

AMMONIAK-MESSBERICHT



Ammoniakmessungen in der Zentralschweiz von 2000 bis 2012

Version: 13.01.2014

Autoren: Susanne Bieri, inNET Monitoring AG
Christian Ruckstuhl, inNET Monitoring AG

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	- 4 -
1.1	Ammoniakemissionen: Entwicklung und Prognose	- 4 -
1.2	Richtwerte.....	- 5 -
1.3	Übersicht Messungen in der Zentralschweiz	- 6 -
1.4	Räumliche Übersicht.....	- 7 -
1.4.1	Wauwil	- 8 -
1.4.2	Eschenbach.....	- 9 -
1.4.3	Neudorf	- 10 -
1.4.4	Schüpfheim.....	- 10 -
1.4.5	Holderhus	- 11 -
1.4.6	Root Michaelskreuz	- 12 -
1.4.7	Nidwalden	- 13 -
1.4.8	Obwalden	- 15 -
1.4.9	Schwyz.....	- 15 -
1.4.10	Uri	- 17 -
1.4.11	Zug	- 18 -
1.4.12	Rigi-Seebodenalp (NABEL).....	- 20 -
1.5	Graphische Darstellung der Messperioden	- 21 -
1.6	Qualitätssicherung der Messungen.....	- 23 -
1.6.1	Messunsicherheit Passivsammler	- 23 -
2	NH ₃ -Belastung.....	- 24 -
2.1	Punktmessungen	- 24 -
2.2	Modellierung.....	- 29 -
3	Trendanalyse.....	- 31 -
3.1	Jahresmittel-Trendberechnung nach Regionen	- 31 -
3.2	Trendberechnung saisonale Mittel nach Regionen.....	- 32 -
3.2.1	Saisonale Mittel: Sommer	- 32 -
3.2.2	Saisonale Mittel: Winter	- 34 -
3.3	Jahresmittel-Trendberechnung nach Stationen.....	- 35 -
3.4	Trendberechnung saisonale Mittel einzelner Stationen.....	- 37 -
3.5	Betrachtung der Frachten	- 37 -
3.6	Einfluss der Meteorologie auf NH ₃ -Trends	- 40 -

3.7	Einfluss der Rahmenbedingungen auf NH ₃ -Trends	- 40 -
3.7.1	Nutztierbestand	- 40 -
3.7.2	Schleppschlaucheinsatz	- 43 -
4	Zusammenfassung, Fazit und Ausblick	- 47 -
5	Anhang	- 49 -
5.1	Charakterisierung der Standorte	- 49 -
5.2	Jahresmittel der Ammoniakkonzentrationen nach Regionen	- 51 -
5.3	Trendberechnungen	- 52 -
5.3.1	Trendberechnung nach Regionen	- 52 -
5.3.2	Jahresmittel-Trendberechnung	- 53 -
5.3.3	Saisonale Mittel: Sommer (Mrz - Sept) – Trendberechnung nach Regionen	- 57 -
5.3.4	Saisonale Mittel: Winter (Okt - Feb) – Trendberechnung nach Regionen	- 58 -
5.4	Saisonale Mittel: Sommer (Mrz – Sept) – Trendberechnung	- 59 -
5.5	Saisonale Mittel: Winter (Okt – Feb) – Trendberechnung	- 64 -
5.6	Karten: Standorte mit Landwirtschaft	- 68 -
5.7	Frachten	- 69 -
5.8	Schleppschlaucheinsatz	- 71 -

1 Einleitung

Ammoniak (NH_3) ist ein gasförmiger Luftschadstoff, welcher für Ökosysteme schädliche Stickstoffeinträge verursacht. Er stammt vorwiegend aus landwirtschaftlichen Emissionen. Gerade im landwirtschaftlich geprägten Kanton Luzern sind die Ammoniakemissionen schweizweit betrachtet sehr hoch.¹ In den übrigen Zentralschweizer Kantonen liegen die Ammoniakemissionen im Bereich des schweizerischen Mittellandes.

1.1 Ammoniakemissionen: Entwicklung und Prognose

Gemäss Bericht „Ammoniakemissionen in der Schweiz 1990 - 2010 und Prognose bis 2020“² stammen von den im Jahr 2010 schweizweit insgesamt emittierten 52.8 Kilotonnen Ammoniak ($\text{NH}_3\text{-N}$) 92 % aus der Landwirtschaft, 7 % aus nicht-landwirtschaftlichen anthropogenen Emissionen und 1 % aus natürlichen Emissionen (Berechnungen mit dem Model Agrammon). Innerhalb der Landwirtschaft weist die Tierproduktion den höchsten Anteil der Emissionen auf (90 %). Die wichtigsten Emissionsstufen sind dabei Hofdüngerausbringung sowie Stall und Laufhof.² Gegenüber den Jahren 1990/92 haben die Ammoniakemissionen gemäss Berechnungen gesamtschweizerisch um 14 % abgenommen. Seit 2000 stagnieren die Werte allerdings (Abbildung 1). Bei den Emissionsstufen fällt vor allem der Anstieg der Emissionen aus dem Stall auf. Dieser Fakt ist auf die erhöhte Gesamtfläche der emittierenden Ställe zurückzuführen.³

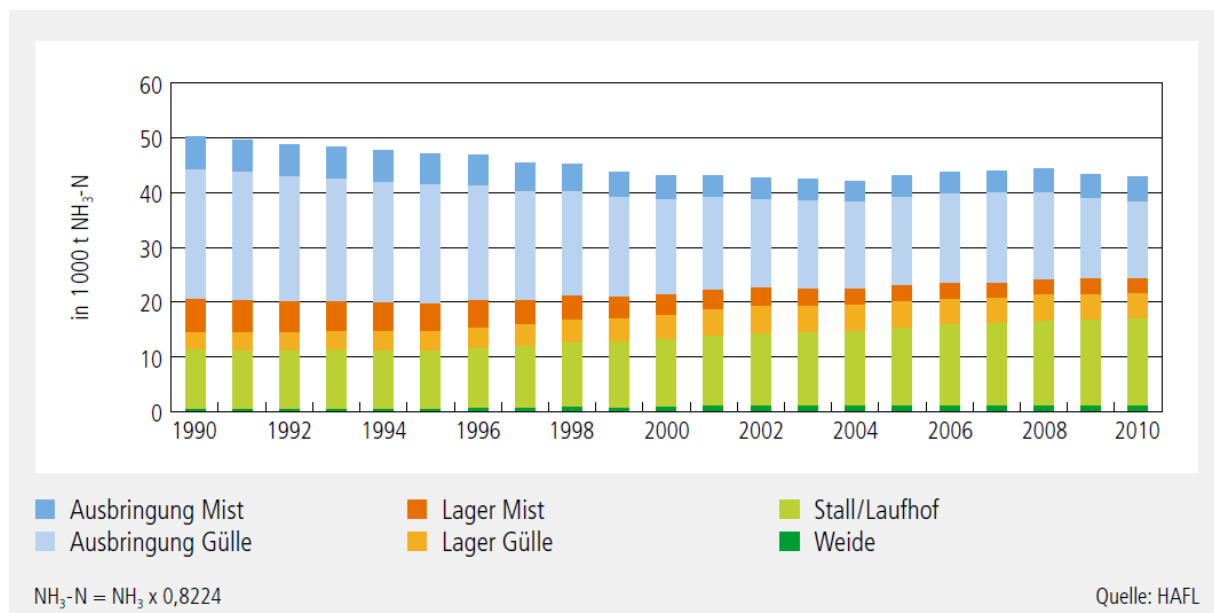


Abbildung 1: Entwicklung der Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung nach Emissionsstufen³

¹ <http://www.umwelt-luzern.ch/ammoniak> [Stand: 02.04.2012]

² Bonjour Engineering GmbH, METEOTEST, Oetiker+Partner AG, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (2013): Ammoniakemissionen in der Schweiz 1990 - 2010 und Prognose bis 2020, BAFU

³ Bundesamt für Landwirtschaft (BLW): Agrarbericht 2012, Bern, 2012

Wird die Stickstoffbilanz der Landwirtschaftsflächen (2010) schweizweit etwas genauer betrachtet, (Abbildung 2), so zeigt sich, dass die Hälfte der Stickstoffeinträge aus Hofdünger stammt. Insgesamt resultiert ein Stickstoffüberschuss, welcher sich in Form von Immissionen in die Umwelt äussert (nebst Ammoniak auch als Nitrat im Grundwasser).⁴

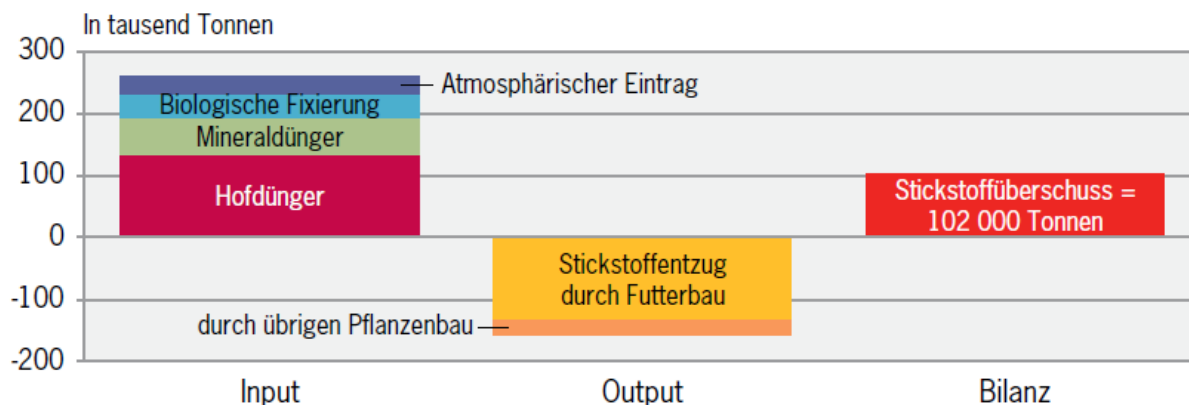


Abbildung 2: Stickstoffbilanz der Landwirtschaftsflächen, 2010, schweizweit, nach Methode OECD (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung).⁴

Interessant ist eine Prognose der Ammoniakemissionen für das Jahr 2020.⁵ Drei verschiedene Szenarien errechnen eine Abnahme der landwirtschaftlichen Emissionen von 1 % (Szenario 2020) bis 8 % (Szenario 2020^{RW}) im Jahr 2020 im Vergleich zum Jahr 2010. Die Unterschiede zwischen den drei Szenarien liegen

- bei der Berücksichtigung der voraussichtlichen Entwicklung der Produktionstechnik
- der Umsetzung der emissionsmindernden Massnahmen gemäss Ressourcenprogramm AP2011 und kantonaler Massnahmenpläne
- der zusätzlichen Umsetzung von emissionsmindernden Massnahmen im Laufhof bei Rindvieh und einem höheren Anteil gedeckter Güllelager.

1.2 Richtwerte

Der Stickstoffüberschuss führt zu einem unerwünschten Stickstoffeintrag in empfindliche Ökosysteme und unter anderem zu einer beschleunigten Bodenversauerung sowie zum Austrag von Nitrat ins Grundwasser. Nebst den Auswirkungen auf die Ökosysteme trägt NH_3 zur sekundären Bildung von Feinstaub bei. Zur Beurteilung der Stickstoffeinträge stehen Critical Loads und Critical Levels der United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)⁶ zur Verfügung. Critical Loads bezeichnen die

⁴ Bundesamt für Statistik (BFS), 2013: Schweizer Landwirtschaft, Taschenstatistik 2013

⁵ Bonjour Engineering GmbH, METEOTEST, Oetiker+Partner AG, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (2013): Ammoniakemissionen in der Schweiz 1990 - 2010 und Prognose bis 2020, BAFU

⁶ UNECE (2007): Report on the Workshop on Atmospheric Ammonia: Detecting Emission Changes and Environmental Impacts. ECE/EB.Air/WG.5/2007/3

Gesamtstickstofffrachten, welche ein Ökosystem verkraften kann, ohne dass nachhaltige Veränderungen zu erwarten sind (Deposition).

Folgende Critical Loads wurden festgelegt:

- 5 – 10 kg N ha⁻¹ a⁻¹ für Hochmoore
- 10 – 15 kg N ha⁻¹ a⁻¹ für montane/subalpine Naturwiesen
- 10 – 20 kg N ha⁻¹ a⁻¹ für Waldökosysteme

Critical Levels beziehen sich auf die Konzentration von Ammoniak in der Atmosphäre (Immission). Als Langzeitbelastungen wurden folgende Critical Levels für Ammoniak festgelegt:

- 1 µg m⁻³ NH₃ für empfindliche Moose und Flechten sowie die damit assoziierten Ökosysteme
- 3 µg m⁻³ NH₃ für höhere Pflanzen mit einem Unsicherheitsbereich von 2 – 4 µg m⁻³

1.3 Übersicht Messungen in der Zentralschweiz

Der Kanton Luzern hat im Jahr 2000 in der Zentralschweiz mit dem Aufbau eines kantonalen Ammoniakmessnetzes mittels Passivsammler begonnen. Diese Messungen sind im ausführlichen Ammoniak-Messbericht der Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) Luzern beschrieben.⁷ Ab dem Jahr 2004 wurde das Ammoniak-Messnetz deutlich ausgebaut. Mit mehreren Beprobungen in einem Gebiet wurden auch methodische Fragen geklärt. Das Messnetz diente als Grundlage für die Erstellung und Überwachung des Lufthygiene-Massnahmenplans Ammoniak sowie aktuell und in Zukunft auch als Wirkungsmonitoring für den Erfolg des Ressourcen-Programms zur Ammoniakminderung.⁸ Im Jahr 2012 wurde durch die inNET Monitoring AG bereits ein Ammoniak-Messbericht im Auftrag der Dienststelle Umwelt und Energie des Kantons Luzern erstellt.⁹

Im Kanton Zug entstand im Jahr 2007 ein kantonales Ammoniakmessnetz mit vier Passivsammlern. Auf dem Kantonsgebiet liegt zudem die Station Zugerberg, welche seit dem Jahr 2000 vom Institut für Angewandte Pflanzenbiologie (IAP) betrieben wird und ebenfalls mit Passivsammlern Ammoniak misst. Drei dieser Standorte befinden sich in der Nähe von empfindlichen Ökosystemen wie Moor, Naturschutzgebiet oder Wald (namentlich Frauental, Zugerberg und Zigerhüttli).

Gestützt auf Artikel 77 a des Bundesgesetzes über die Landwirtschaft und § 12 a des Gesetzes über die Landwirtschaft haben die Zentralschweizer Kantone (Nidwalden, Obwalden, Schwyz, Uri und Zug) das überkantonalen „Ressourcenprojekt Ammoniak Zentralschweiz“ gestartet. Das Projekt begann im Jahr 2010 und dauert bis Ende 2015. Neben freiwilligen Massnahmen im Bereich Stall, Hofdüngerlagerung, Hofdüngerausbringung, einzelbetrieblichen Projekten sowie der Beratung von Landwirten zur Einsparung von Ammoniak-Emissionen, wird ein Wirkungsmonitoring betrieben. Die Ammoniakkonzentration wird pro Kanton in meist einer Geländekammer an drei Messpunkten gemessen.

⁷ Bucher, P. (2010): Ammoniak-Messbericht, Ammoniak-Messnetz Kanton Luzern, Ergebnisse 2000 bis 2009, uwe Luzern

⁸ Kanton Luzern, Umwelt und Energie (2007): Massnahmenplan Luftreinhaltung, Teilplan Ammoniak

⁹ Bieri, S., Ruckstuhl, C. (2012): Ammoniak-Messbericht, Ammoniakmessungen Kanton Luzern 2000 bis 2011, , inNET Monitoring AG

Im vorliegenden Bericht werden im Auftrag der Zentralschweizer Umweltdirektionen (ZUDK) und des uwe Luzern die Ammoniak-Messdaten in der gesamten Zentralschweiz analysiert. In Kapitel 3.7 wird zusätzlich näher auf den Zusammenhang zwischen Landwirtschaft und Ammoniak im Kanton Luzern eingegangen.

1.4 Räumliche Übersicht

Im Kanton Luzern sind insgesamt 6 Messgebiete vorhanden. In jedem Messgebiet gibt es mehrere Messstandorte. Die übrigen Zentralschweizer Kantone weisen im Rahmen des Ressourcenprojekts eine Messung in jeweils einer Geländekammer mit drei Messstandorten auf. Zusätzlich verfügt der Kanton Zug über 5 weitere Messstandorte, verteilt über das gesamte Kantonsgebiet. Abbildung 3 zeigt eine räumliche Gesamtübersicht über die verschiedenen Messgebiete.

An jedem Messstandort sind zwei bis drei Passivsammlerröhrchen in einem Wetterschutzgehäuse montiert (Abbildung 4). Die verschiedenen Messgebiete werden im Folgenden kurz beschrieben. Alle Messstandorte sind in der Tabelle 2 im Detail charakterisiert.

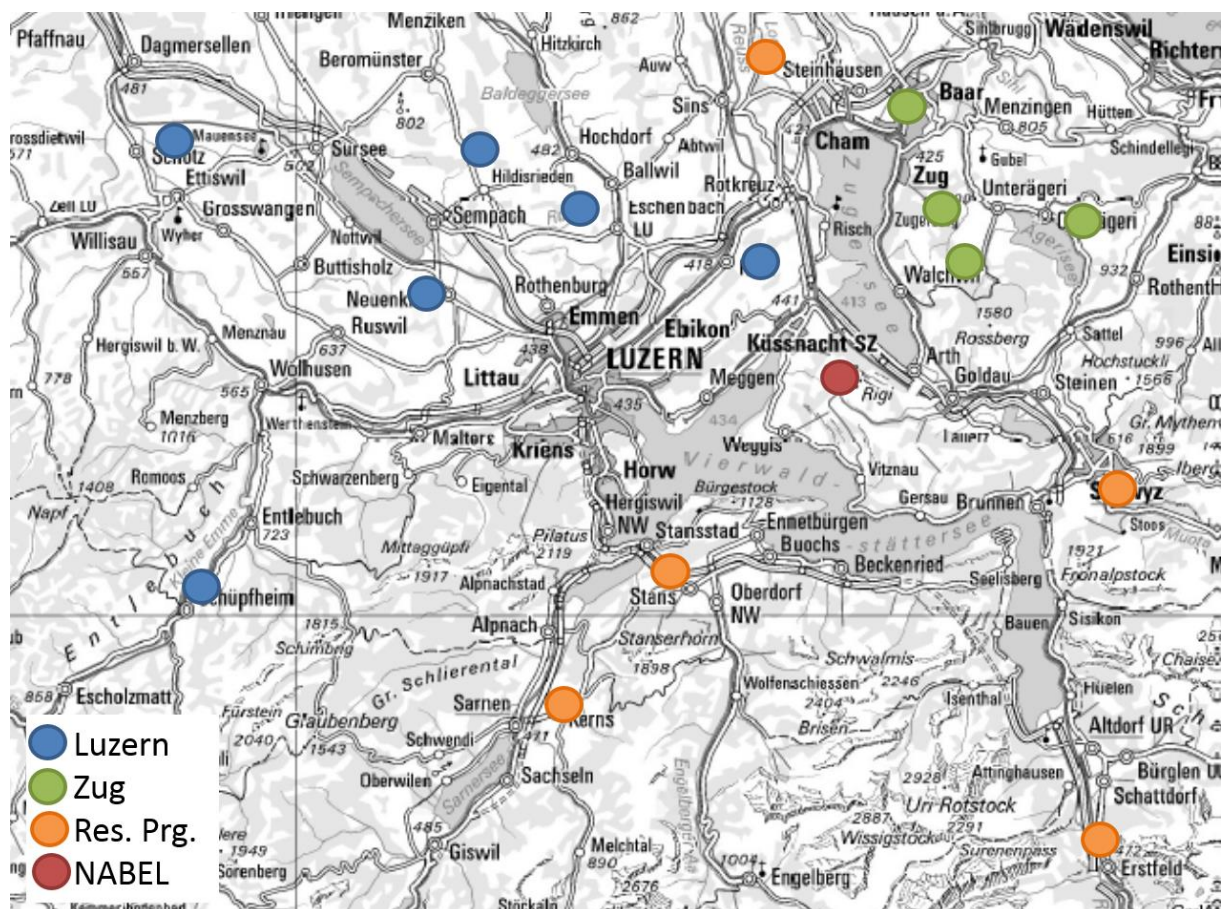


Abbildung 3: Gesamtübersicht der Ammoniakmessungen in der Zentralschweiz

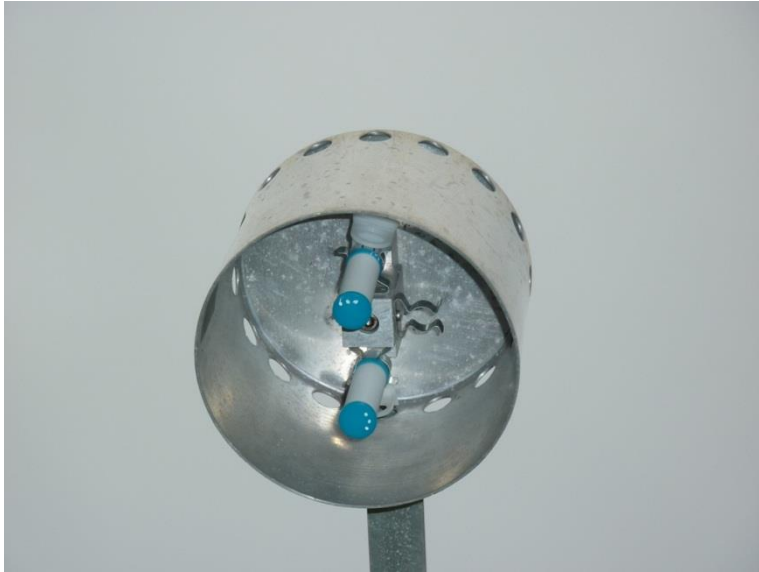


Abbildung 4: Zwei NH_3 -Passivsammlerröhrchen im Wetterschutzgehäuse

1.4.1 Wauwil

Die Ammoniak-Messungen im Messgebiet Wauwil liegen zum grossen Teil seit dem Jahr 2004 vor. An einem Standort (WAU05) wurde im Jahr 2000 mit den Messungen begonnen. An diesem Standort war der Sammler relativ tief ($< 1\text{ m}$) über dem Boden und nahe an einer Hecke positioniert. Aufgrund von Datenlücken sind die Messwerte vor 2004 nur bedingt nutzbar. Es wurde im Jahr 2004, wie in Abbildung 5 ersichtlich, ein Nord-Süd- und ein Ost-West-Transekt erstellt, um die lokal-räumliche Verteilung der Ammoniakkonzentration zu durchleuchten. Zusätzlich wurden rund um das Naturschutzgebiet Wauwiler Moos Ammoniakmessungen durchgeführt. Dabei wurde auch ein Höhenprofil auf 2, 3 und 4 m Höhe errichtet, um den Einfluss des Bodens als Senke zu überprüfen (Standort WAU16). Die Fläche rund um das Schutzgebiet wird intensiv als Weide und Ackerland genutzt und auch gedüngt. Es befinden sich allerdings keine Höfe oder Ställe in unmittelbarer Nähe. Wie in Abbildung 5 zu erkennen ist, wird die flache Ebene durch Baumreihen durchkreuzt, welche als Senke für Ammoniak dienen. Durch die topographische Lage des Messgebietes bilden sich oft bodennahe Inversionen aus.



Abbildung 5: Räumliche Übersichtsgrafik des Messgebietes Wauwil; schwarze Kreise markieren diejenigen Stationen, welche im Jahr 2012 in Betrieb sind

1.4.2 Eschenbach

Im Messgebiet Eschenbach (siehe Abbildung 6) wird eine Mischwirtschaft aus Ackerbau, Milchwirtschaft und Schweinezucht betrieben. Trotz des leicht hügeligen Geländes bildet sich auch hier oft bodennahe Kaltluft aus, die jedoch in Richtung Baldeggersee abfließt. Ammoniakmessungen werden seit 2004 durchgeführt, zum jetzigen Zeitpunkt sind noch fünf Messstandorte in Betrieb.



Abbildung 6: Räumliche Übersichtsgrafik des Messgebietes Eschenbach; schwarze Kreise markieren diejenigen Stationen, welche im Jahr 2012 in Betrieb sind

1.4.3 Neudorf

Abbildung 7 zeigt das Messgebiet Neudorf. Dieses Messgebiet liegt etwas erhöht auf 740 m ü. M. Auch hier herrschen Weiden, Ackerwirtschaft und Schweinezucht vor. An den drei Standorten werden seit 2006 Ammoniakmessungen durchgeführt. Durch die erhöhte Lage ist das gesamte Messgebiet gut durchlüftet und liegt häufig über Inversionen im Talgrund.



