffeintrags am Beispiel des Niedersächsischen Kooperationsmodell." S. 56 – 61 in NLÖ (Hrsg.): "Nachhaltiges Niedersachsen, 26, Dauerhaft umweltgerechte Entwicklung", 2003.

12. NLfB, NLÖ: "Bericht 2005 Grundwasser Stand 15.7.2004 Betrachtungsraum NIO2-Mittlere Ems Ergebnisse der Bestandsaufnahme", 2005.
13. http://europa.eu.int/comm/agriculture/envir/report/de/acid_de/report.htm
14. Staatliches Amt für Wasser und Abfall Stade: "Die Beschaffenheit des Niederschlags im Elbe-Weser-Dreieck", 1997.
15. NLÖ (Hrsg.): "Nachhaltiges Niedersachsen, 14, Bilanzierung der Stickstoffemissionen in Niedersachsen", 2000.

6. Anhang

Tab 3: Niederschlagsmengen und Jahresfrachten 2004 von 7 Freilandmessstellen im Dienstbezirk des NLWKN - Betriebsstelle Cloppenburg -

Tab 4: Niederschlagsmengen und Jahresfrachten 2004 von 3 Traufenmessstellen im Dienstbezirk des NLWKN - Betriebsstelle Cloppenburg -

Tab 5: Bodenversauerung durch atmosphärischen Eintrag von Wasserstoffionen und Ammonium 2004 bei 7 Freilandstandorten.

Tab 6: Bodenversauerung durch atmosphärischen Eintrag von Wasserstoffionen und Ammonium 2004 bei 3 Traufenstandorten.

Tab. 3: Niederschlagsmengen und Jahresfrachten 2004 von 7 Freilandmessstellen im Dienstbezirk des NLWKN - Betriebsstelle Cloppenburg.

Messstelle	Nr.	Jahresniederschlagsmenge mm	Chlorid kg/ha*a	Sulfat kg/ha*a	Nitrat kg N/ha*a	Ammonium kg N/ha*a	Gesamtstickstoff kg N/ha*a	Verhältnis Ammonium/Nitrat
Dörenberg	005	1004	16,5	25,0	6,1	10,5	16,6	1,7
Trillenberg	013	888	17,6	20,0	4,8	9,5	14,4	2,0
Kreuzberg	014	786	16,0	16,4	4,0	7,6	11,5	1,9
Markhausen	032	744	20,2	17,1	3,9	8,1	12,0	2,1
Dinklage	033	744	16,0	18,2	3,9	9,8	13,7	2,5
Buer-Ostenwalde	054	635	11,6	16,7	4,0	7,2	11,2	1,8
Goldenstedt	061	784	14,6	16,7	3,9	7,6	11,5	1,9
Stat. Kenngrößen nds. Jahresfrachten 2003/2004 von 55 Freilandstandorten ⁵								
Mittelwert		690	19,3	16,7	4,2	6,4	10,6	1,5
Minimalwert		363	4,6	6,4	2,8	3,2	6,1	0,9
Maximalwert		1188	138,8	30,2	7,6	10,9	16,6	2,6
50 -Perzentil (Median)		674	12,3	16,5	4,0	6,2	10,5	1,5
75-Perzentil		816	22,0	19,6	4,6	7,5	12,2	1,7
90 -Perzentil		944	39,3	24,0	5,4	8,7	13,5	2,0
95 -Perzentil		1000	57,5	26,6	6,0	9,3	14,3	2,1



 Wert liegt im nds. Vergleich im unteren Bereich (< 50 - Perzentil)

 Wert liegt im nds. Vergleich im leicht erhöhten Bereich (>=50- und < 75-Perzentil)

 Wert liegt im nds. Vergleich im erhöhten Bereich (>=75 und < 90-Perzentil)

 Wert liegt im nds. Vergleich im hohen Bereich (>=90- und <95-Perzentil)

 Wert liegt im nds. Vergleich im sehr hohen Bereich (>=95-Perzentil)

Tab. 4: Niederschlagsmengen und Jahresfrachten 2004 von 3 Traufenmessstellen im Dienstbezirk des NLWKN - Betriebsstelle Cloppenburg.