Abbildung 7: Räumliche Übersichtsgrafik des Messgebietes Neudorf; alle Standorte sind im Jahr 2012 in Betrieb

1.4.4 Schüpheim

Das Messgebiet Schüpheim besteht aus drei Messstandorten (siehe Abbildung 8). Am Standort SCHÜ00 werden seit 1999 Ammoniakmessungen durchgeführt. Im Jahr 2007 kamen dann die zwei anderen Standorte hinzu. Der Standort SCHÜ00 war ursprünglich frei stehend, wurde allerdings mit der Zeit von einem Gebüsch überwachsen. Im Frühling 2007 wurde er deswegen um ca. 8 m verschoben. Das Messgebiet ist von Viehzucht, Weiden, Wald und Sömmerung geprägt. Der Standort SCHÜ01 liegt nördlich eines Stalles, SCHÜ02 am Ufer der Kleinen Emme. Diese unterschiedlichen Lagen machen sich direkt in den Ammoniakkonzentrationen bemerkbar.



Abbildung 8: Räumliche Übersichtsgrafik des Messgebietes Schöpfheim; alle Standorte sind im Jahr 2012 in Betrieb

1.4.5 Holderhus

Im Jahr 2000 starteten die Ammoniakmessungen im Gebiet Holderhus (siehe Abbildung 9 und Abbildung 10). Die Ammoniakkonzentrationen in diesem Gebiet werden von einem einzigen Betrieb dominiert. Es wurden Parallelmessungen auf 2 und 4 m Höhe vorgenommen (HOL00 und HOL01). Die Landschaft ist kleinräumig sehr unterschiedlich, deshalb ist es schwierig in diesem Messgebiet einen repräsentativen Standort zu finden.



Abbildung 9: Räumliche Übersichtsgrafik des Messgebietes Holderhus; alle Standorte ausser HOL00 sind im Jahr 2012 in Betrieb



Abbildung 10: Messstandort Holderhus 01 (HOL01) auf 4 m über Grund

1.4.6 Root Michaelskreuz

Im Messgebiet Michaelskreuz ist eine Ammoniakmessung seit 2001 in Betrieb (siehe Abbildung 11 und Abbildung 12). Die Ammoniakbelastung stammt vor allem von zwei Betrieben mit Rindern und Hühnern. Der Standort liegt zeitweise über den Inversionen im Mittelland und weist mikroklimatisch eine leichte Aufwindthermik während des Tages auf.



Abbildung 11: Räumliche Übersichtsgrafik des Messgebietes Root Michaelskreuz; der Standort ist im Jahr 2012 in Betrieb



Abbildung 12: Messstandort Root Michaelskreuz mit Blickrichtung Ost

1.4.7 Nidwalden

Im Rahmen des Ressourcenprojekts Ammoniak Zentralschweiz wurden im Kanton Nidwalden ebenfalls drei Messorte installiert. Zwei Messorte liegen westlich von Stans, einer in Oberdorf (siehe Abbildung 13 und Abbildung 14). Die beiden Messstandorte bei Stans befinden sich auf der Stanser Ebene. Der Messstandort von Oberdorf befindet sich nahe der Engelberger Aa, Richtung Engelbergertal.



Abbildung 13: Räumliche Übersicht im Messgebiet Nidwalden



(a)



(b)

Abbildung 14: (a) Messstandort NW-01 Stans Galgenried Nord und (b) Messstandort NW-03 Oberdorf Schiessstand¹⁰

¹⁰ Seitler, E., Thöni, L., Schnyder, R., Rihm, B. (2013): Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz, Beschreibung der Standorte und Daten. Bezugsquelle: FUB, 8640 Rapperswil

1.4.8 Obwalden

Auch im Kanton Obwalden wurden im Rahmen des Ressourcenprojekts Ammoniak Zentralschweiz drei Messorte installiert. Die Standorte stehen in Kerns in einer Ebene nordöstlich des Ortsteils Sand, wenige hundert Meter neben einer wenig befahrenen Strasse (siehe Abbildung 15).



Abbildung 15: Räumliche Übersicht im Messgebiet Obwalden

1.4.9 Schwyz

Im Talkessel von Schwyz in der Nähe von Ibach liegen die drei Ammoniak-Messorte des Kantons Schwyz. Alle drei Standorte befinden sich in der Nähe von kleinen, wenig befahrenen Strassen (siehe Abbildung 16 und Abbildung 17).



Abbildung 16: Räumliche Übersicht im Messgebiet Schwyz



Abbildung 17: Messstandort Rossmattli, SZ-03, im Talkessel von Schwyz gelegen¹¹

¹¹ Seitler, E., Thöni, L., Schnyder, R., Rihm, B. (2013): Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz, Beschreibung der Standorte und Daten. Bezugsquelle: FUB, 8640 Rapperswil

1.4.10 Uri

Die drei Ammoniak-Messorte des Kantons Uri, welche ebenfalls im Rahmen des Ressourcenprojekts Ammoniak Zentralschweiz installiert wurden, liegen in der Ebene zwischen Schattdorf und Erstfeld (Urner Reusstal). Sie sind auf offenem Wiesland platziert, welches für Futterbau und Weide verwendet wird (siehe Abbildung 18 und Abbildung 19).



Abbildung 18: Räumliche Übersicht im Messgebiet Uri



Abbildung 19: Messstandort Uri-02¹²

¹² Seitler, E., Thöni, L., Schnyder, R., Rihm, B. (2013): Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz, Beschreibung der Standorte und Daten. Bezugsquelle: FUB, 8640 Rapperswil

1.4.11 Zug

Neben fünf kantonalen Messstandorte hat der Kanton Zug im Rahmen des Ressourcenprojekts Ammoniak Zentralschweiz zusätzlich drei Messorte installiert. Diese liegen im Gebiet um Niederwil (Gemeinde Cham, siehe Abbildung 20 und Abbildung 21). Die Topographie ist leicht hügelig, offen und gut durchlüftet.



Abbildung 20: Räumliche Übersicht im Messgebiet Niederwil (Cham) inkl. kantonaler Messstandort Kloster Frauental



Abbildung 21: Messstandort Grob (ZG-02)¹³

¹³ Seitler, E., Thöni, L., Schnyder, R., Rihm, B. (2013): Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz, Beschreibung der Standorte und Daten. Bezugsquelle: FUB, 8640 Rapperswil

Die fünf kantonalen Messstandorte verteilen sich über das gesamte Kantonsgebiet, wovon die Station Zugerberg 1 durch das IAP betrieben wird (siehe Abbildung 22).

- Inwil (INWI): Der Messort steht im Baarer Talboden in einer Landwirtschaftszone mit: intensiver Wiesen – und Weidebewirtschaftung.
- Zigerhüttli (ZIGE): Der Standort befindet sich im Hochmoor-Naturschutzgebiet Zigerhüttli bei Oberägeri.
- Fruebüel (FRÜE): Der Messort steht im landwirtschaftlichen Versuchsbetrieb der ETH Zürich, nahe von Mooregebieten, und repräsentiert die Höhenzone der Voralpen-Landwirtschaft.
- Kloster Frauental (FRAU): Der Standort steht in der Nähe des Naturschutzgebietes Lorze, inmitten von ökologischen Ausgleichsflächen.
- Zugerberg 1 (ZB01): Der Messstandort befindet sich auf der Kuppe eines Hügels in einer Kuhweide auf dem Dach eines Messcontainers.

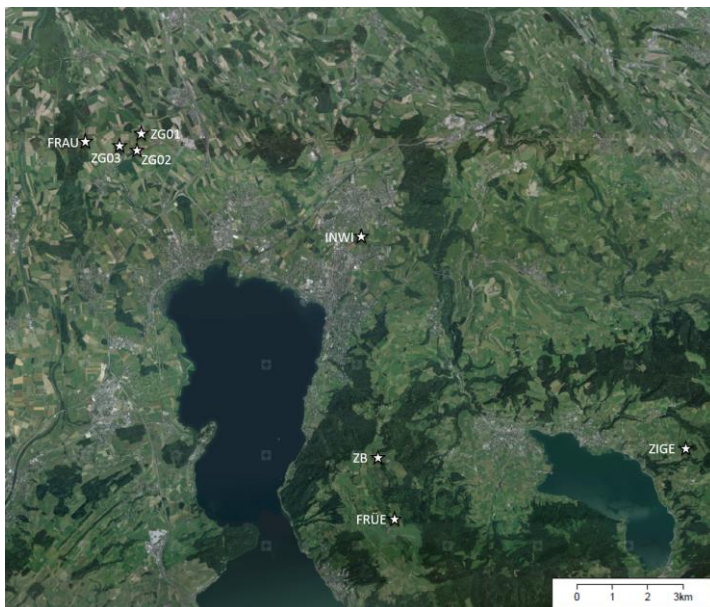


Abbildung 22: Räumliche Übersicht der kantonalen Passivsammler Zug sowie der Passivsammler vom „Ressourcenprojekt Ammoniak“

1.4.12 Rigi-Seebodenalp (NABEL)

Bei der NABEL-Station Rigi-Seebodenalp befindet sich ebenfalls ein Ammoniak-Messstation. Die Station befindet sich auf der Krete der Mülmannsegg, 600 m über dem Vierwaldstättersee auf gut 1000 m ü. M (siehe Abbildung 23 und Abbildung 24).

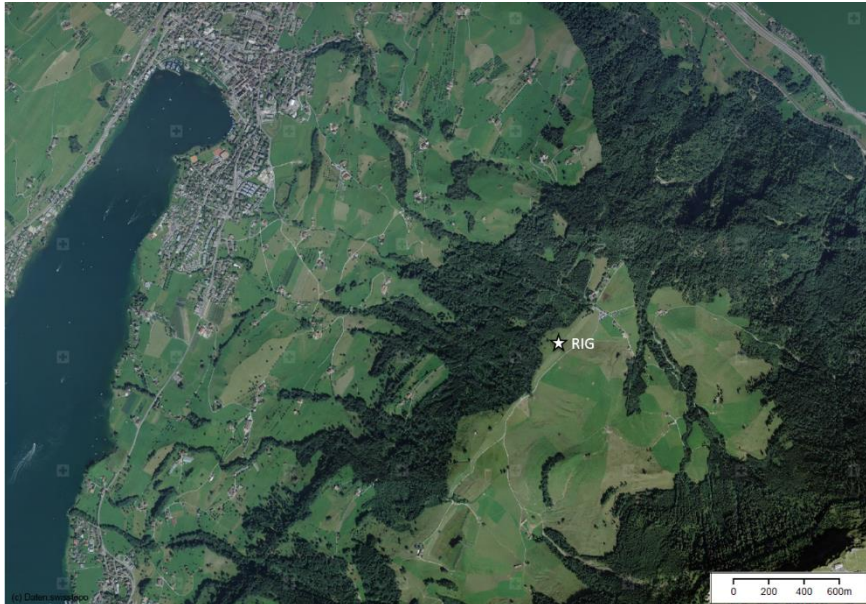


Abbildung 23: Räumliche Übersicht im Gebiet der NABEL-Station Rigi-Seebodenalp



Abbildung 24: Messstandort Rigi-Seebodenalp (RIG)

1.5 Graphische Darstellung der Messperioden

Abbildung 25 zeigt eine graphische Darstellung der Messperioden für alle Messstandorte in der Zentralschweiz inklusive der NABEL-Station Rigi-Seebodenalp. Die frühesten Messungen begannen 1999 im Gebiet Wauwil, Holderhus, Schüpfheim sowie auf dem Zugerberg und der Rigi-Seebodenalp. Ab dem Jahr 2004 wurden im Kanton Luzern verschiedene Messkampagnen durchgeführt (z. B. Ost-West-Transekt, Höhenprofile), wodurch für diese Zeit viele Messergebnisse vorliegen. Ende 2012 bestanden im Kanton Luzern noch 22 Ammoniakmessstandorte, aufgeteilt auf die 6 Messgebiete. Im Kanton Zug wurde ab dem Jahr 2007 mit vier kantonalen Passivsammler nahe empfindlichen Ökosystemen die Ammoniakkonzentration gemessen. Im Jahr 2010 startete das Ressourcenprojekt in den Zentralschweizer Kantonen Nidwalden, Obwalden, Schwyz, Uri und Zug. In diesen fünf Kantonen bestanden Ende 2012 nebst der Rigi-Seebodenalp 20 Ammoniakmessstandorte.

Wie in Abbildung 25 dargestellt, wurde der Standort SCHU00 während der Messphase verschoben. Dieser Standort wurde mit der Zeit von Gebüsch überwachsen und deshalb umplatziert, damit er wieder auf freiem Feld steht. Da die räumliche Verschiebung nur einige Meter betrug, wurden keine Parallelmessungen durchgeführt. Folglich können und müssen die Messwerte vor der Verschiebung nicht korrigiert werden.

Bis ins Jahr 2004 gab es am Standort WAU05 Datenlücken, daher müssen die Daten vor 2004 mit Vorsicht betrachtet werden.

Der Standort HOL01 wurde im Mai 2007 am gleichen Ort wie HOL00 installiert, aber auf einer Höhe von 4 m über Grund. Vom 23.05.2007 bis 08.01.2009 wurde die Konzentration auf beiden Höhen gemessen und eine Umrechnungsformel ermittelt.¹⁵ Die Werte von HOL01 vom November 1999 bis Mai 2007 wurden aus den HOL00-Daten und der Umrechnungsformel berechnet.

Vom 02.11.1999 bis 10.01.2008 war am Standort ZB00 nur ein Passivsammler, auf 1.3 m über Grund exponiert, in Betrieb. Vom 28.02.2008 bis 11.03.2009 mass der Passivsammler ZB01, aufgehängt auf 2.2 m über Grund und um wenige Meter verschoben, parallel zu ZB00. Danach wurde nur noch der Passivsammler ZB01 betrieben. Die Werte vor 2008 wurden mittels der Parallelmessung rückwirkend korrigiert.¹⁴

¹⁴ Seitler, E., Thöni, L., Schnyder, R., Rihm, B. (2013): Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz, Beschreibung der Standorte und Daten. Bezugsquelle: FUB, 8640 Rapperswil

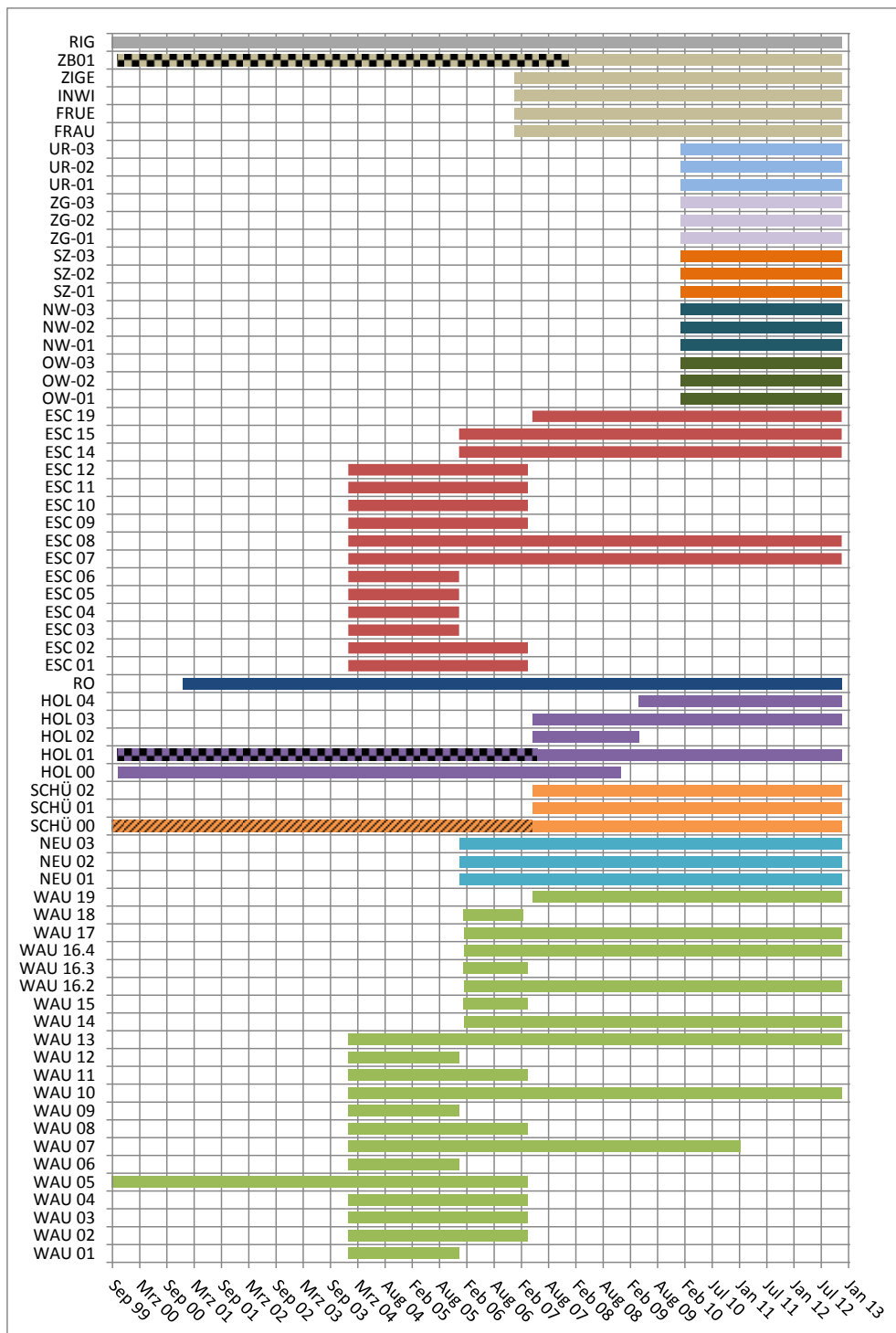


Abbildung 25: Zeitliche Übersichtsgrafik aller Messstandorte in der Zentralschweiz, farblich unterteilt in die verschiedenen Messgebiete. Bei Standorten, welche innerhalb der Messung verschoben wurden, sind die Balken mit schwarzen Schrägstrichen markiert. Die Werte von HOL01 vor Juni 2007 (schachbrettartig gemustert) sind rückwirkend korrigiert worden,^{15,16} das Gleiche gilt für die Werte von ZB01 vor 2008 (ebenfalls schachbrettartig gemustert).¹⁷

¹⁵ Die Umrechnung für die Werte vor 2007 wurde durch eine Parallelmessung mit HOL00 ermittelt: $HOL01 = HOL00 \cdot 0.98 + 0.90$ ($R^2 = 0.95$)

¹⁶ Mündliche Mitteilung Eva Seitler, FUB, 15.03.2012

¹⁷ Die Umrechnung für die Werte vor 2008 wurde durch eine Parallelmessung mit ZB00 ermittelt: $ZB01 = ZB00 \cdot 1.05$ ($R^2 = 0.97$)

1.6 Qualitätssicherung der Messungen

1.6.1 Messunsicherheit Passivsammler

Um die Messresultate genauer interpretieren zu können, ist es von Nutzen, Kenntnis über die Messunsicherheiten zu haben.

Eine gängige Grösse zur Abschätzung der Messunsicherheit ist die „erweiterte Messunsicherheit“. Diese ergibt sich aus der Standardmessunsicherheit, multipliziert mit dem Erweiterungsfaktor $k = 2$. Sie entspricht bei einer Normalverteilung der Abweichungen vom Messwert einer Überdeckungswahrscheinlichkeit von 95 %. In Vergleichsmessungen mit anderen Messsystemen wurde für die Radiello-Passivsammler eine erweiterte Messunsicherheit¹⁸ von im Jahresmittel $0.6 \mu\text{g m}^{-3}$ ermittelt. Wird mit zwei bis drei Röhrchen pro Standort gemessen, reduziert sich die Unsicherheit um zirka einen Faktor 1.5.

Ein Vergleich von parallel messenden Passivsammlerröhrchen (2 Wochen Expositionszeit) hat gezeigt, dass 90 % der Datenpaare weniger als $0.9 \mu\text{g m}^{-3}$ auseinanderliegen.¹⁹ Daraus kann eine Unsicherheit (90%-Bereich) von $0.17 \mu\text{g m}^{-3}$ für einen Jahresmittelwert abgeleitet werden.

Für die absoluten Werte kann daher von einer Unsicherheit von etwa $0.4 \mu\text{g m}^{-3}$ für die Jahresmittel und für die relativen Werte (Änderungen) von weniger als $0.2 \mu\text{g m}^{-3}$ für die Jahresmittel ausgegangen werden.

¹⁸ Dämmgen et al. (2010): Feldexperiment zum Methodenvergleich von Ammoniak- und Ammonium-Konzentrationsmessungen in der Umgebungsluft, 2005 bis 2008 in Braunschweig, Landbauforschung Sonderheft 337

¹⁹ Bucher, P. (2010): Ammoniak-Messbericht, Ammoniak-Messnetz Kanton Luzern, Ergebnisse 2000 bis 2009, uwe Luzern

2 NH₃-Belastung

2.1 Punktmessungen

Für die Berechnung eines mittleren Jahresganges wurden vier Stationen mit unterschiedlicher Bewirtschaftung sowie langer Datenverfügbarkeit ausgewählt (Abbildung 26). Alle Standorte weisen einen typischen Jahresgang auf, mit tieferen Ammoniakkonzentrationen im Winter und höheren im Sommer. Die tiefsten Konzentrationen werden an allen Stationen in den Wintermonaten Dezember bis Februar erreicht. Der Anstieg im März ist vor allem an intensiv landwirtschaftlich geprägten Standorten (SCHU00 sowie HOL01) stark ausgeprägt. Zudem sind an diesen intensiv landwirtschaftlich genutzten Standorten auch erhöhte Werte im November ersichtlich.

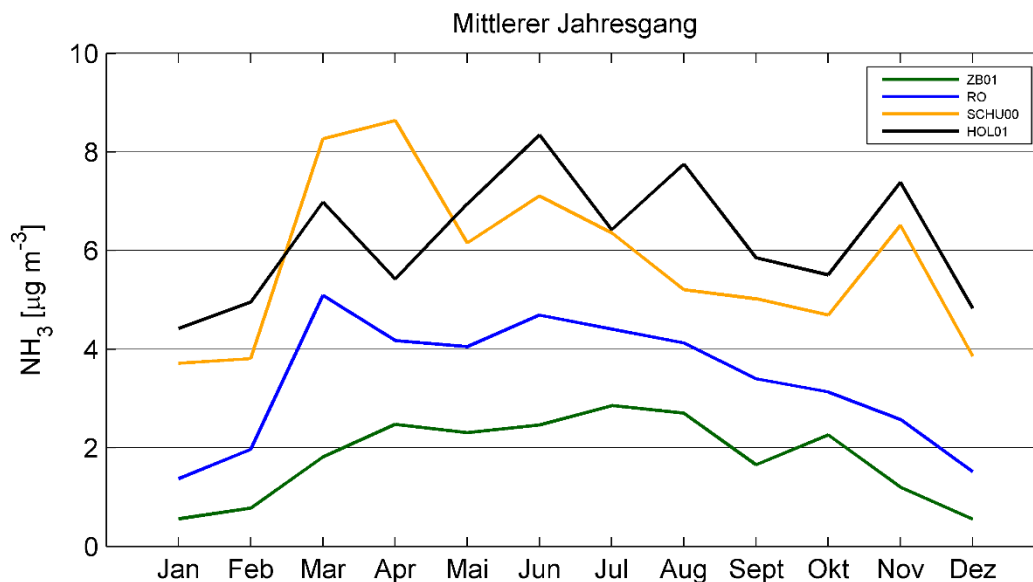


Abbildung 26: Vergleich des Jahresgangs unterschiedlicher Stationen mit verschiedener Bewirtschaftung. Mittelung von 2000 bis 2012 (mit Ausnahme von RO: Mittelung von 2001 bis 2012).

Die Jahresmittel der Ammoniak-Konzentrationen ausgewählter Messstandorte über die jeweilige Messperiode sind auch im Anhang, Kapitel 5.2, eingefügt. Tabelle 1 und Abbildung 27 zeigen die mehrjährigen Jahresmittel der Ammoniakkonzentration der verschiedenen Messgebiete. Der Critical Level von $3 \mu\text{g m}^{-3}$ (für höhere Pflanzen) wurde in den meisten Messgebieten in den letzten Jahren überschritten. Massive Überschreitungen des Critical Levels um den Faktor 2 bis 3 sind üblich.

Tabelle 1: Mehrjähriges Jahresmittel (2010 - 2012) der Ammoniakkonzentration in den verschiedenen Messgebieten

Messgebiet	Mehrjähriges Mittel (2010 – 2012) NH ₃ -Konzentration
Wauwil (WAU10, WAU13, WAU14, WAU16.2, WAU16.4, WAU17, WAU19)	8.2 µg m ⁻³
Eschenbach (ESC07, ESC08, ESC14, ESC15, ESC19)	8.5 µg m ⁻³
Holderhus (HOL01, HOL03)	6.0 µg m ⁻³
Schüpfheim (SCHU00, SCHU01, SCHU02)	8.3 µg m ⁻³
Root, Michaelskreuz (RO)	3.3 µg m ⁻³
Neudorf (NEU01, NEU02, NEU03)	5.4 µg m ⁻³
Nidwalden (NW-01, NW-02, NW-03)	6.9 µg m ⁻³
Obwalden (OW-01, OW-02, OW-03)	6.5 µg m ⁻³
Schwyz (SZ-01, SZ-02, SZ-03)	5.7 µg m ⁻³
Uri (UR-01, UR-02, UR-03)	6.8 µg m ⁻³
Zug (ZG-01, ZG-02, ZG-03)	9.5 µg m ⁻³
Kloster Frauental (FRAU)	3.7 µg m ⁻³
Frübüel (FRÜE)	1.7 µg m ⁻³
Inwil (INWI)	4.3 µg m ⁻³
Zigerhüttli (ZIGE)	2.1 µg m ⁻³
Zugerberg 1 (ZB01)	1.7 µg m ⁻³
Rigi-Seebodenalp (RIG)	1.4 µg m ⁻³

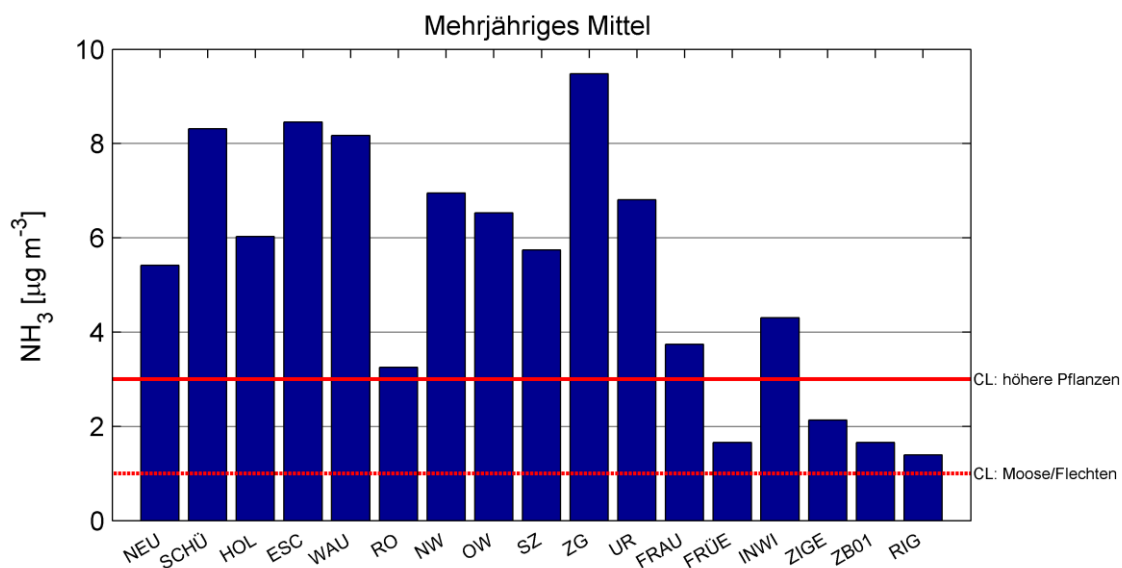


Abbildung 27: Mehrjähriges Mittel (Mittel über 2010 - 2012) der Ammoniakkonzentration in den einzelnen Messgebieten.

Eine detaillierte Darstellung der Jahresmittel seit 2007 aller Ammoniakmesspunkte im Kanton Zug zeigt die Überschreitung der Critical Levels deutlich über alle Messjahre. An drei Standorten in der Nähe von empfindlichen Ökosystemen (Früebüel, Zigerhüttli und Zugerberg) wird der Critical Level für Moose und Flechten ebenfalls überschritten.

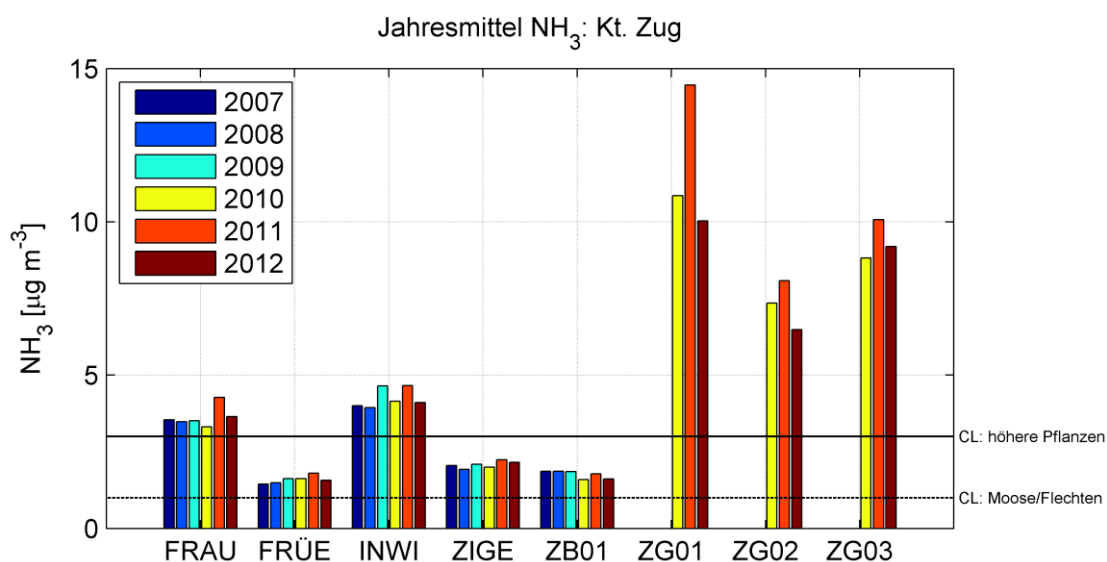


Abbildung 28: Jahresmittel (2007 bis 2012) der Ammoniakkonzentration der einzelnen Messpunkte im Kanton Zug.

Abbildung 29 zeigt den Verlauf der Ammoniakkonzentration seit dem Januar 2010 an den Ressourcenprojekt-Standorten der Zentralschweizer Kantone ohne Luzern. Es ist in jedem Jahr jeweils ein Peak im März erkennbar. Dieser Frühjahrespeak steht im Zusammenhang mit dem mehr oder weniger zeitgleichen Ausbringen der ersten Gülle. Im Dezember und Januar werden die tiefsten Ammoniakkonzentrationen gemessen.

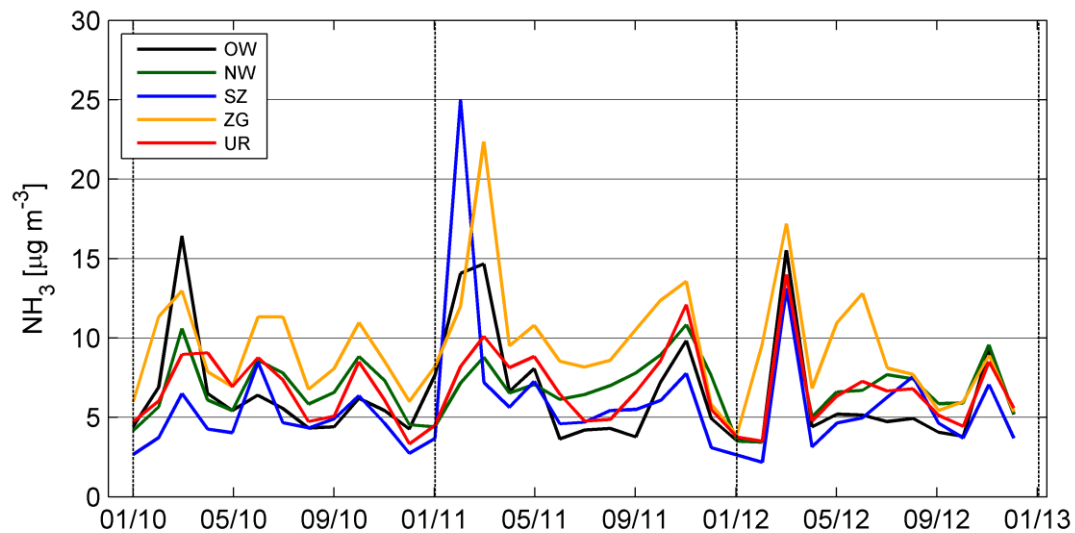


Abbildung 29: Verlauf der Ammoniakkonzentration seit Januar 2010 an den Ressourcenprojekt-Standorten der Zentralschweizer Kantone ohne Luzern.

Abbildung 30 zeigt den Verlauf der Ammoniakkonzentration für die kantonalen Passivsammler in Zug, und zwar seit dem Januar 2010. Die fünf kantonalen Passivsammler zeigen Messwerte auf tieferem Niveau als die Passivsammler des Ressourcenprojekts. Dies ist auf die unterschiedliche landwirtschaftliche Nutzung im Umkreis der Passivsammlerstandorte zurückzuführen. Als Standorte wurden bewusst solche mit geringer Belastung in empfindlicher Umgebung ausgewählt.

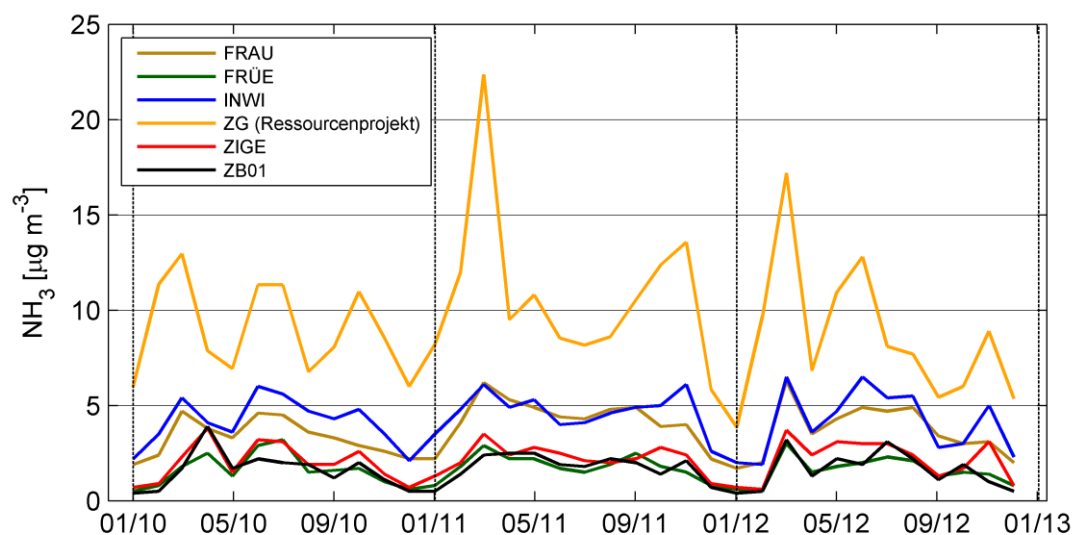


Abbildung 30: Verlauf der Ammoniakkonzentration seit Januar 2010 an den verschiedenen kantonalen Passivsammler-Standorten in Zug sowie den Zuger Ressourcenprojekt-Standorten.

In Abbildung 31 ist der Verlauf der Ammoniakkonzentration seit dem Januar 2010 für die Luzerner Standorte, gemittelt pro Region, dargestellt. In die Mittelung sind dieselben Standorte wie in Tabelle 1 eingeflossen. Die Ammoniakkonzentration verläuft in allen Regionen parallel. Die Regionen Schüpfheim, Wauwil sowie Eschenbach sind am stärksten belastet.

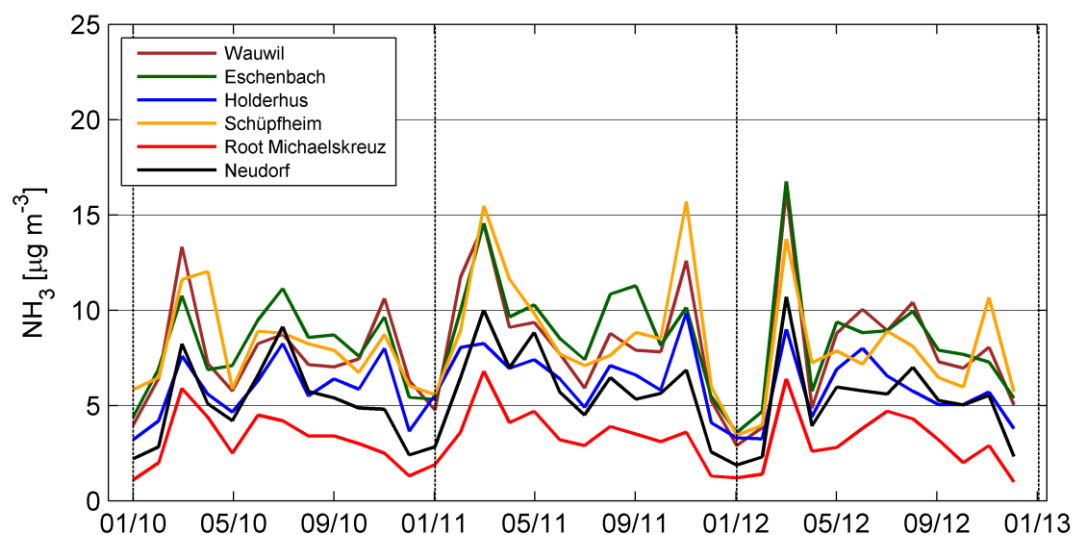


Abbildung 31: Verlauf der Ammoniakkonzentration seit Januar 2010, gemittelt für jeden Standort im Kanton Luzern

2.2 Modellierung

Für das Jahr 2000 und 2007 stehen modellierte Ammoniakkonzentrationen für die ganze Schweiz zur Verfügung. Die Modellierung der Ammoniak-Immissionen wurde von Meteotest im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) durchgeführt.²⁰ Mit Hilfe von Agrarstatistik, landwirtschaftlichen Betriebszählungen und dem Simulationsmodell Agrammon²¹ wurden die gesamtschweizerischen Emissionen bestimmt. Die Auflösung der Modellierung beträgt 100 x 100 m.

Abbildung 32 und Abbildung 33 zeigen die modellierte Ammoniakkonzentration im Jahr 2000 und 2007 in der Zentralschweiz. Gebiete mit erhöhter landwirtschaftlicher Aktivität werden eindeutig sichtbar (Beispiel Kanton Luzern, nördliche Region des Kantons Schwyz). Die Differenz der modellierten Konzentration zwischen 2000 und 2007 zeigt kein eindeutiges Muster (siehe Abbildung 34). Die kleinräumigen zufälligen Änderungen sind vermutlich weitgehend auf Betriebsschliessungen beziehungsweise -aufstockungen zurück zu führen.

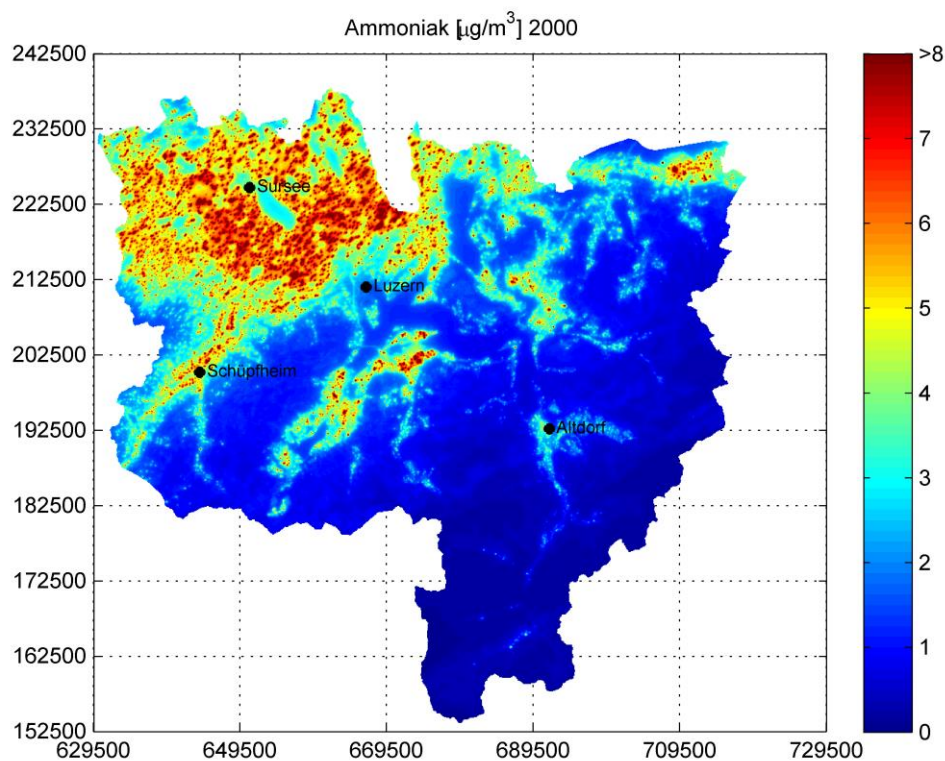


Abbildung 32: Ammoniakkonzentration [$\mu\text{g m}^{-3}$] im Jahr 2000

²⁰ BAFU, Abt. Luftreinhaltung und NIS, Version des Modells: Oktober 2010.

²¹ <http://www.agrammon.ch/>

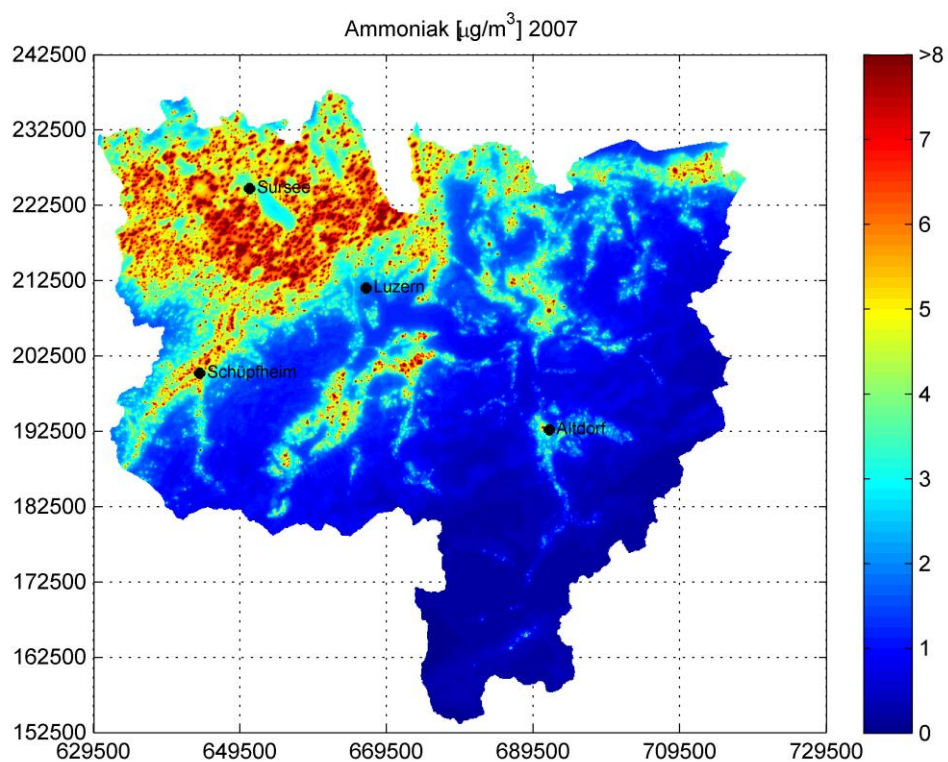


Abbildung 33: Ammoniakkonzentration [$\mu\text{g m}^{-3}$] im Jahr 2007

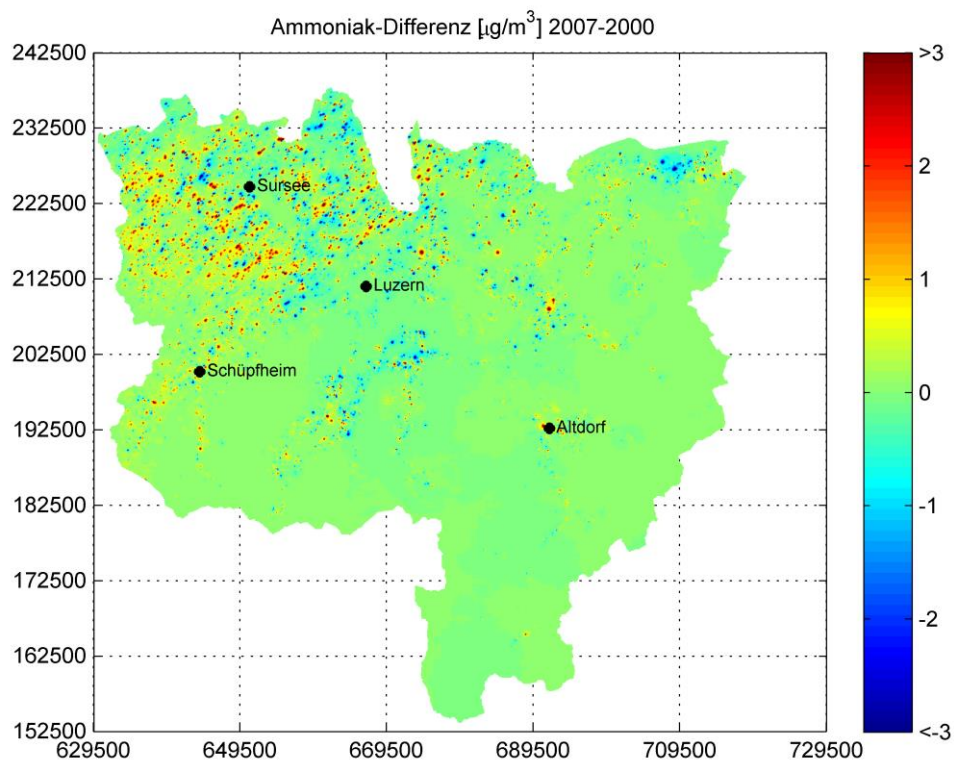


Abbildung 34: Ammoniak-Differenz [$\mu\text{g m}^{-3}$] 2007 minus 2000

3 Trendanalyse

3.1 Jahresmittel-Trendberechnung nach Regionen

Für die folgenden Abbildungen (Abbildung 35 und Abbildung 36) wurden die Jahresmittelwerte der verschiedenen Regionen ab dem Jahr 2007 gemittelt und anschliessend eine Trendberechnung für die jeweilige Region durchgeführt. Exemplarisch sind hier zwei Regionen abgebildet, die restlichen Grafiken sind im Anhang in Kapitel 5.3.1 eingefügt. Der Trend ist jeweils als Änderung in $\mu\text{g m}^{-3}$ pro Jahr angegeben. Zusätzlich wird das 95%-Vertrauensintervall des linearen Trends in eckigen Klammern aufgelistet. Es wurden zur Mittelung jeweils nur Messstationen verwendet, welche repräsentativ für die Messgebiete sind und zudem genügend Messwerte zwischen 2007 und 2012 aufweisen. Die verwendeten Stationen sind in der Bildlegende aufgeführt. In allen Regionen ist eine Zunahme der Ammoniakkonzentration zu erkennen. Durch die meteorologisch bedingten tiefen Ammoniakkonzentrationen im Jahr 2012 ist diese Zunahme allerdings in keiner Region statistisch signifikant.