Messstelle	Nr.	Jahresniederschlagsmenge mm	Chlorid kg/ha*a	Sulfat kg/ha*a	Nitrat kg N/ha*a	Ammonium kg N/ha*a	Gesamtstickstoff kg N/ha*a	Verhältnis Ammonium/Nitrat
Dörenberg II (Traufe Nord)	057	801	59,0	118	26,6	52,2	78,7	2,0
Buer-Ostenwalde	055	539	37,9	63,5	14,9	29,0	43,9	2,0
Goldenstedt	062	301	45,8	52,8	12,1	28,6	40,7	2,4

Tab. 5: Bodenversauerung durch atmosphärischen Eintrag von Wasserstoffionen und Ammonium 2004 bei 7 Freilandstandorten.

Messstelle	Nr.	pH-Wert des Regenwassers (Jahresmittelwert)	H ⁺ -Fracht im Regenwasser = H ⁺ _{RW}	NH ₄ -Fracht im Regenwasser	Durch NH ₄ -Aufnahme freigesetzte H ⁺ -Frachten im Boden = H ⁺ _{NH4}	H ⁺ -Gesamtfracht im Boden = H ⁺ _{RW} + H ⁺ _{NH4}	H ⁺ _{NH4} /H ⁺ _{RW}
			mol/ha*a	kg N/ha*a	mol/ha*a	mol/ha*a	
Dörenberg	005	5,4	50,5	10,5	751	802	15
Trillenberg	013	5,9	17,3	9,5	681	699	39
Kreuzberg	014	5,8	17,1	7,6	541	558	32
Markhausen	032	6,2	5,2	8,1	579	584	111
Dinklage	033	6,3	3,9	9,8	699	702	179
Buer-Ostenwalde	054	5,6	21,0	7,2	514	535	24
Goldenstedt	061	5,8	14,8	7,6	544	558	37
Stat. Kenngrößen nds. Jahresfrachten 2003/2004 von 55 Freilandstandorten ⁵							
Mittelwert			41,8	6,4	455	497	26
Minimalwert			1,9	3,2	232	279	1,4
Maximalwert			202	10,9	776	802	307
50 -Perzentil (Median)			30,2	6,2	442	488	14
75-Perzentil			55,3	7,5	533	579	26
90 -Perzentil			94,4	8,7	618	642	46
95 -Perzentil			106	9,3	664	685	87

Wert liegt im nds. Vergleich im unteren Bereich (< 50 - Perzentil)
 Wert liegt im nds. Vergleich im leicht erhöhten Bereich (>=50- und < 75-Perzentil)
 Wert liegt im nds. Vergleich im erhöhten Bereich (>=75 und < 90-Perzentil)
 Wert liegt im nds. Vergleich im hohen Bereich (>=90- und <95-Perzentil)
 Wert liegt im nds. Vergleich im sehr hohen Bereich (>=95-Perzentil)



Tab. 6: Bodenversauerung durch atmosphärischen Eintrag von Wasserstoffionen und Ammonium 2004 bei 3 Traufenstandorten.

Messstelle	Nr.	pH-Wert des Regenwassers (Jahresmittelwert)	H ⁺ -Fracht im Regenwasser = H ⁺ _{RW}	NH ₄ -Fracht im Regenwasser	Durch NH ₄ -Aufnahme freigesetzte H ⁺ -Frachten im Boden = H ⁺ _{NH4}	H ⁺ -Gesamtfracht im Boden = H ⁺ _{RW} + H ⁺ _{NH4}	H ⁺ _{NH4} /H ⁺ _{RW}
			mol/ha*a	kg N/ha*a	mol/ha*a	mol/ha*a	mol/ha*a
Dörenberg II (Traufe Nord)	057	6,1	4,8	52,2	3729	3733	777
Buer-Ostenwalde	055	5,8	12,7	29,0	2071	2084	163
Goldenstedt	062	6,5	0,99	28,6	2043	2044	2063