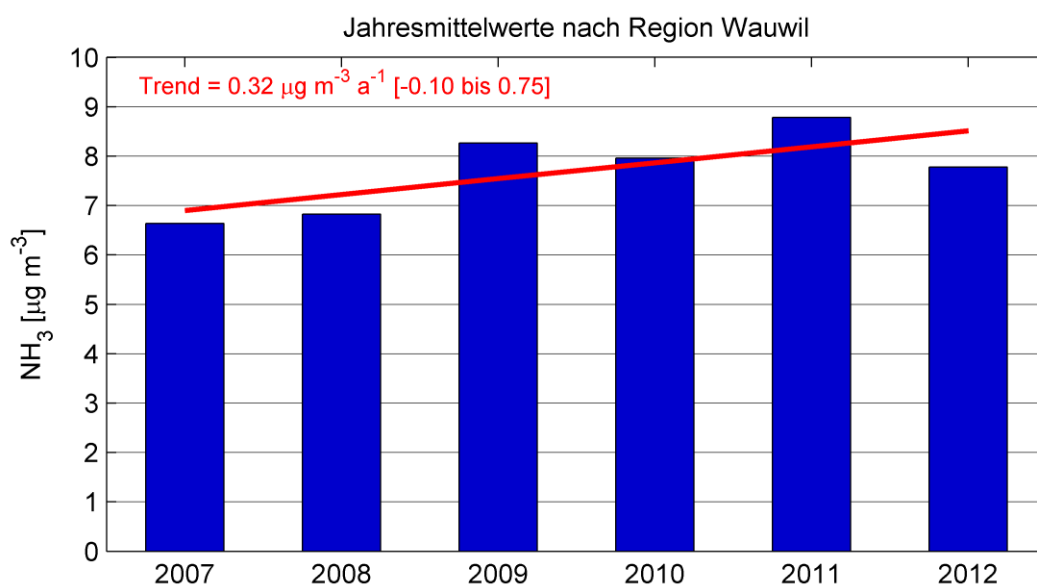


Abbildung 35: Trendberechnung für die gemittelten Jahresmittelwerte der Region Wauwil (verwendete Stationen zur Trendberechnung: WAU07, WAU10, WAU13, WAU14, WAU16.2, WAU16.4, WAU17, WAU19)

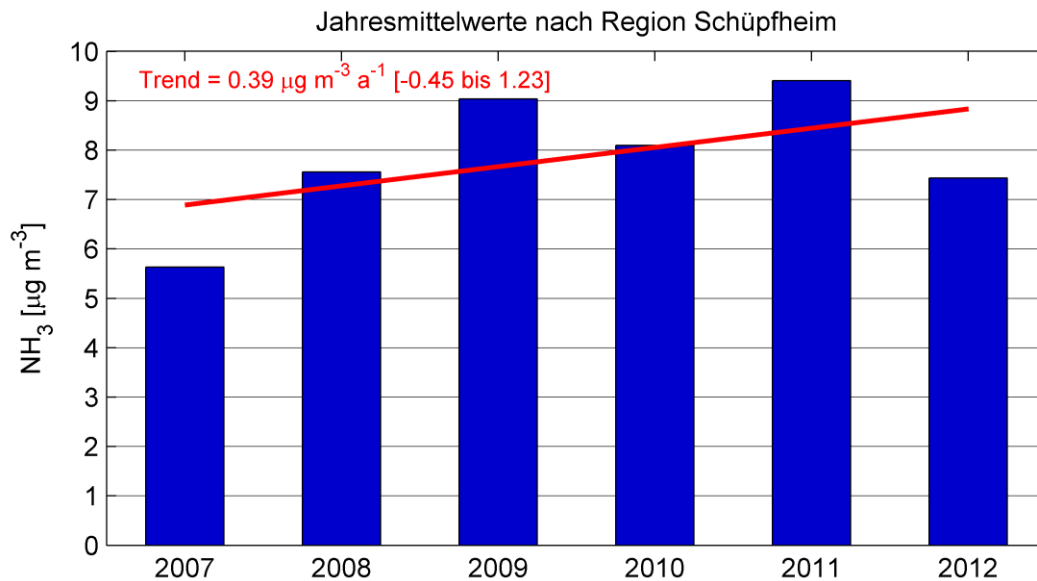


Abbildung 36: Trendberechnung für die gemittelten Jahresmittelwerte der Region Schüpfheim (verwendete Stationen zur Trendberechnung: SCHU00, SCHU01, SCHU02)

3.2 Trendberechnung saisonale Mittel nach Regionen

Da die Ammoniakemissionen durch das Ausbringen der Gülle hauptsächlich während der Sommermonate entstehen, werden auch saisonale Trends begutachtet. Es wurden wie obenstehend die Regionen gemittelt und nach Sommermittel (März bis September) und Wintermittel (Oktober bis Februar) ausgewertet. Wiederum sind exemplarisch nur zwei Regionen abgebildet, die übrigen Grafiken sind im Anhang in Kapitel 5.3.3 und Kapitel 5.3.4 zu finden.

3.2.1 Saisonale Mittel: Sommer

Wiederum ist in allen Regionen eine Zunahme der Ammoniakkonzentration seit 2007 erkennbar (Abbildung 37 und Abbildung 38). Einzig in der Region Wauwil ist die Zunahme statistisch signifikant und beträgt beachtliche $0.53 \mu\text{g m}^{-3}$ pro Jahr. Die Region Schüpfheim zeigt zwar auch eine Zunahme, diese ist aber nicht signifikant.

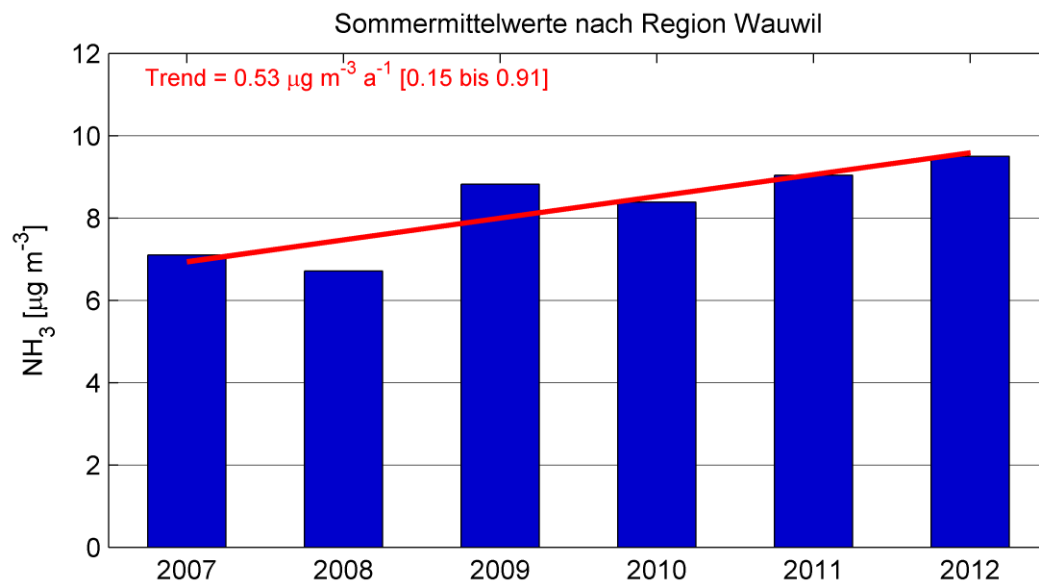


Abbildung 37: Trendberechnung für die gemittelten Sommermittelwerte der Region Wauwil (verwendete Stationen zur Trendberechnung: WAU07, WAU10, WAU13, WAU14, WAU16.2, WAU16.4, WAU17, WAU19)

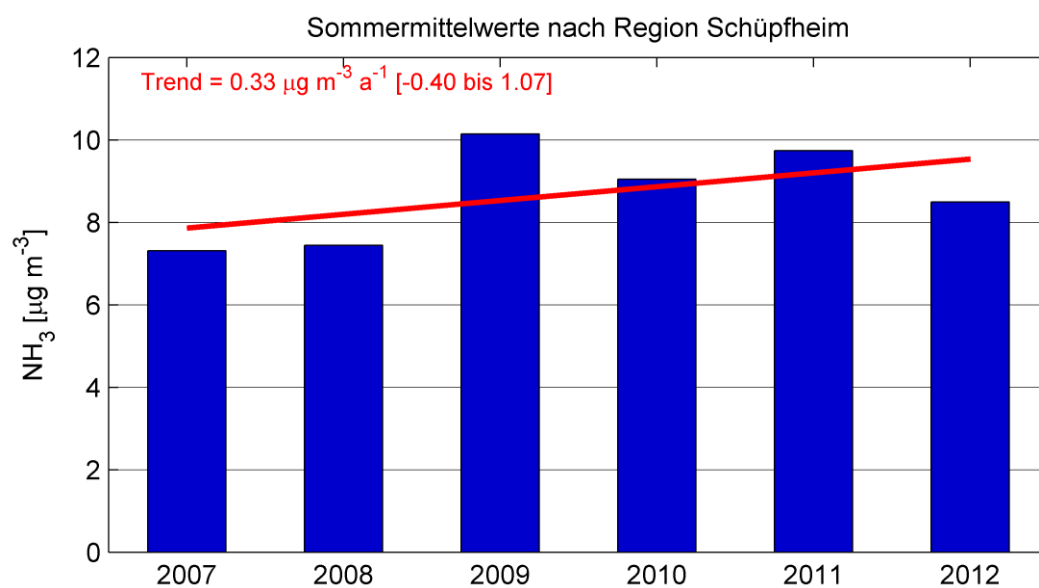


Abbildung 38: Trendberechnung für die gemittelten Sommermittelwerte der Region Schüpfheim (verwendete Stationen zur Trendberechnung: SCHU00, SCHU01, SCHU02)

3.2.2 Saisonale Mittel: Winter

Abbildung 39 und Abbildung 40 zeigen die Wintermittelwerte (Oktober bis Februar) in den zwei Regionen Wauwil und Schüpfheim. Das Jahr bezieht sich jeweils auf den Beginn der Winterperiode. Während des Winterhalbjahres sind die Veränderungen deutlich geringer und nirgends signifikant. Insgesamt zeigen alle Regionen (ausser Neudorf) eine Abnahme der Wintermittelwerte.

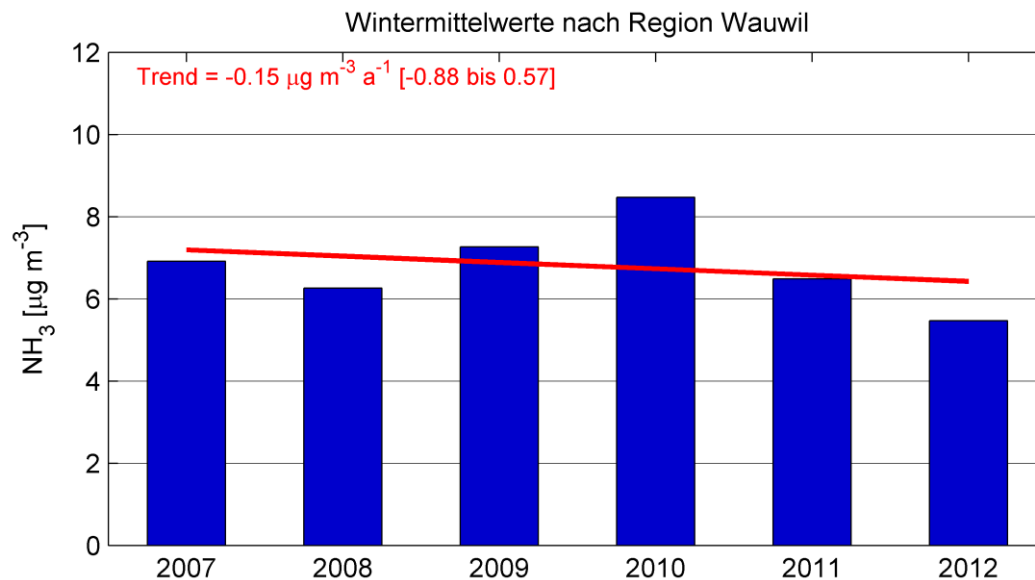


Abbildung 39: Trendberechnung für die gemittelten Wintermittelwerte der Region Wauwil (verwendete Stationen zur Trendberechnung: WAU07, WAU10, WAU13, WAU14, WAU16.2, WAU16.4, WAU17, WAU19)

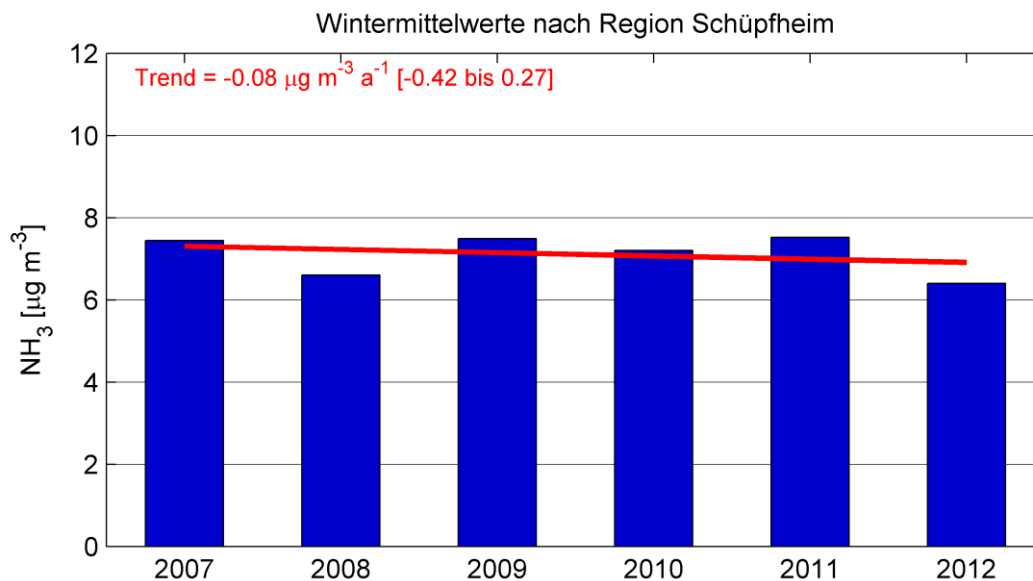


Abbildung 40: Trendberechnung für die gemittelten Wintermittelwerte der Region Schüpfheim (verwendete Stationen zur Trendberechnung: SCHU00, SCHU01, SCHU02)

3.3 Jahresmittel-Trendberechnung nach Stationen

In diesem Unterkapitel werden die Jahresmitteltrendberechnungen an drei ausgewählten Messstationen aufgezeigt. Eine komplette Zusammenstellung der einzelnen Stationen ist im Anhang (Kapitel 5.3) zu finden. Die hier aufgeführten Stationen wurden so ausgewählt, dass verschiedene Standorttypen repräsentiert werden:

- WAU16.4: extensives Wiesland, Schilf
- ESC08: Weideland, Obstkultur, Wald
- ZB01: Weide, Hochmoorrand

Dabei wurde bei der Trendberechnung jeweils ein Trend über die gesamte Messperiode am jeweiligen Standort (Trend_all, graue Linie) und ein Trend seit 2007 berechnet (Trend_07, rote Linie). Abbildung 41 bis Abbildung 43 zeigen die Trendberechnungen für die drei ausgewählten Standorte. Die ersten zwei Standorte (WAU16.4 und ESC08) zeigen sowohl über die gesamte Messperiode wie auch über die letzten sechs Jahre eine Zunahme der Ammoniakimmissionen. Diese Zunahme hat sich im Vergleich zur Analyse bis Ende 2011²² etwas abgeschwächt, da die Ammoniak-Immissionen im Jahr 2012 meteorologisch bedingt tief ausgefallen sind. Die tiefen Ammoniakkonzentrationen im Jahr 2012 führen auch dazu, dass kein Trend mehr signifikant ist. ZB01 zeigt seit 2000 eine leichte Abnahme der Ammoniakkonzentration. Diese ist aber nicht signifikant.

²² Bieri, S., Ruckstuhl, C. (2012): Ammoniak-Messbericht, Ammoniakmessungen Kanton Luzern 2000 bis 2011, inNET Monitoring AG

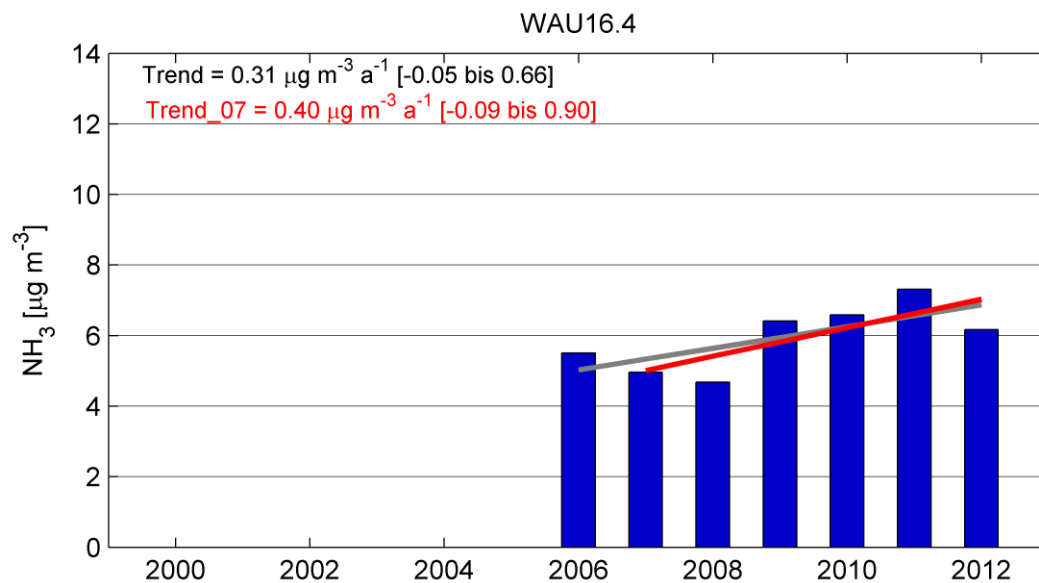


Abbildung 41: Trendberechnung der Jahresmittel am Standort WAU16.4 (extensives Wiesland, Schilf). In grau ist der Trend über alle Jahre der Messperiode dargestellt, in rot der Trend seit 2007.

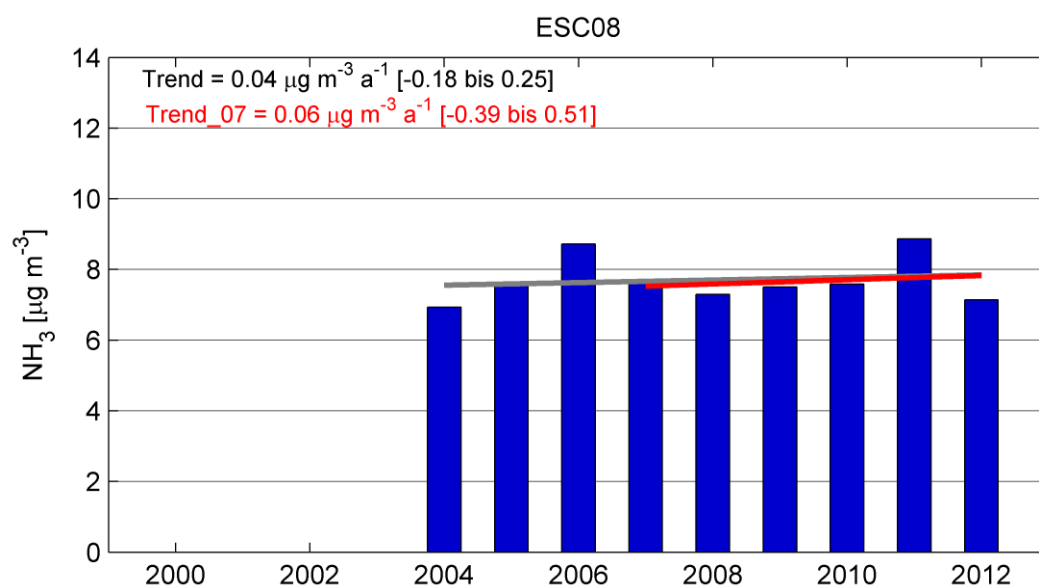


Abbildung 42: Trendberechnung der Jahresmittel am Standort ESC08 (Weideland, Obstkultur, Wald). In grau ist der Trend über alle Jahre der Messperiode dargestellt, in rot der Trend seit 2007.

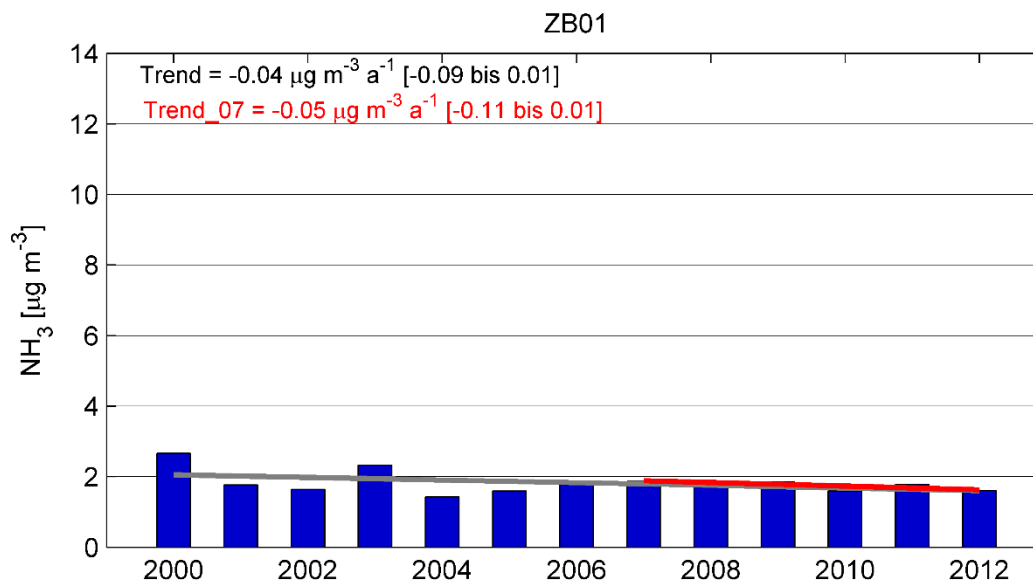


Abbildung 43: Trendberechnung der Jahresmittel am Standort ZB01 (Weide, Hochmoorrand). In grau ist der Trend über alle Jahre der Messperiode dargestellt, in rot der Trend seit 2007.

3.4 Trendberechnung saisonale Mittel einzelner Stationen

Nebst den saisonalen gemittelten Trends der verschiedenen Regionen (Kapitel 3.2) wurden auch die saisonalen Trends aller Standorte ausgewertet. Diese Grafiken sind im Anhang, Kapitel 5.3.3 und Kapitel 5.3.4, zu finden.

3.5 Betrachtung der Frachten

Zusätzlich zu den Critical Levels wurden zur Beurteilung von Stickstoffmengen auch Critical Loads eingeführt. Critical Loads beziehen sich auf Gesamtstickstoff-Frachten (Deposition). Sie bezeichnen somit die Grenze für den Eintrag von Stickstoff in empfindliche Ökosysteme, unterhalb welcher bei längerfristigem Eintrag nicht mit schädlichen Auswirkungen auf Struktur und Funktion des Ökosystems gerechnet werden muss. Die international festgelegten Critical Loads²³ liegen für Waldökosysteme bei 10 bis 20 kg N ha⁻¹ a⁻¹; für Hochmoore bei 5 bis 10 kg N ha⁻¹ a⁻¹. Die Stickstoff-Deposition F [kg N ha⁻¹ a⁻¹] ist das Produkt aus der Depositionsgeschwindigkeit V_{dep} von Ammoniak mal die Ammoniakkonzentration mal der N-Gehalt N von NH₃.²⁴

$$F = V_{\text{dep},i} * C_i * N_i$$

²³ UNECE (2007): Report on the Workshop on Atmospheric Ammonia: Detecting Emission Changes and Environmental Impacts. ECE/EB.Air/WG.5/2007/3

²⁴ Bucher, P. (2010): Ammoniak-Messbericht, Ammoniak-Messnetz Kanton Luzern, Ergebnisse 2000 bis 2009, uwe Luzern

Die Stickstoff-Deposition F kann somit vereinfacht über die Ammoniakkonzentration c_{NH_3} , Expositionsdauer d_{exp} und Depositionsgeschwindigkeit V_{dep} abgeschätzt werden. Die Depositionsgeschwindigkeit V_{dep} hängt von vielen Faktoren ab, z. B. Art der Vegetation, Feuchtigkeit der Erdoberfläche, Windgeschwindigkeiten etc. Hier wurde für die Depositionsgeschwindigkeit 30 mm s^{-1} verwendet, wie es für einen Waldstandort im Mittelland typisch ist.²⁵

Tabelle 2 zeigt die berechnete N-Deposition pro Jahr an ausgewählten Standorten. Die Gesamtstickstoff-Frachten liegen je nach Standorteigenschaften zwischen 12 kg N a^{-1} (ZB01, 2010) und 85 kg N a^{-1} (ZG, 2011). Über alle Jahre ist die N-Deposition an allen Standorten hoch geblieben.

Vergleicht man die Werte der Tabelle 2 mit den Critical Loads, wird ersichtlich, dass die N-Depositionen die Critical Loads noch deutlich stärker überschreiten als die Critical Levels überschritten werden. Bei dieser Abschätzung ist nur die N-Deposition, die aus dem Ammoniak entsteht, mit einberechnet. Der Anteil der N-Deposition im Niederschlag ist nicht einberechnet und würde somit zu noch höheren N-Depositionen führen.

Tabelle 2: Berechnete N-Deposition in kg N pro Jahr an fünf verschiedenen Standorten sowie den ZUDK-Ressourcengebieten

Station	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
WAU16.4	42.8	38.5	36.4	50.0	51.2	56.9	48.0
ESC08	67.8	60.0	56.7	58.4	59.0	69.0	55.5
SCHU00	43.3	43.8	41.9	51.2	52.0	55.4	43.1
HOL01	44.0	44.1	45.1	50.5	45.2	52.0	44.6
ZB01	14.3	14.5	14.4	14.4	12.4	13.9	12.5
NW	-	-	-	-	52.8	57.5	51.8
OW	-	-	-	-	49.4	57.7	45.3
SZ	-	-	-	-	37.1	55.7	41.2
UR	-	-	-	-	51.6	57.4	49.7
ZG	-	-	-	-	70.0	84.5	66.6

Die kontinuierlich hohe N-Deposition wird bei einer summierten Darstellung ersichtlich. Abbildung 44 zeigt die summierten Frachten (Basis Monatsmittelwerte) von fünf ausgewählten Standorten seit dem Jahr 2006. Für jede Messperiode wird die deponierte Stickstofffracht laufend aufsummiert. Bei gleichbleibenden Bedingungen (gleichbleibend hohe Deposition) zeigen sich mit der Summierung kontinuierlich linear ansteigende Kurven. Würde die Konzentration an Ammoniak abnehmen oder ansteigen würde sich die Kurve nach unten bzw. nach oben biegen. Die jeweils erhöhten Ammoniakkonzentrationen Anfang März werden bei dieser Darstellung fast komplett geglättet.

²⁵ EKL (2005): Stickstoffhaltige Luftschadstoffe in der Schweiz. Status-Bericht der Eidg. Kommission für Lufthygiene (EKL). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Schriftenreihe Umwelt Nr. 384, Bern.

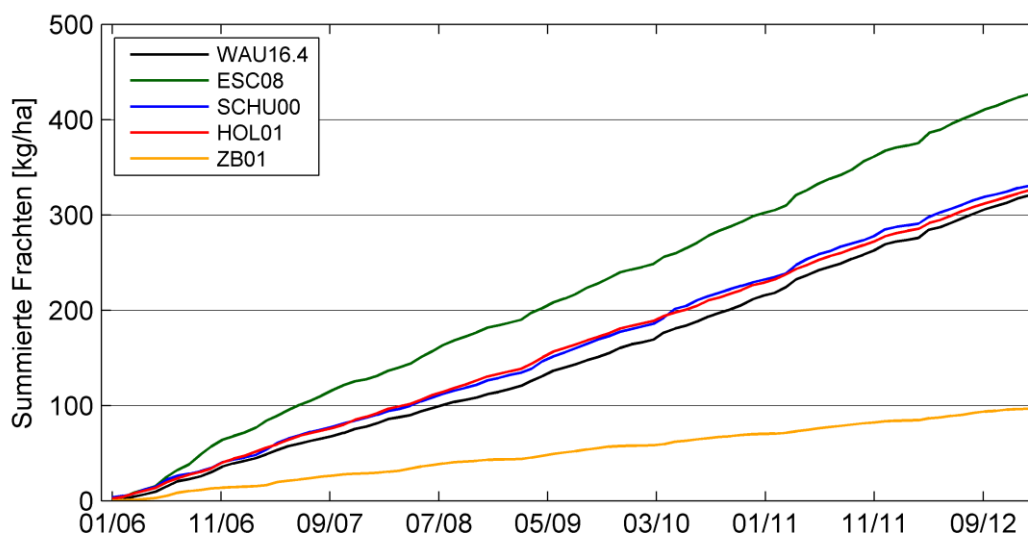


Abbildung 44: Summierte berechnete N-Deposition seit Januar 2006 an fünf verschiedenen Standorten in der Zentralschweiz

Abbildung 45 zeigt wiederum die summierten Frachten (Monatsbasis), nun aber ausschliesslich für alle Zuger Standorte seit 2007 (und die Ressourcenprojekt-Standorte ab 2010). Wiederum ist eine Kontinuität erkennbar – die N-Frachten zeigen über die letzten fünf Jahre konstante Bedingungen. Zudem werden hier die stark höher belasteten Ressourcenstandorte ZG01, ZG02 und ZG03 im Vergleich zu den übrigen kantonalen Passivsammlern in Zug erkennbar. Obwohl drei Jahre später mit der Messung angefangen wurde, zeigt die Darstellung mit summierten Frachten an fast allen drei Ressourcenprojekt-Standorten höhere Endresultate als bei den übrigen kantonalen Passivsammlern (seit 2007). Dies hängt mit der Standortwahl der Ressourcenprojekt-Passivsammler zusammen, welche in intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten liegen.

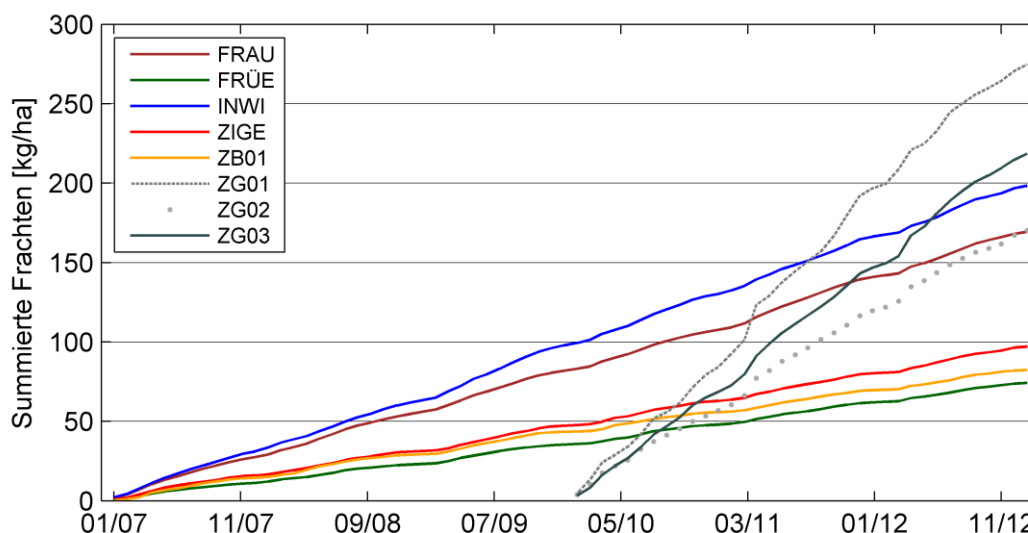


Abbildung 45: Summierte berechnete N-Deposition aller ZG-Standorte seit 2007 (Ressourcenprojektstandorte seit 2010)

3.6 Einfluss der Meteorologie auf NH_3 -Trends

Die Ammoniakkonzentrationen werden stark von der Meteorologie beeinflusst. Im Vergleich zum Bericht aus dem Jahr 2012 über die Ammoniakmessungen im Kanton Luzern²⁶ sind die Trendberechnungen im Allgemeinen weniger stark positiv. Der Hauptgrund dafür sind die tiefen Ammoniakkonzentrationen im Jahr 2012. Dies ist weniger auf tiefere Ammoniakemissionen als auf die meteorologischen Bedingungen zurückzuführen. Diese Auswirkungen konnten auch bei anderen Luftschadstoffen beobachtet werden: So verzeichnete beispielsweise die in-LUFT-Immissionsmessstation Ebikon-Sedel im Jahr 2012 7 % tiefere NO_2 -Konzentrationen und 12 % tiefere PM_{10} -Konzentrationen als im Mittel von 2007 bis 2011. Die voralpine Messstation Rigi-Seebodenalp zeigte 9 % tiefere NO_2 -Konzentrationen und sogar 21 % tiefere PM_{10} -Konzentrationen als im Mittel von 2007 bis 2011.

3.7 Einfluss der Rahmenbedingungen auf NH_3 -Trends

3.7.1 Nutztierbestand

Landwirtschaftliche Tätigkeiten beeinflussen stark die gemessene Ammoniakkonzentration. Um diesen Einfluss zu quantifizieren, wurde schon im letztjährigen Bericht²⁶ auf die Daten der Grossvieheinheiten (GVE) im Kanton Luzern eingegangen.²⁷ Im Jahr 2012 standen vom Kanton Luzern auch wieder

²⁶ Bieri, S., Ruckstuhl, C. (2012): Ammoniak-Messbericht, Ammoniakmessungen Kanton Luzern 2000 bis 2011, inNET Monitoring AG

²⁷ Zur Verfügung gestellt von Franz Stadelmann, Iawa Luzern

neue landwirtschaftliche Daten zur Verfügung. Es wurden wiederum die gleichen landwirtschaftlichen Betriebe im Umkreis von 4 km respektive 2 km in die Auswertung miteinbezogen. Bei nahe beieinander liegenden Passivsammlern wurde ein Umkreis von 2 Kilometern (Holderhus, Schüpheim, Root Michaelskreuz und Neudorf), bei weiter auseinander liegenden Passivsammlern ein Umkreis von 4 Kilometern gewählt (Wauwil und Eschenbach). Die Kartenausschnitte und die eingezeichneten Betriebe sind im Anhang in Kapitel 5.6 eingefügt.

Abbildung 46 zeigt die Veränderung der GVE von 2005 bis 2012 in den verschiedenen Gebieten im Kanton Luzern. Die Anzahl der GVE zeigt vom Jahr 2005 bis zum Jahr 2012 eine deutliche Zunahme im Gebiet Eschenbach, Holderhus, Schüpheim und Neudorf. Wauwil sowie Root Michaelskreuz zeigen eine Abnahme der GVE.

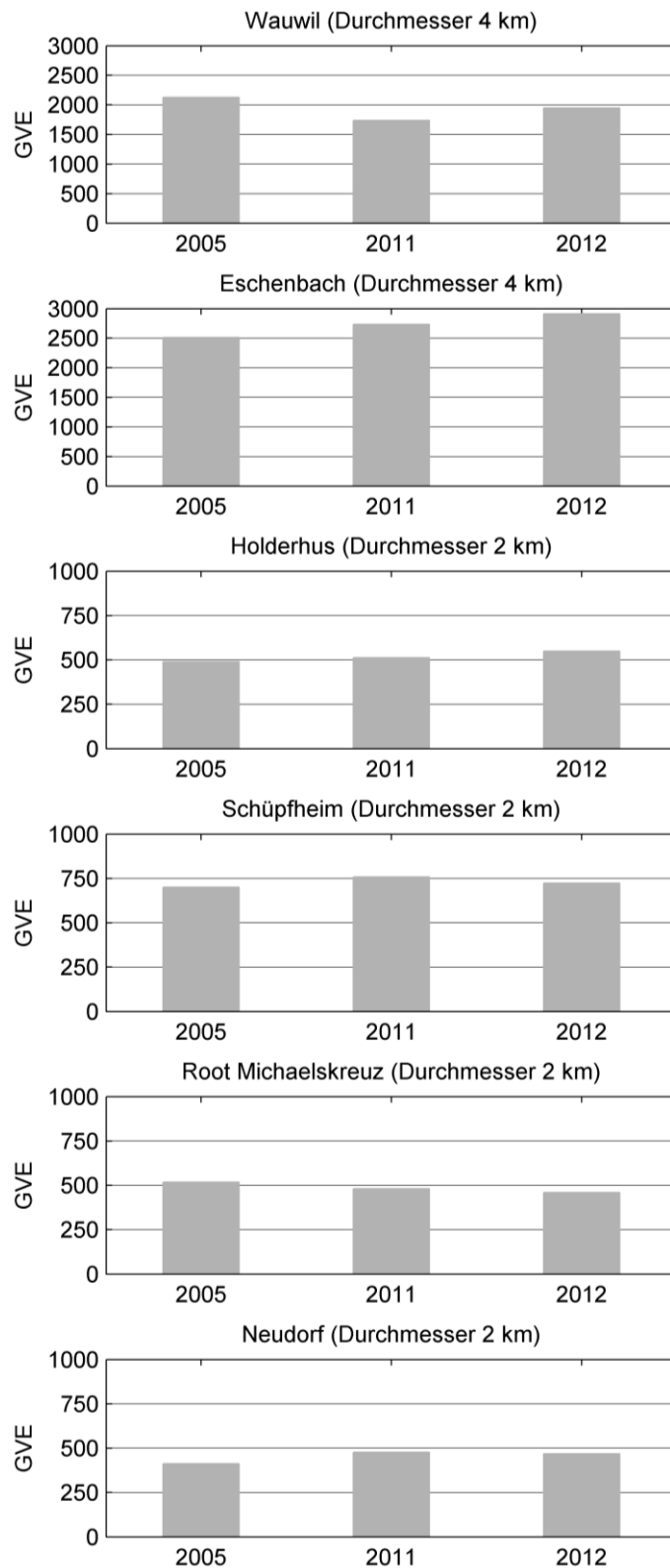


Abbildung 46: Veränderung der GVE von 2005 bis 2012 in den sechs Untersuchungsgebieten im Kanton Luzern

3.7.2 Schleppschlaucheinsatz

Um den Einfluss des Schleppschlaucheinsatzes zu quantifizieren, standen verschiedene landwirtschaftliche Daten des Kantons Luzern zur Verfügung. Für jedes Untersuchungsgebiet wurde wiederum der Umkreis von 4 km (Wauwil und Eschenbach) respektive 2 km (andere Gebiete) in die Auswertung miteinbezogen.

Die folgenden Berechnungen basieren auf relativ vielen Annahmen und weisen deshalb grosse Unsicherheiten auf. Die Berechnungen dienen vor allem dazu, einerseits die Möglichkeiten und Grenzen der erhobenen Daten auszuloten und andererseits Hinweise über die Grössenordnungen der landwirtschaftlichen Daten zu erlangen. Deshalb wird hier nochmals darauf hingewiesen, dass die hier berechneten Zahlen Grössenordnungen und nicht quantitativ korrekte Zahlen darstellen.

Zur Berechnung verschiedener Kennzahlen wurde auf gewisse Annahmen zurückgegriffen. Als eine Annahme rechnet man mit rund 23 m³ Gülleanfall pro Jahr und GVE²⁸. Diese Zahl muss allerdings vorsichtig betrachtet werden, da aus einer Angabe über Tierzahlen (GVE) nicht automatisch auf die Art der Nährstoffe (Gülle oder Mist) geschlossen werden kann. Nichtsdestotrotz sei hier ein Beispiel erläutert, bei welchem von reiner Gülle (kein Mist) ausgegangen wird: Hat ein Betrieb 50 GVE Kühe und wird die Gülle 1:1 verdünnt (ungefährer Erfahrungswert aus der Praxis), so ergibt dies einen Anfall von 2'300 m³. Pro Gülle-Event wird durchschnittlich 25 m³ pro ha ausgebracht. Diese Zahl kann aus Abbildung 47 abgeleitet werden, in welcher die Fläche in ha gegen Menge Gülle in m³ im Jahr 2009 aufgetragen ist.²⁹ Seit 2012 existieren in der landwirtschaftlichen Datenbank der Dienststelle Landwirtschaft und Wald (lawa) des Kantons Luzern auch Aussagen über die Stickstoff-Bilanz. Über das Internetportal HODUFLU werden alle Weg- und Zufuhren von Hof- und Recyclingdünger von den Landwirten erfasst und bestätigt.³⁰ Die Weg- und Zufuhren werden in kg Nährstoffen erfasst; hier ist vor allem die Menge Stickstoff in kg N von Interesse. 3.5 kg N entsprechen 1 m³ Gülle; ein Export von 350 kg N entspricht somit 100 m³ Gülle.³¹ Wenn obiger genannter Betrieb mit 50 GVE Kühen nun 3'500 kg N exportiert, bleiben ihm also von seinem Gülleanfall noch 1'300 m³ zum selber Güllen.

²⁸ Gemäss GRUDAF (Grundlagen für Düngung im Acker- und Futterbau); Mitteilung Franz Stadelmann, lawa Luzern, 02.07.2013

²⁹ Mündliche Mitteilung von Peter Bucher, uwe Luzern, 05.07.2013

³⁰ http://www.lawa.lu.ch/mb_hoduflu.pdf [Stand: 10.07.2013]

³¹ Mündliche Mitteilung von Peter Bucher, uwe Luzern, 05.07.2013

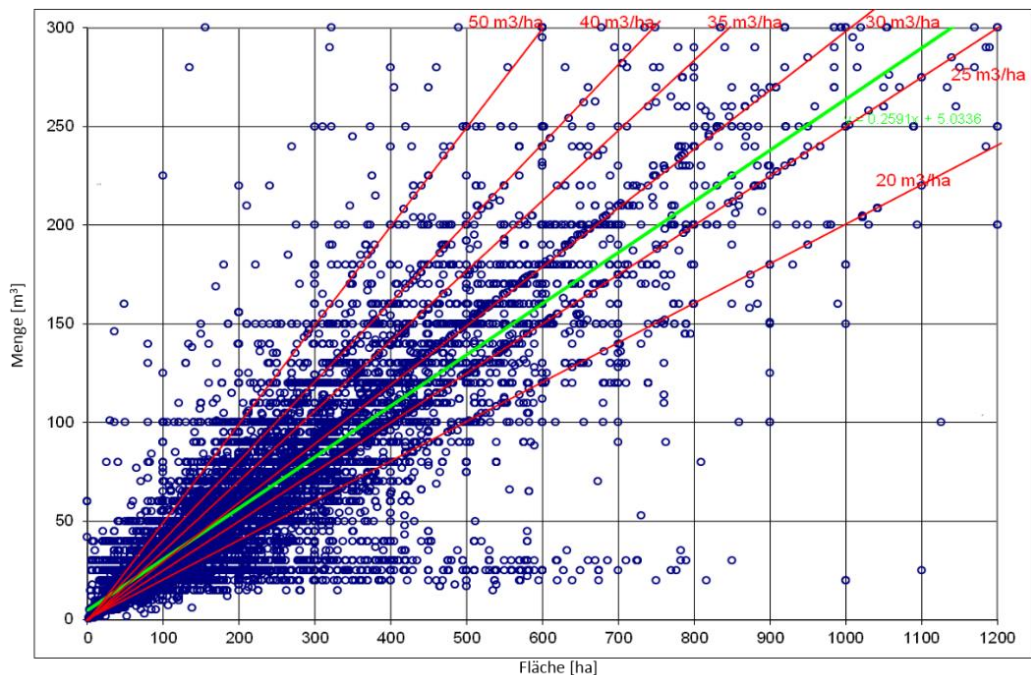


Abbildung 47: Schleppschlauchstatistik 2009: Gedüngte Fläche gegen ausgebrachte Menge pro Schleppschlauchgülle-Event. In etwa wird pro ha 25 m³ Gülle ausgebracht.

Mithilfe der Schleppschlauchstatistik ist es möglich, gewisse Kenngrößen zu berechnen. Im Ressourcen-Programm des Kantons Luzern ist vorgegeben, dass jeder Bewirtschafter, welcher mit dem Schleppschlauchverteiler güllt, einen Betrag von Fr. 25.- pro ha erhält. Dieser Betrag ist auf Fr. 100.- pro ha und Jahr begrenzt.³² Somit ist davon auszugehen, dass jeder Bewirtschafter nur viermal pro Jahr seine Schleppschlauchverteilung in der Statistik angibt. Es gibt somit einige Konstellationen, welche nicht in dieser Statistik auftauchen, z. B.: a) der Bewirtschafter güllt mehr als viermal pro Jahr mit Schleppschlauch, erscheint aber wegen der schon verbrauchten Direktzahlungen nicht mehr in der Statistik, b) dem Bewirtschafter ist die Online-Eingabe zu kompliziert, er verzichtet auf die Direktzahlungen und güllt trotzdem mit dem Schleppschlauch oder c) der Betrieb hat eine Auflage den Schleppschlauch zu verwenden und erhält daher keine Direktzahlungen.³³ Zudem sei hier nochmals darauf hingewiesen, dass nur Zahlen zum Schleppschlauch-Gebrauch vorhanden sind. Es kann keine Aussage gemacht werden, wann landwirtschaftliche Betriebe mit anderen Ausbringungstechniken güllen. Selbst wenn die Zahlen somit mit einer gewissen Vorsicht begutachtet werden, können trotzdem interessante Schlussfolgerungen gezogen werden.

Die angegebenen Zeitpunkte des Güllens mit Schleppschlauch können als Marker für Gülle-Events verwendet werden. Werden der prozentuale Anteil von Gülle-Events pro 10 Tage mit Schleppschlauch an der Gesamtgülle pro Jahr mit Schleppschlauch (für alle landwirtschaftlichen Betriebe im Kanton Luzern („Alle“) und im Speziellen für die Betriebe im Untersuchungsgebiet „Eschenbach“) und der beispielhafte Verlauf der Ammoniakkonzentration am Standort ESC14 miteinander aufgetragen

³² http://www.lawa.lu.ch/index/landwirtschaft/stickstoffprojekt/ressourcenprogramm_stickstoff.htm [Stand: 10.07.2013]

³³ Der Punkt c) gilt nur für Daten vor dem 01.01.2012.

(Abbildung 48), so ergeben sich parallel verlaufende Kurven. Der grosse Ammoniakkonzentrationsanstieg im März fällt mit der Düngeaktivität auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen zusammen. Dasselbe gilt für die geringen Düngeaktivitäten in den Wintermonaten und ebenfalls Mitte April. Dieselben Grafiken wurden auch für die übrigen fünf Untersuchungsgebiete im Kanton Luzern erstellt und sind im Anhang in Kapitel 5.8 zu finden.

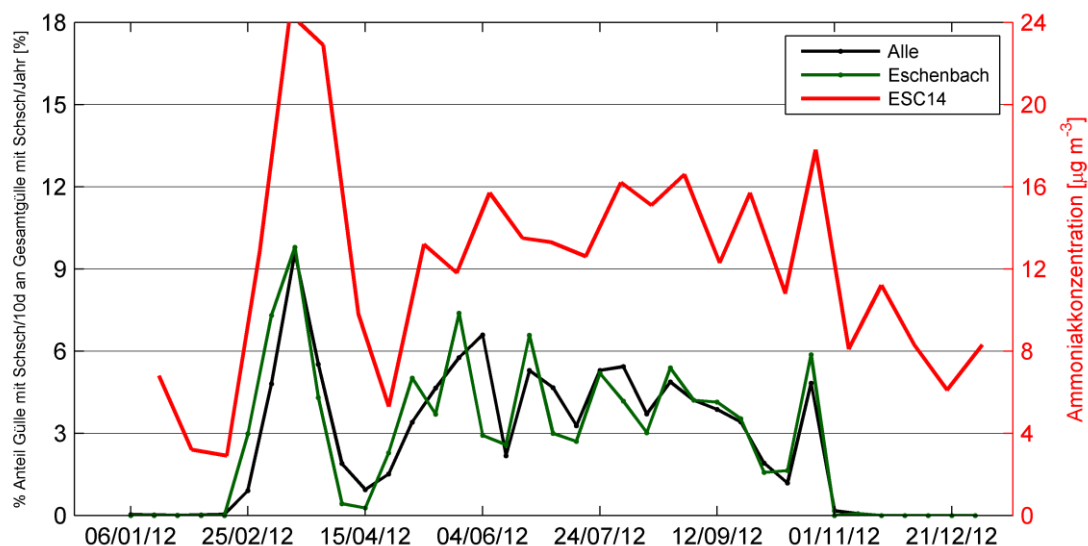


Abbildung 48: Verlauf des prozentualen Anteils Schleppschlauch pro 10 Tage an der Gesamtgülle mit Schleppschlauch (Schsch) pro Jahr bei allen landwirtschaftlichen Betrieben im Kanton Luzern („Alle“) und im Speziellen im Untersuchungsgebiet Eschenbach sowie die gemessene Ammoniakkonzentration am Standort ESC14.

Tabelle 3 zeigt eine Auswahl der berechneten Kennzahlen pro Untersuchungsgebiet mit den oben erwähnten Annahmen und Berechnungsgrundlagen für das Jahr 2012. Für die Kennzahlen wurden die Betriebe pro Untersuchungsgebiet zusammengefasst und der Gesamtgülleanfall mithilfe der GVE-Zahlen berechnet. Es wird ersichtlich, dass mit grösserer Tierbestandesdichte (Anzahl GVE pro km²) der N-Export tendenziell zunimmt.

Mithilfe der Schleppschlauchdaten konnte die begüllte Fläche mittels Schleppschlauch ermittelt werden. Zusätzlich stand die Stickstoff-Bilanz zur Verfügung, womit schlussendlich der prozentuale Anteil des Schleppschlauchs am Gesamt-Stickstoffaustrag pro Untersuchungsgebiet ermittelt werden kann. Dieser liegt zwischen 20 % (Wauwil) und 77 % (Neudorf). Ansatzweise zeigt sich ein umgekehrter linearer Zusammenhang zwischen prozentualem Anteil des Schleppschlaucheinsatzes und der Ammoniakkonzentrationen. Beispielsweise ist in der Region Wauwil, wo der Schleppschlauch nur wenig eingesetzt wird, die Ammoniakkonzentration erhöht. In der Region Neudorf ist es gerade umgekehrt. Allerdings ist die Datengrundlage noch zu gering, um abschliessende Aussagen über den tatsächlichen Nutzen des Schleppschlauchs zu machen. Auch sei hier auf einen weiteren Unsicherheitsfaktor dieser Berechnung hingewiesen: Die landwirtschaftlichen Daten zu GVE sind Standortinformationen,

d. h. sie beziehen sich auf den lokalen Betrieb. Es kann aber gut sein, dass der Bewirtschafter nicht die Parzellen um seinen Betrieb güllt, sondern weiter entfernte Parzellen, womöglich sogar in einer anderen Gemeinde. Aus diesen Berechnungen kann somit nicht auf die möglichen Emissionen in geographischer Nähe zur Ammoniakmessung geschlossen werden, da die räumliche Standortinformation fehlt.

Tabelle 3: Berechnete Kennzahlen pro Untersuchungsgebiet für das Jahr 2012

Untersuchungsgebiet	# Betriebe	# GVE	Gülleanfall [m ³]	Begüllte Fläche Schsch ³⁴ [ha]	N-Bilanz [kg N]	Export [m ³]	Anteil Schsch
Eschenbach	64	2'912	133'959	2'607	-30'785	-8'796	52 %
Holderhus	14	530	24'381	640	-2'643	-755	68 %
Root, Michelskreuz	16	602	27'713	431	-3'595	-1'027	40 %
Neudorf	9	375	17'229	508	-2'248	-642	77 %
Schüpfheim	27	655	30'138	422	-2'532	-724	36 %
Wauwil	57	1'792	82'426	604	-26'395	-7'541	20 %

Wie oben im Text erwähnt, bergen diese Berechnungen grosse Unsicherheitsfaktoren. Nichtsdestotrotz wären die möglichen Berechnungen sehr hilfreich für die Erfolgskontrolle des Ressourcenprojekts Landwirtschaft. Deshalb soll hier für zukünftige Studien in einer nicht abschliessenden Liste festgehalten werden, welche landwirtschaftlichen Daten zusätzlich erhoben werden müssten, um eine genauere Berechnung durchführen zu können:

1. *Art der Nährstoffe: Der erste Berechnungsschritt führt von der Anzahl GVE zu den angefallenen Nährstoffen. Dabei muss korrekterweise zwischen Mist und Gülle unterschieden werden. Dies kann mit der Betrachtung einer ganzen Region nicht bewerkstelligt werden und müsste auf einzelbetrieblicher Basis angeschaut werden. Eine Prozentangabe pro Betrieb (% Gülle, % Mist) wäre hier hilfreich.*
2. *Die Berechnungen zur begüllten Fläche beziehen sich bislang nur auf die Schleppschlauchstatistik, d. h. nur Gülle-Events mit Schleppschlauch tauchen in der Statistik auf. Alle Arten von anderen Gülle-Events (Prallteller etc.) werden somit nicht erfasst. Für die interessante Fragestellung bezüglich der Wirkung des Ressourcenprojektes wäre diese Angabe von hohem Wert.*
3. *Die erhobenen Daten der Nährstoffbilanz sowie der GVE sind Standortinformationen, d. h. die Emissionen der Begüllung müssen nicht zwingend am selben Standort stattfinden. Für eine korrekte Betrachtung müssten jedem Betrieb die jeweils begüllten Flächen zugeordnet werden können.*

³⁴ „Begüllte Fläche“ bezieht sich nur auf die Fläche, welche mit Schleppschlauch begüllt wird.

4 Zusammenfassung, Fazit und Ausblick

Seit dem Jahr 2000 werden im Kanton Luzern und auf dem Zugerberg im Kanton Zug die Ammoniak-Immissionen mit Passivsammlern gemessen. Ab 2007 kamen in der Zentralschweiz 4 Passivsammler im Kanton Zug hinzu. Im Zuge des **Ressourcenprojekts** der Zentralschweiz messen seit 2010 alle Zentralschweizer Kantone (Nidwalden, Obwalden, Schwyz, Uri und Zug) an einem typischen Standort mit 3 Passivsammlern. Diese Standorte sind bezogen auf den Gülleaustrag exponiert. Das gesamte Messnetz dient als Grundlage für die Erstellung und Überwachung des **Lufthygiene-Massnahmenplans** Ammoniak sowie als **Wirkungsmonitoring** für den Erfolg des Ressourcen-Programms zur Ammoniakminderung. Ammoniak stammt vorwiegend aus landwirtschaftlichen Emissionen.

Die Ammoniakmessung zeigt im Jahresgang eine deutliche **Saisonalität**, stärker ausgeprägt bei intensiver Tierhaltung. Die Ammoniakkonzentrationen **überschreiten im mehrjährigen Mittel den Critical Level von $3 \mu\text{g m}^{-3}$ zum Teil sehr deutlich**. Selbst wenig belastete Stationen in der Nähe **empfindlicher Ökosysteme** (Zigerhüttli, Frübüel und Zugerberg) zeigen im mehrjährigen Jahresmittel noch eine **Überschreitung des Critical Levels für empfindliche Moose und Flechten von $1 \mu\text{g m}^{-3}$** . Der Vergleich zwischen den Kantonen zeigt eine höhere Ammoniakbelastung in den Kantonen Luzern und Zug; hier hat auch die Standortwahl eine entscheidende Rolle gespielt.

In allen definierten Regionen ist eine **Zunahme der Ammoniakkonzentration** zu erkennen. Durch die meteorologisch bedingte tiefe Ammoniakkonzentration im Jahr 2012 ist diese Zunahme aber in keiner Region statistisch signifikant. Aufgeteilt über die einzelnen Messpunkte sowie über verschiedene zeitliche Perioden (Jahresmittel, saisonale Mittel) zeichnet sich eher ein positiver Trend ab. Allerdings zeigen gerade die **Wintermittel** mit der tiefen Ammoniakkonzentration im Winter 2012/2013 keine Veränderung oder eine **leicht abnehmende Tendenz**.

Zusätzlich zur Beurteilung von Stickstoffmengen wurden Gesamtstickstoff-Frachten (Deposition) berechnet. Bei ausgewählten Standorten zeigt sich, dass die N-Depositionen die **Critical Loads noch deutlich stärker überschreiten** als die Critical Levels überschritten werden.

Betrachtet man die **BAFU-Immissionskarten** der Zentralschweiz, ist der hohe Anteil an hochbelasteten Gebieten im Kanton Luzern auffallend. Der Vergleich zwischen den Immissionskarten von 2000 und 2007 zeigt kein eindeutiges Muster. Die vielen kleinräumigen Änderungen sind auf Betriebs-schliessungen beziehungsweise -aufstockungen zurückzuführen.

Mit den vorhandenen Messdaten ist der Einfluss der Änderung des Tierbestandes beziehungsweise des Schleppschlaucheinsatzes auf die Ammoniakkonzentration schwierig abzuschätzen. Mit diversen Berechnungen wurde versucht, eine Vorstellung von den Möglichkeiten und Grenzen der erhobenen Daten zu erhalten und Hinweise über die Grössenordnungen der landwirtschaftlichen Daten zu erlangen. Die Analyse zeigt tendenziell einen Zusammenhang zwischen hoher GVE-Dichte und hohem N-Export. Die erfassten **Schleppschlaucheinsätze** konnten weiter als **guter Marker für Gülle-Events** verwendet werden. Ebenso laufen die Ammoniakimmissionen sehr gut mit den Güllen-Events einher. Für genauere Berechnungen wären allerdings weitere landwirtschaftliche Daten (z. B. komplette

Gülledaten, Art der Nährstoffe) von Nöten. Solche Berechnungen wären insbesondere für die Erfolgskontrolle des Ressourcenprojekts Landwirtschaft sehr hilfreich.

Bislang zeigt sich aber deutlich, dass sich **Massnahmen zur Reduktion der Ammoniakverluste in der Landwirtschaft nicht in den Ammoniak-Immissionsmessdaten widerspiegeln**. Die Ammoniakkonzentration ist nach wie vor deutlich höher als der maximal angestrebte Wert von $3 \mu\text{g m}^{-3}$. Die Prognose der Ammoniakemissionen für das Jahr 2020 zeigt im besten Fall eine Abnahme der landwirtschaftlichen Emissionen von 8 %. **Die prognostizierten Abnahmen reichen somit bei weitem nicht, um die Critical Levels zu erreichen**. Es ist daher notwendig, weitere Massnahmen zur Ammoniakminderung in die Wege zu leiten und deren Wirksamkeit messtechnisch zu überwachen.

5 Anhang

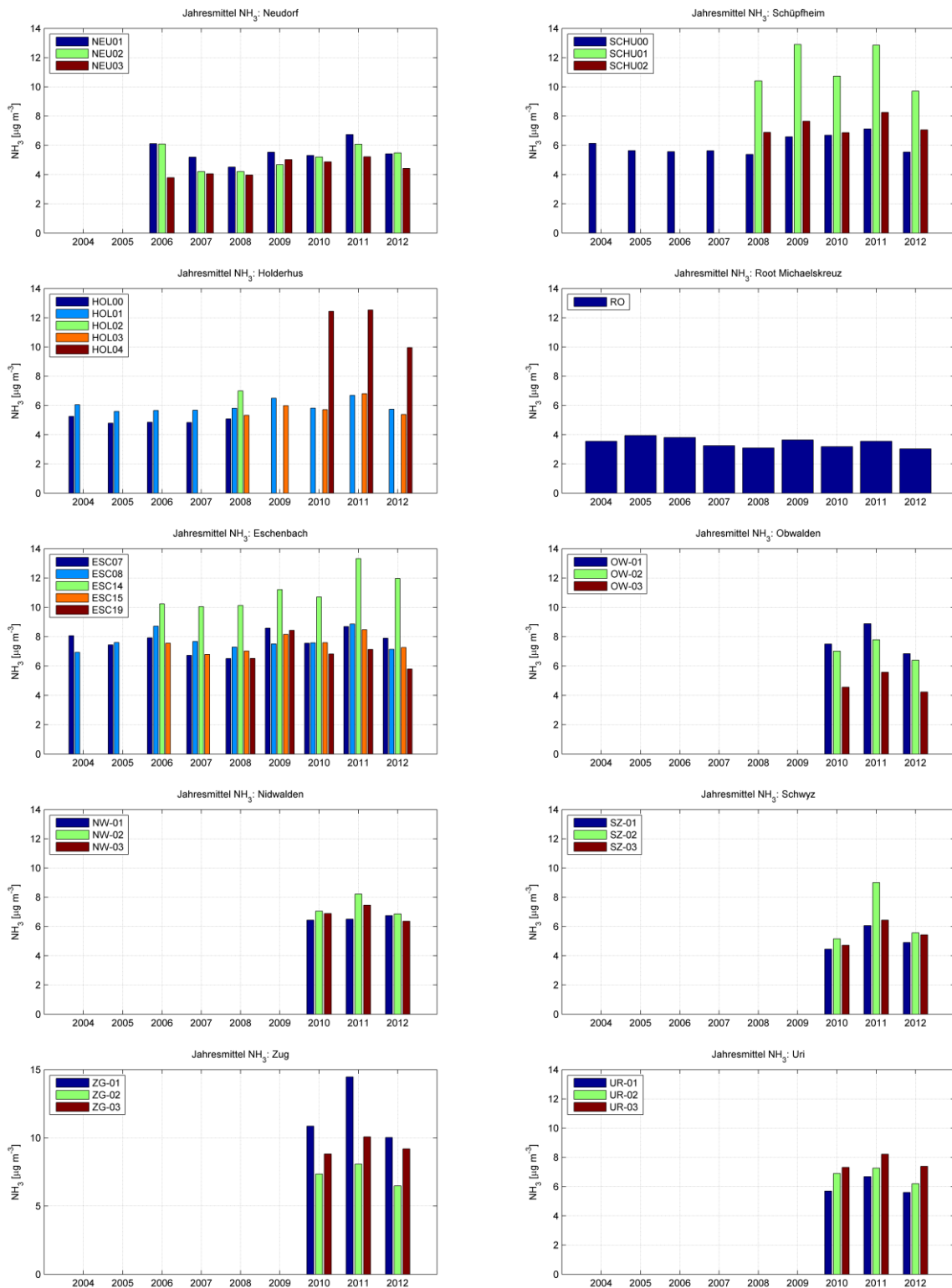
5.1 Charakterisierung der Standorte

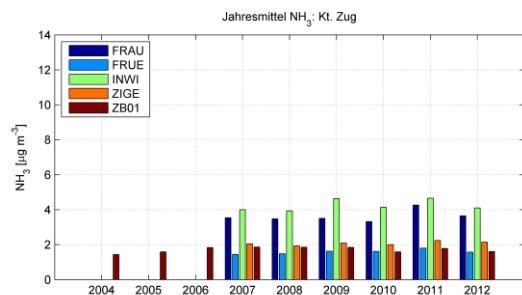
Tabelle 4: Charakterisierung der Ammoniak-Punktmessungen

Standort- abkürzung	Standort	E- Koordinate	N- Koordinate	Jahres- mittel 2010 [$\mu\text{g m}^{-3}$]	Jahres- mittel 2011 [$\mu\text{g m}^{-3}$]	Jahres- mittel 2012 [$\mu\text{g m}^{-3}$]
WAU 01	Wauwil 1	643060	225296	-	-	-
WAU 02	Wauwil 2	643445	225350	-	-	-
WAU 03	Wauwil 3	643870	225340	-	-	-
WAU 04	Wauwil 4	644405	225340	-	-	-
WAU 05	Wauwil 5	643683	224727	-	-	-
WAU 06	Wauwil 6	644285	224635	-	-	-
WAU 07	Wauwil 7	644715	225695	9.9	-	-
WAU 08	Wauwil 8	644760	225420	-	-	-
WAU 09	Wauwil 9	644745	225170	-	-	-
WAU 10	Wauwil 10	644735	224950	8.4	9.2	8.4
WAU 11	Wauwil 11	644715	224560	-	-	-
WAU 12	Wauwil 12	644710	224360	-	-	-
WAU 13	Wauwil 13	644669	224165	9.7	10.9	10.2
WAU 14	Wauwil 14	643364	224124	8.0	9.9	8.9
WAU 15	Wauwil 15	643107	224245	-	-	-
WAU 16.2	Wauwil 16.2	643707	224651	6.2	6.7	5.7
WAU 16.3	Wauwil 16.3	643707	224651	-	-	-
WAU 16.4	Wauwil 16.4	643707	224651	6.6	7.3	6.2
WAU 17	Wauwil 17	643451	225590	8.0	8.9	7.8
WAU 18	Wauwil 18	644447	225433	-	-	-
WAU 19	Wauwil 19	644113	224324	6.7	8.6	7.2
NEU 01	Neudorf 1	659290	224550	5.3	6.7	5.4
NEU 02	Neudorf 2	659706	224499	5.2	6.1	5.5
NEU 03	Neudorf 3	660470	224246	4.9	5.2	4.4
SCHÜ 00	Schüpfheim 0	644727	201091	6.7	7.1	5.5
SCHÜ 01	Schüpfheim 1	645021	201587	10.7	12.9	9.7
SCHÜ 02	Schüpfheim 2	644537	201575	6.9	8.3	7.1
HOL 00	Holderhus 0	657129	216962	-	-	-
HOL 01	Holderhus 1	657129	216962	5.8	6.7	5.7
HOL 02	Holderhus 2	657284	216855	-	-	-
HOL 03	Holderhus 3	657229	216724	5.7	6.8	5.4
HOL 04	Holderhus 4	657256	216902	12.4	12.5	10.0
RO	Root Michaelskreuz	673847	218489	3.2	3.6	3.0
ESC 01	Eschenbach 1	663012	220878	-	-	-
ESC 02	Eschenbach 2	663215	220956	-	-	-
ESC 03	Eschenbach 3	663776	221174	-	-	-
ESC 04	Eschenbach 4	663924	220900	-	-	-

ESC 05	Eschenbach 5	664043	220834	-	-	-
ESC 06	Eschenbach 6	664855	221194	-	-	-
ESC 07	Eschenbach 7	665253	221074	7.6	8.7	7.9
ESC 08	Eschenbach 8	665208	221946	7.6	8.9	7.1
ESC 09	Eschenbach 9	665560	221220	-	-	-
ESC 10	Eschenbach 10	665150	220401	-	-	-
ESC 11	Eschenbach 11	664991	219685	-	-	-
ESC 12	Eschenbach 12	664778	219377	-	-	-
ESC 14	Eschenbach 14	663387	220976	10.7	13.3	12.0
ESC 15	Eschenbach 15	664039	220788	7.6	8.5	7.3
ESC 19	Eschenbach 19	664795	221169	6.8	7.1	5.8
ESC 18	Eschenbach 18	665277	221930	-	-	-
NW-01	Stans Galgenried Nord	669232	202160	6.4	6.5	6.8
NW-02	Stans Galgenried Süd	669272	201761	7.1	8.2	6.9
NW-03	Oberdorf Schiesstand	672375	200273	6.9	7.5	6.4
OW-01	Obwalden 1	664271	195471	7.5	8.9	6.9
OW-02	Obwalden 2	664518	195592	7.0	7.8	6.4
OW-03	Obwalden 3	664798	195978	4.6	5.6	4.2
SZ-01	Bauschli	692420	207555	4.5	6.1	4.9
SZ-02	Tändlen	692890	207272	5.2	9.0	5.6
SZ-03	Rossmattli	692550	207040	4.7	6.4	5.4
UR-01	Uri 1	691655	188171	5.7	6.7	5.6
UR-02	Uri 2	691718	188555	6.9	7.3	6.2
UR-03	Uri 3	691372	189215	7.3	8.2	7.4
ZG-01	Arnold	676343	229868	10.9	14.5	10.0
ZG-02	Grob	676164	229277	7.4	8.1	6.5
ZG-03	Ulrich	675708	229387	8.8	10.1	9.2
FRAU	Kloster Frauental	674546	229562	3.3	4.3	3.7
FRUE	Früebüel	683423	218884	1.6	1.8	1.6
INWI	Inwil	682567	226900	4.2	4.7	4.1
ZIGE	Zigerhüttli	691689	220849	2.0	2.2	2.2
ZB01	Zugerberg 1	683000	220500	1.6	1.8	1.6
RIG	Rigi Seebodenalp	677845	213462	1.4	1.5	1.3

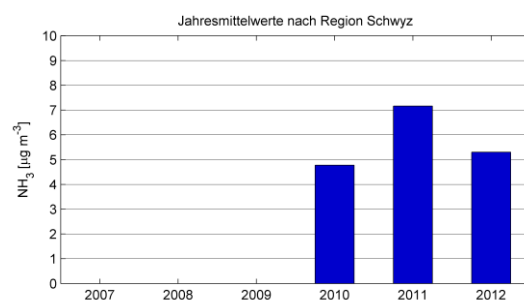
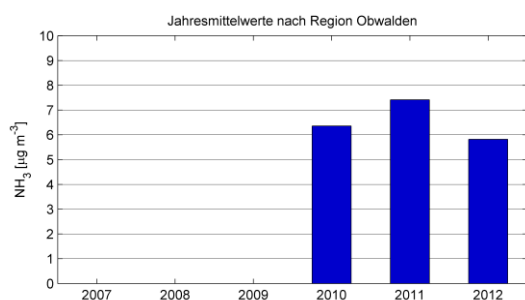
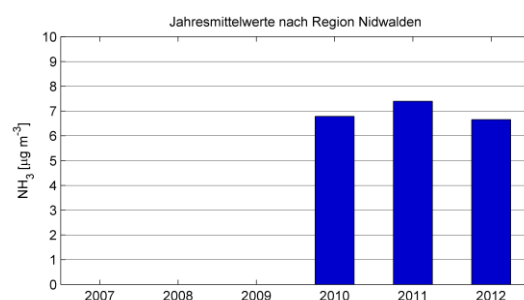
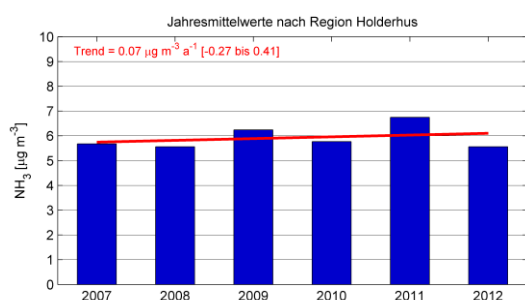
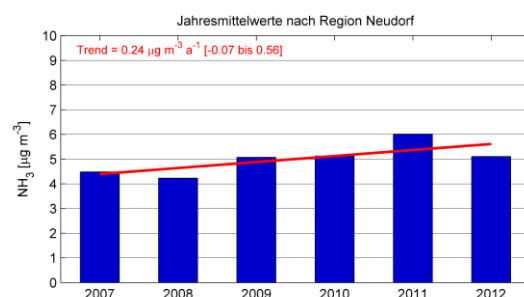
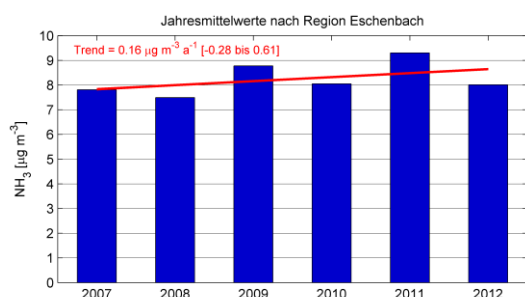
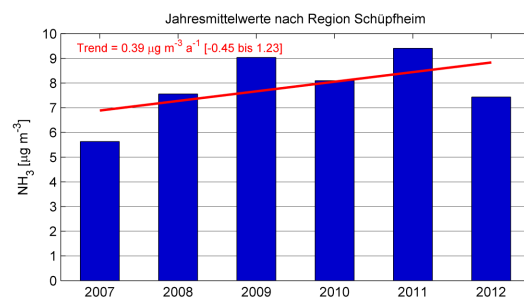
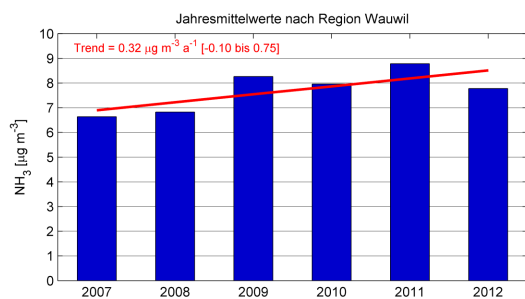
5.2 Jahresmittel der Ammoniakkonzentrationen nach Regionen

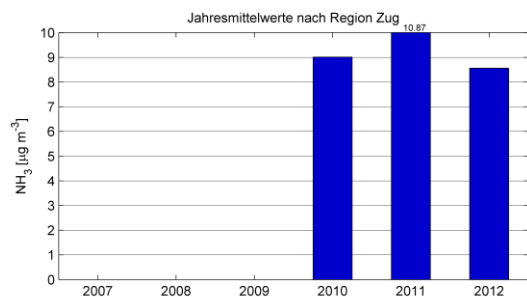
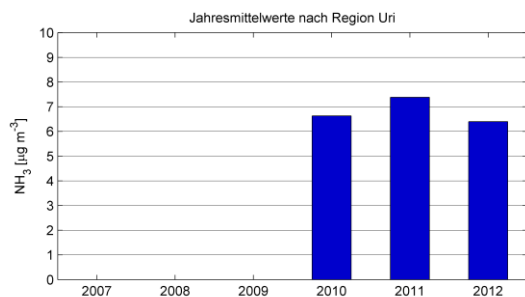




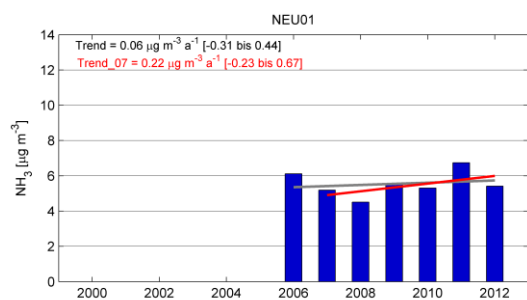
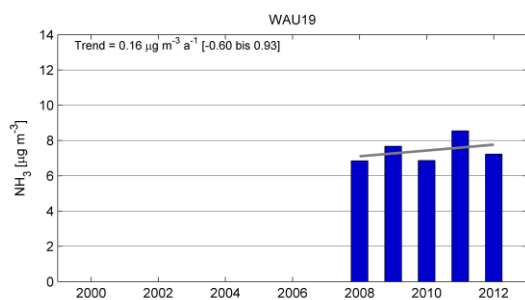
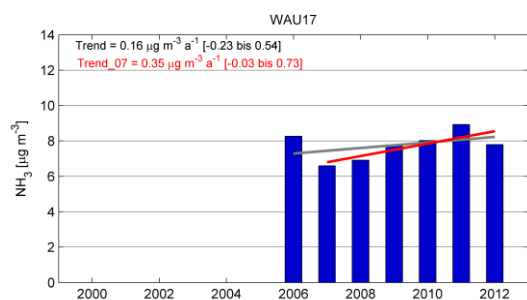
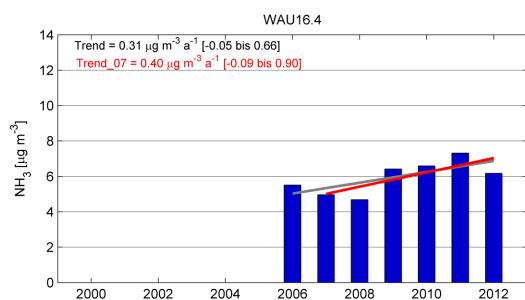
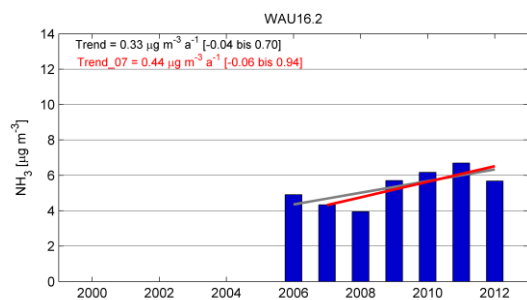
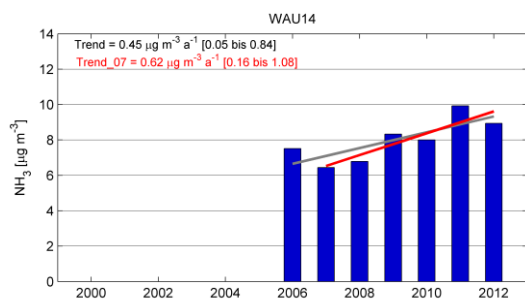
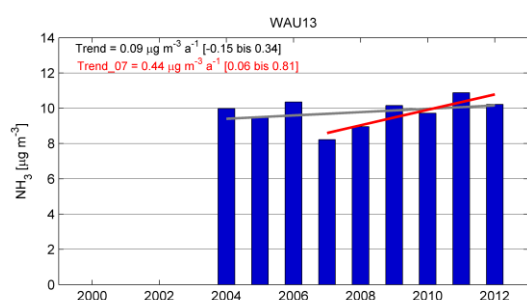
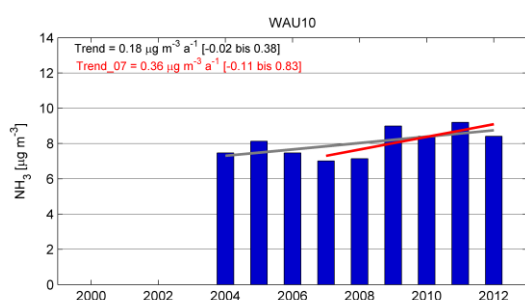
5.3 Trendberechnungen

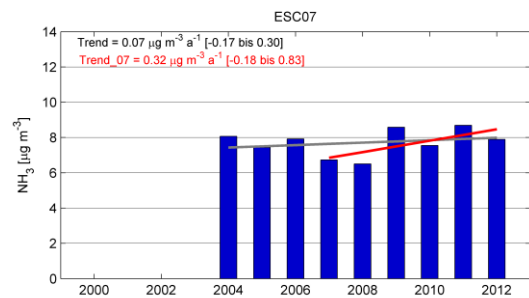
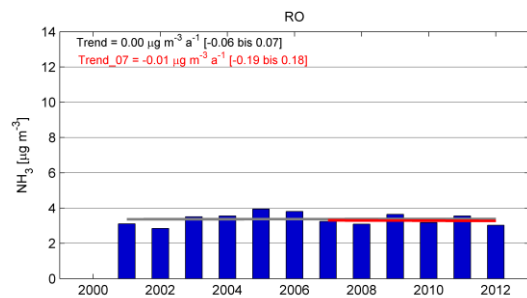
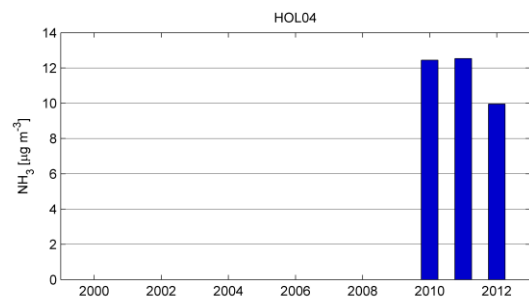
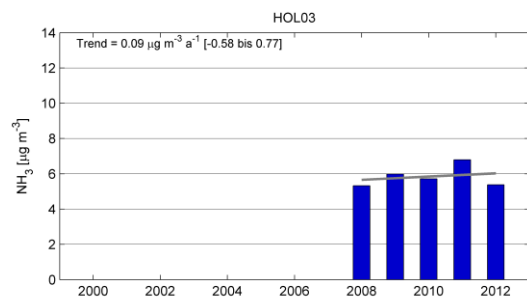
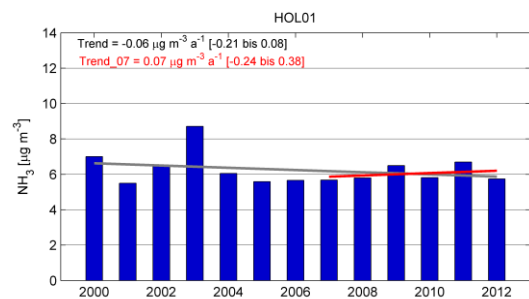
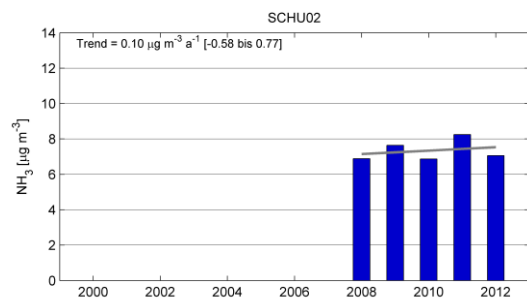
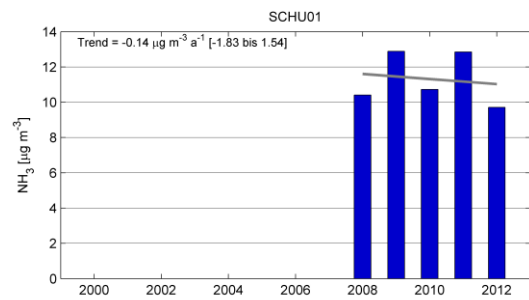
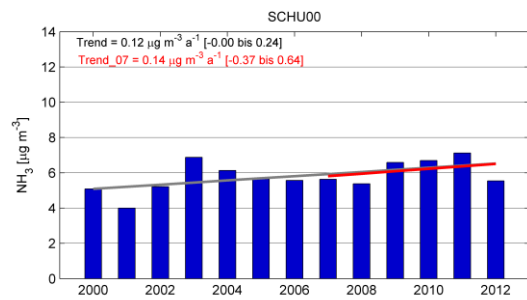
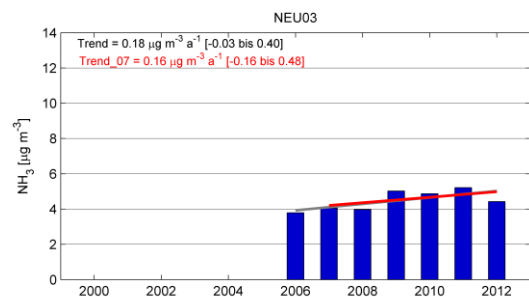
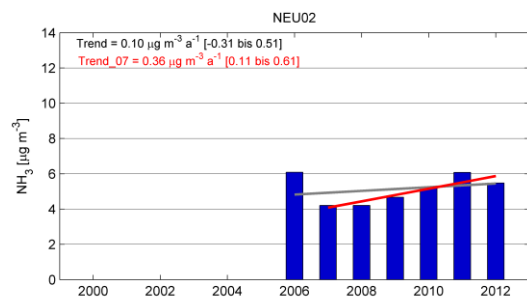
5.3.1 Trendberechnung nach Regionen

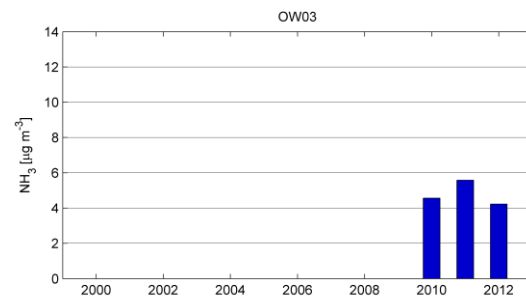
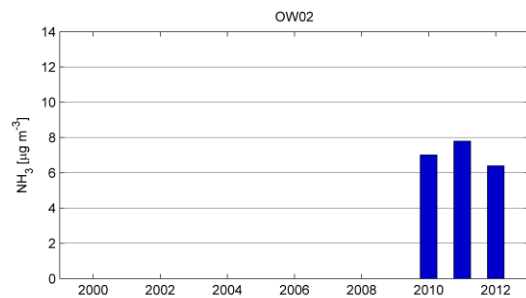
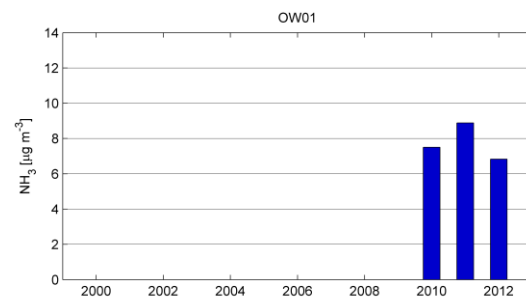
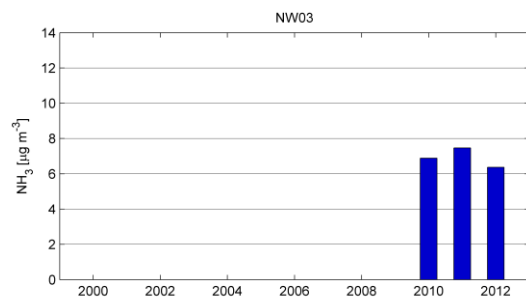
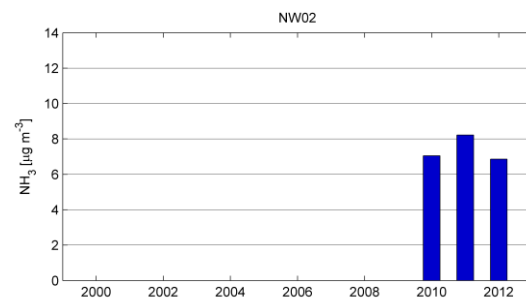
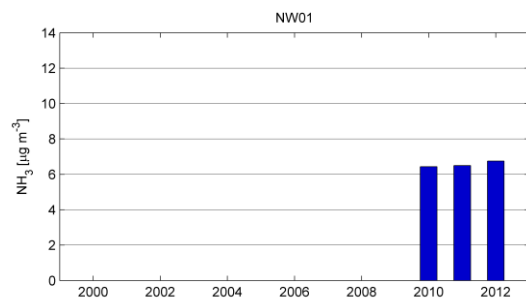
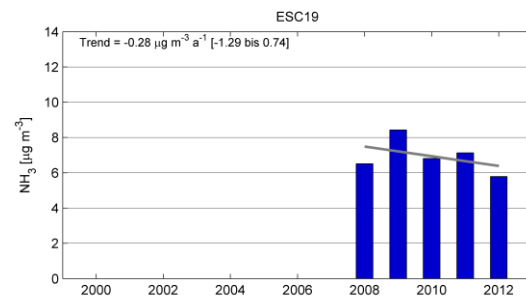
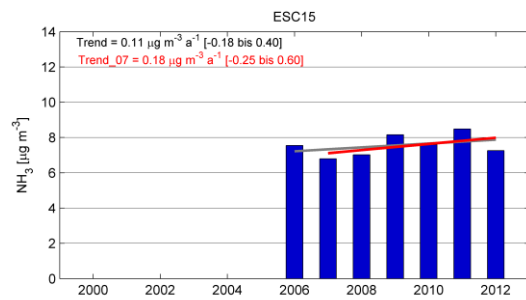
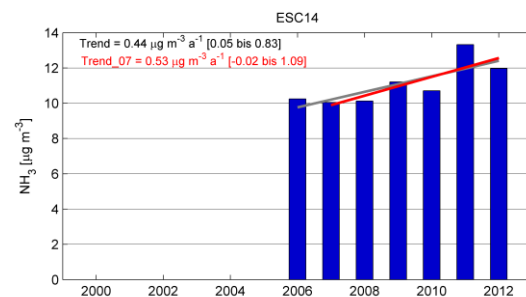
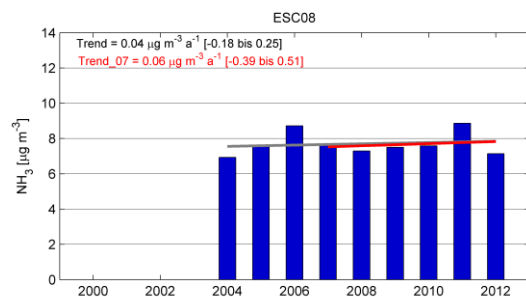


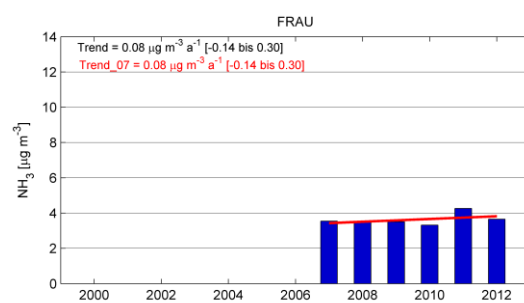
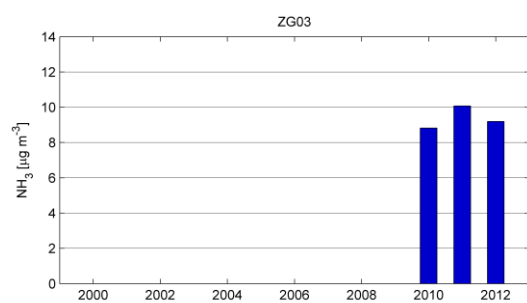
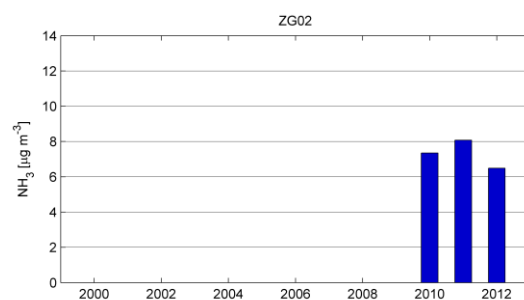
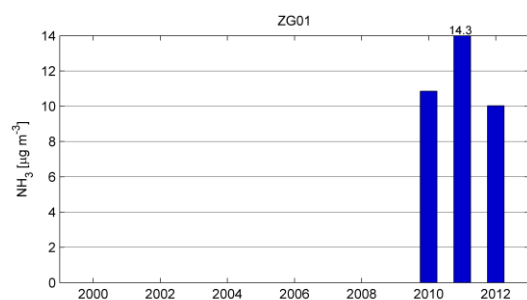
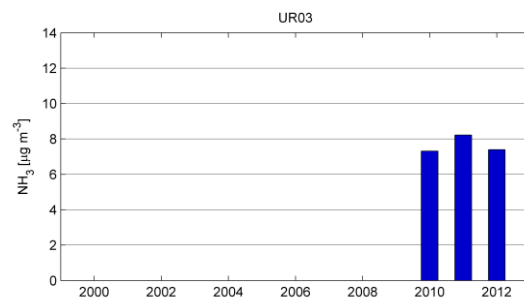
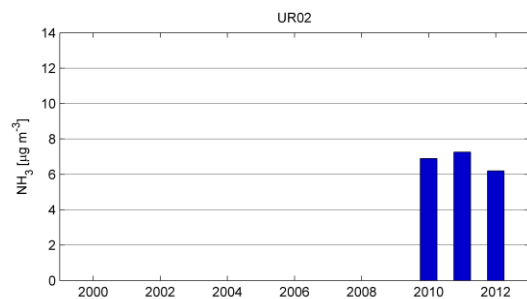
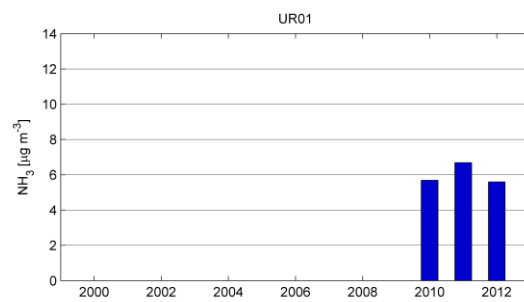
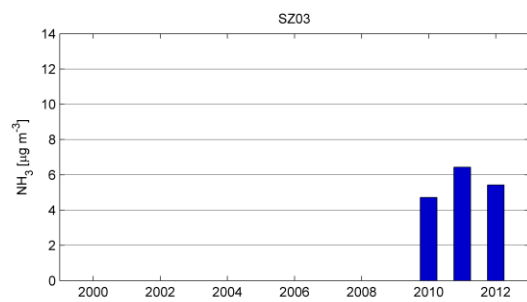
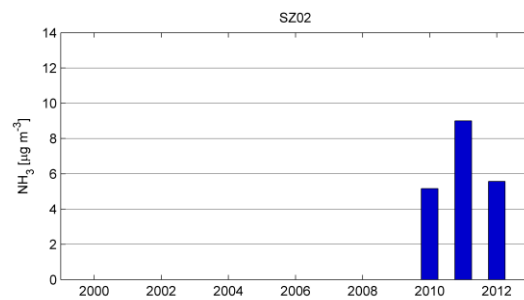
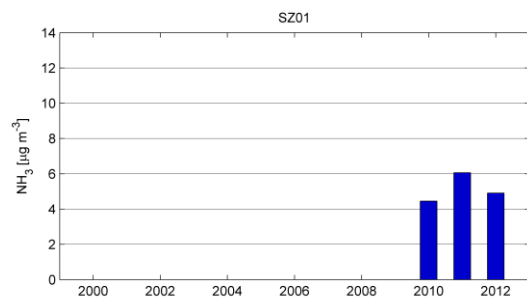


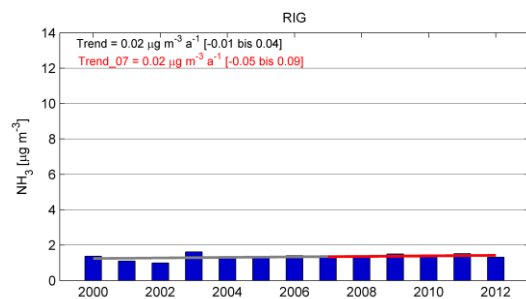
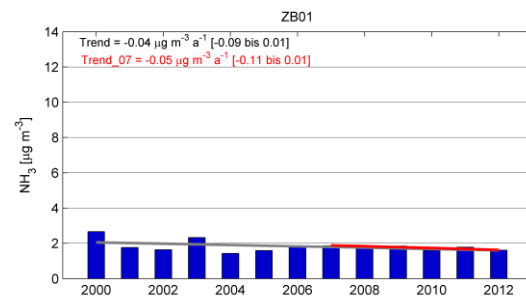
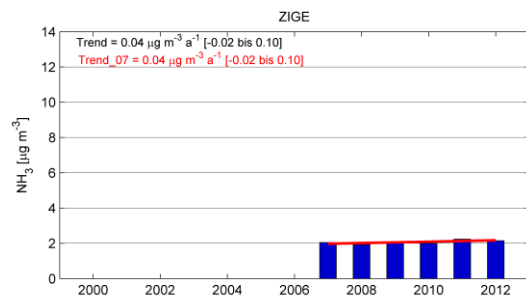
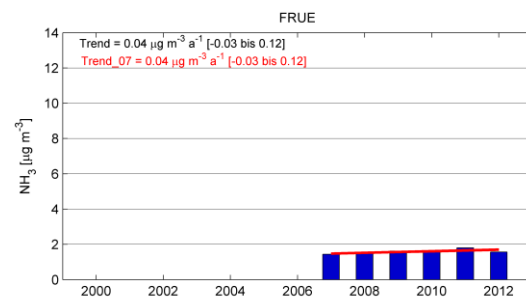
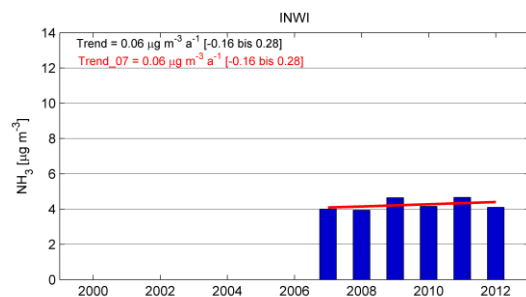
5.3.2 Jahresmittel-Trendberechnung



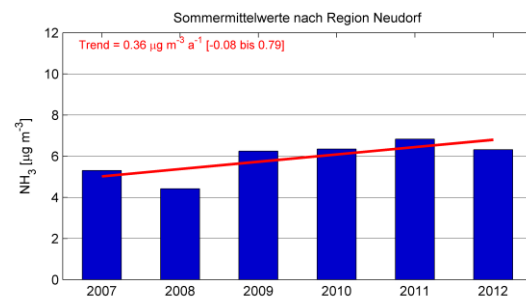
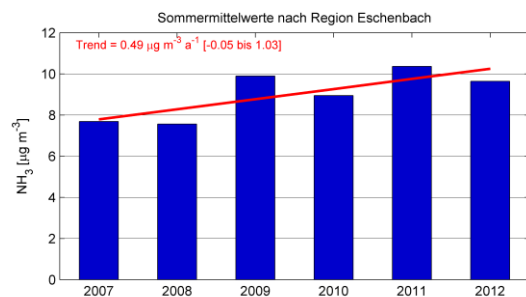
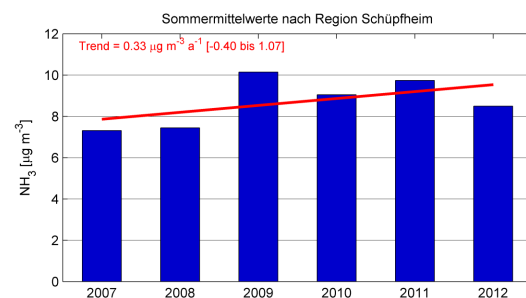
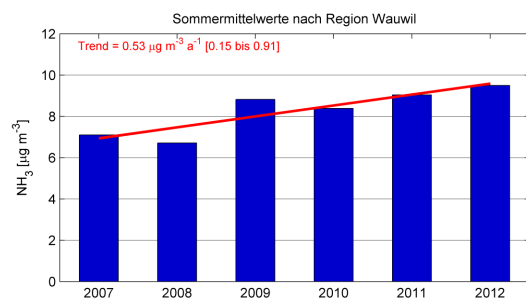


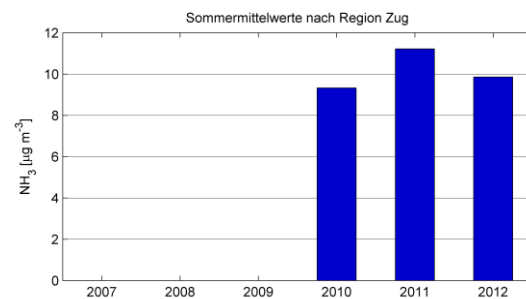
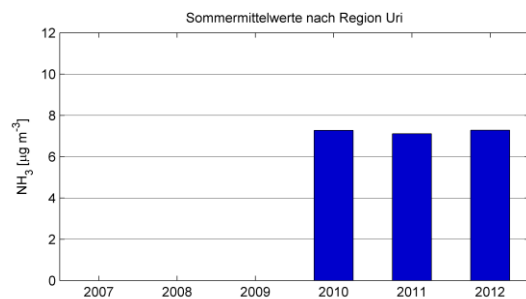
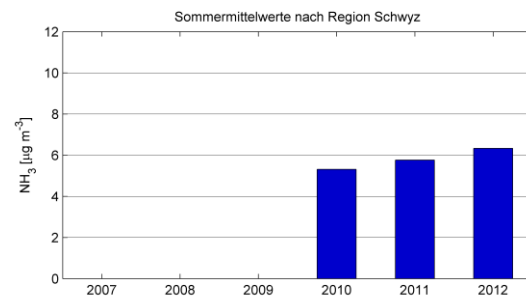
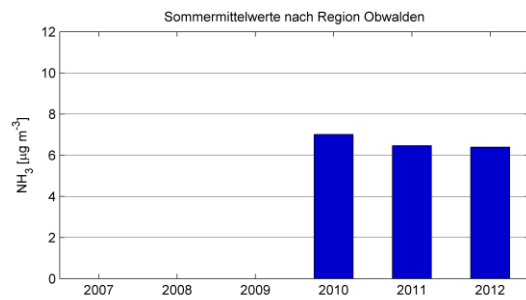
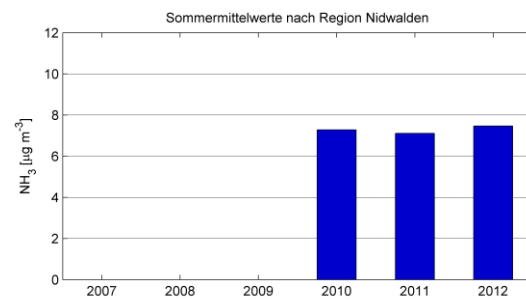
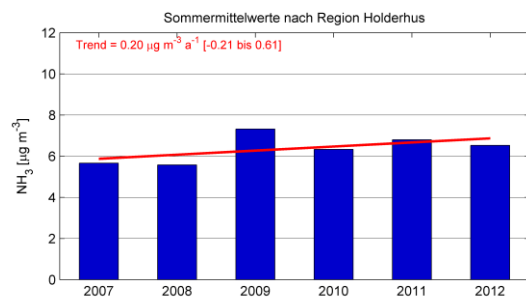




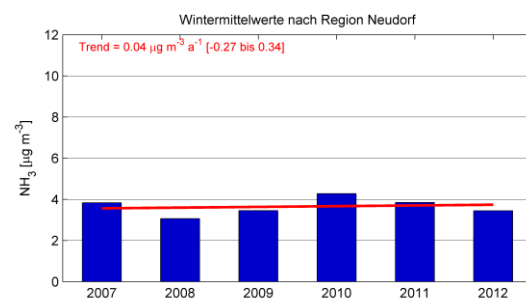
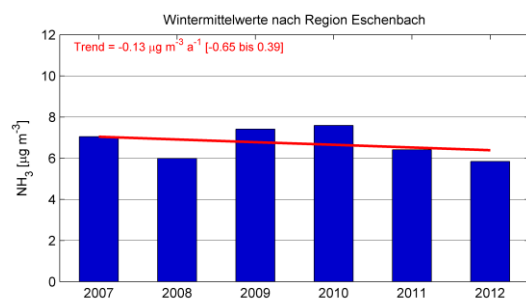
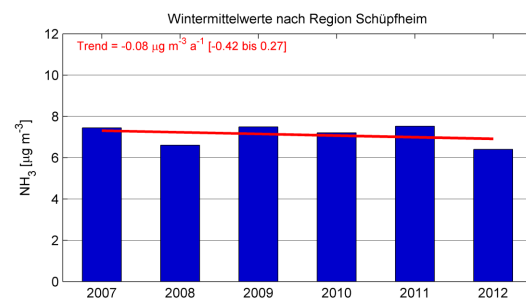
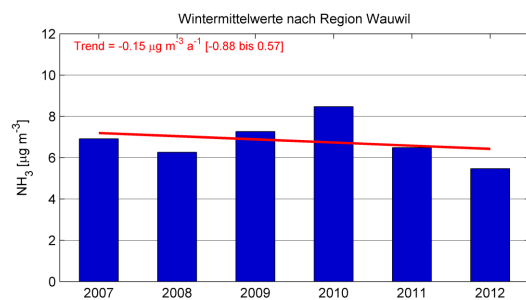


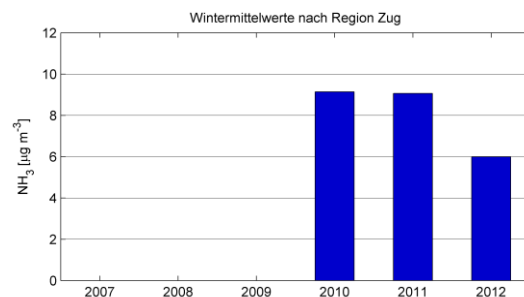
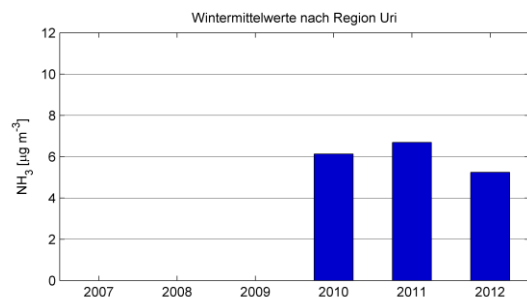
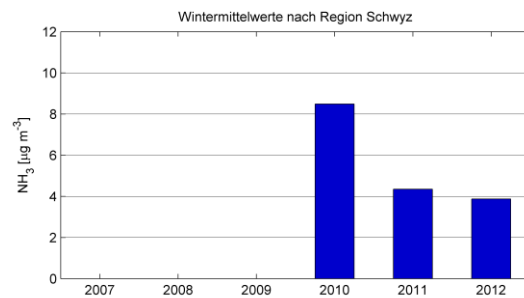
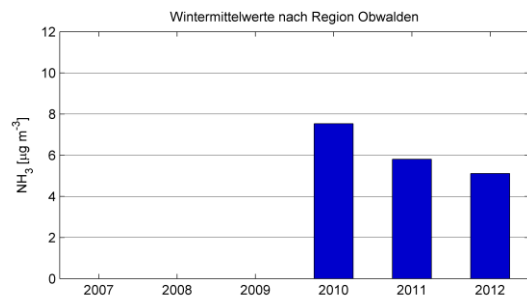
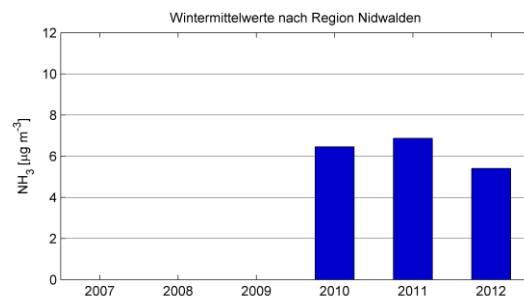
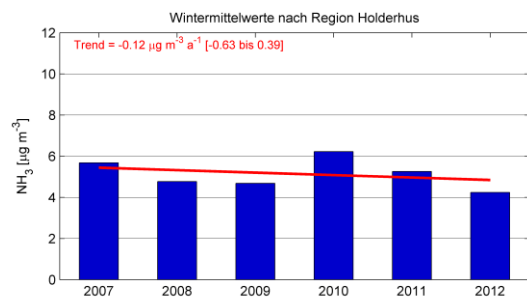
5.3.3 Saisonale Mittel: Sommer (Mrz - Sept) – Trendberechnung nach Regionen



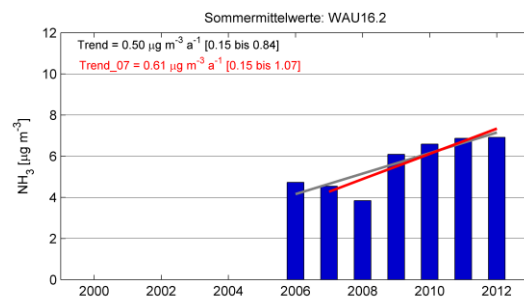
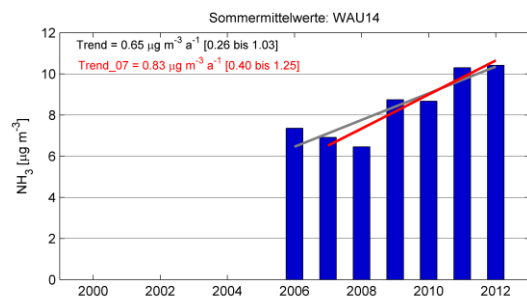
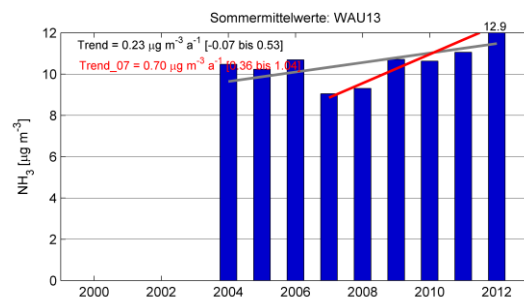
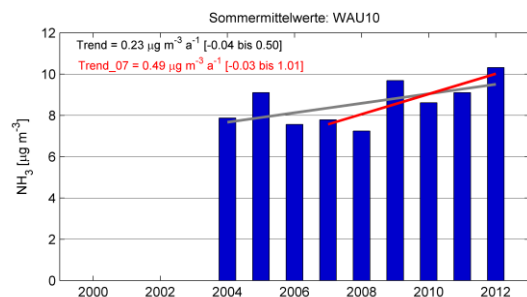


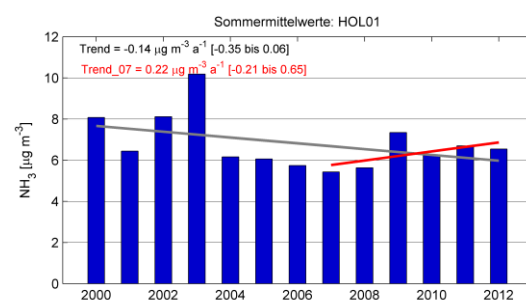
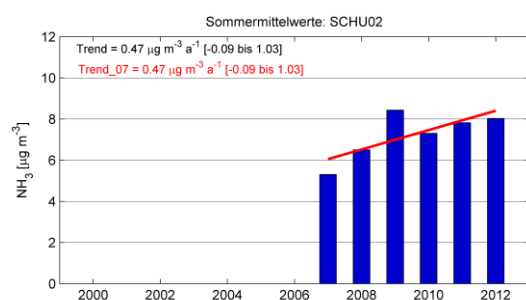
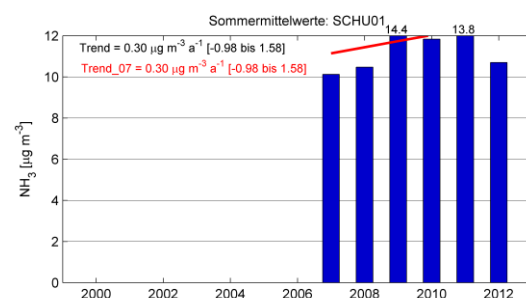
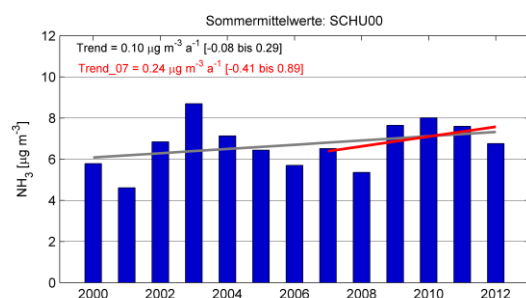
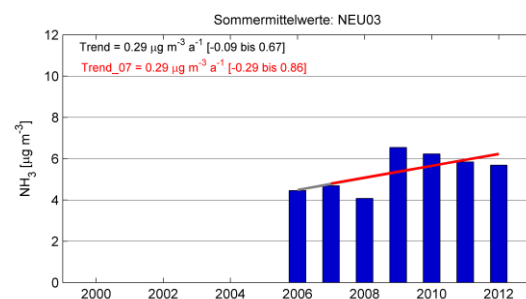
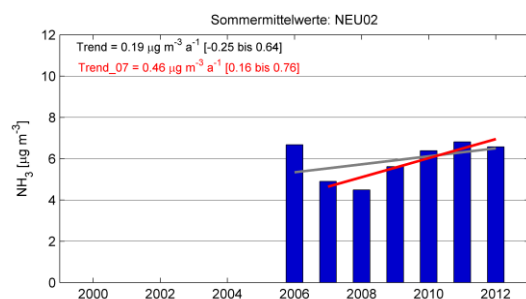
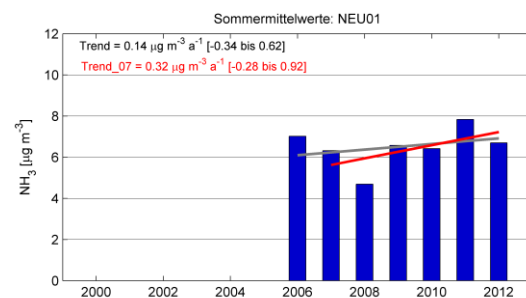
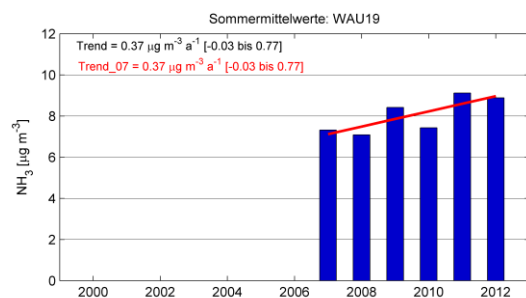
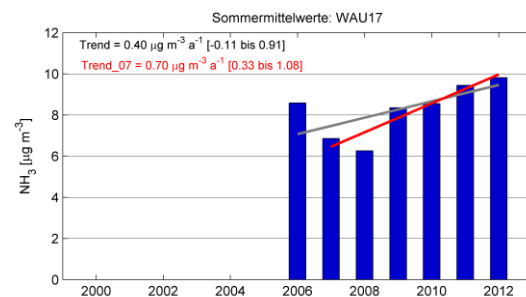
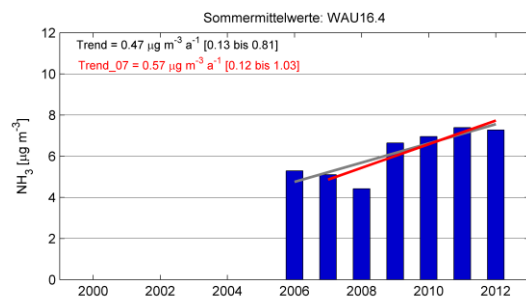
5.3.4 Saisonale Mittel: Winter (Okt - Feb) – Trendberechnung nach Regionen

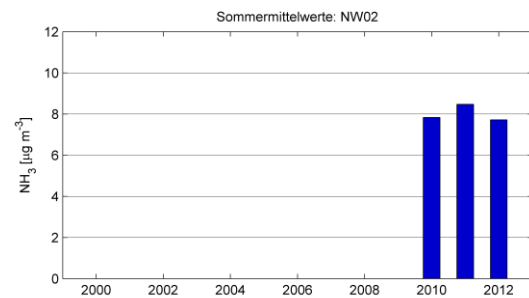
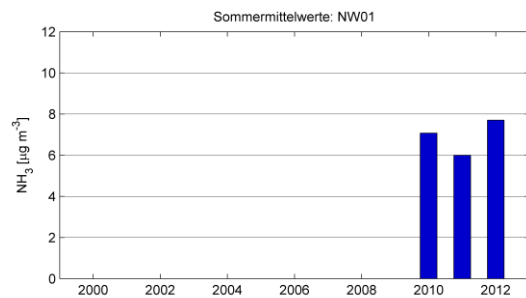
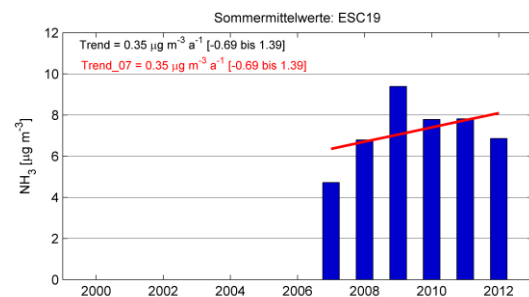
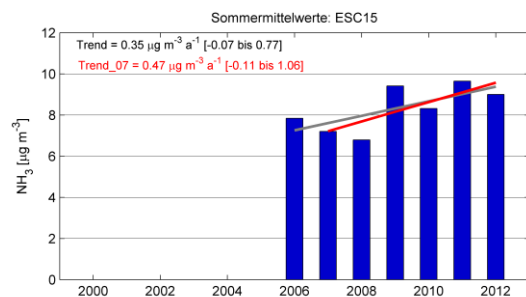
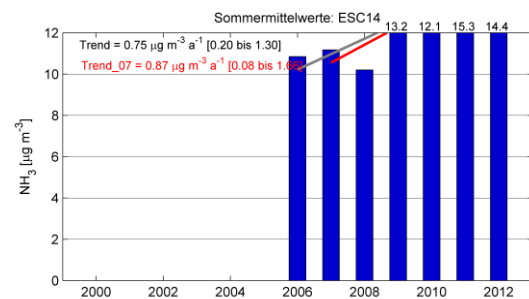
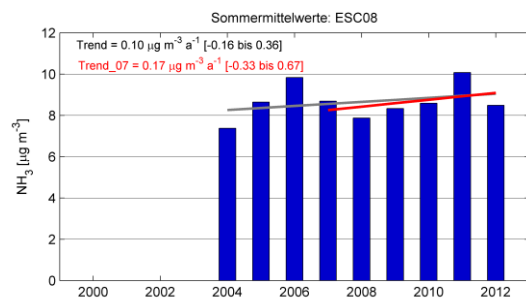
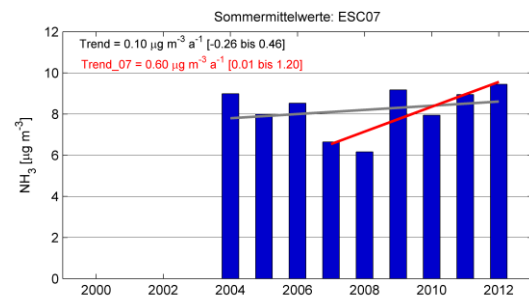
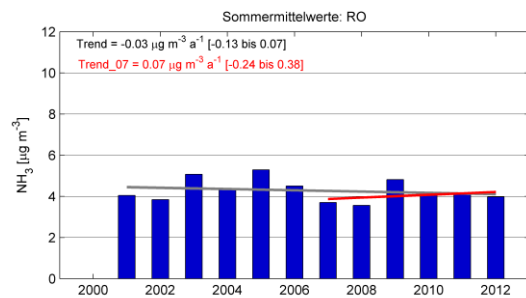
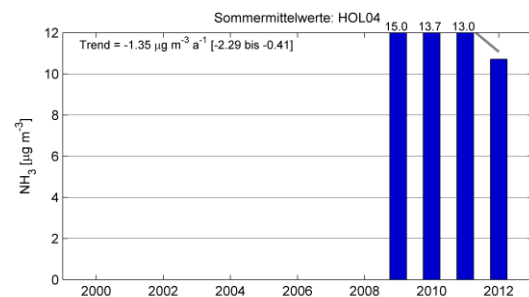
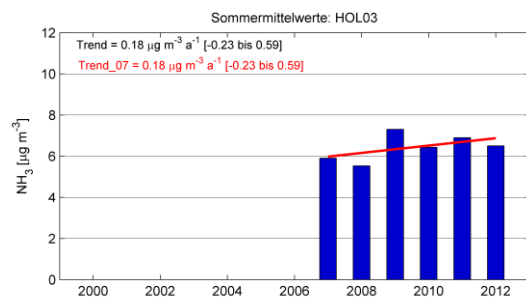


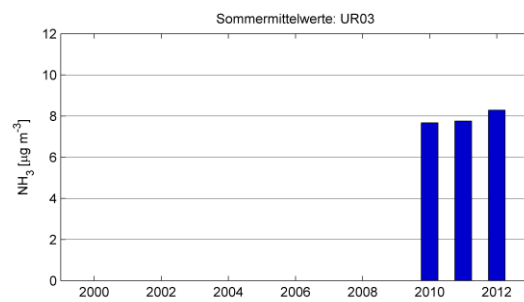
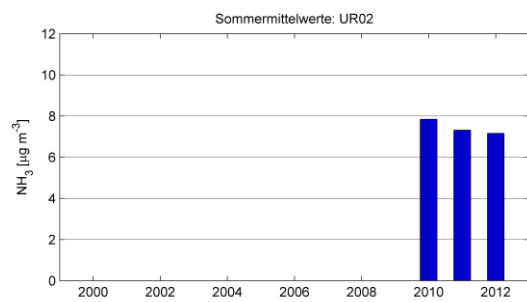
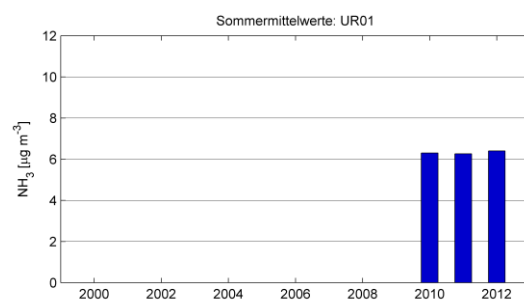
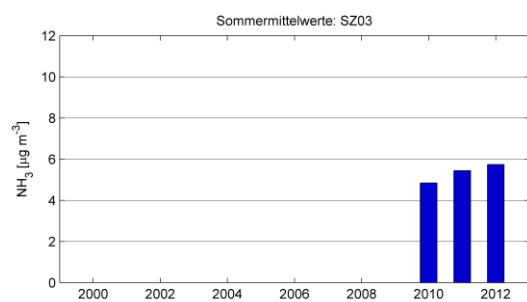
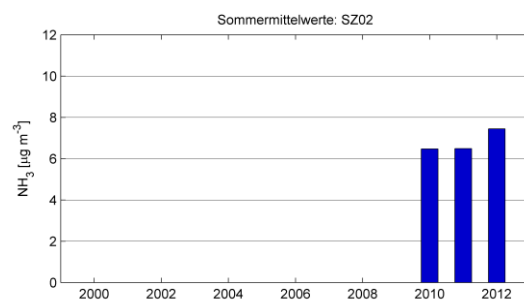
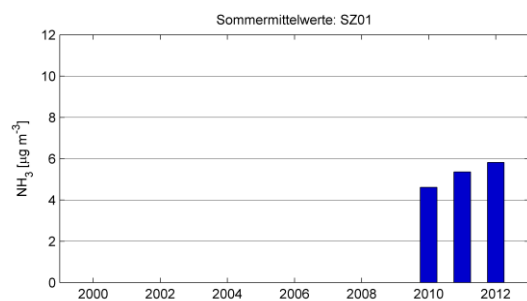
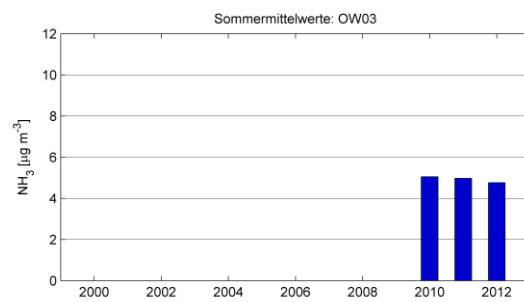
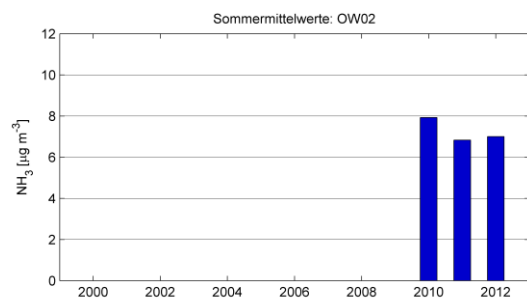
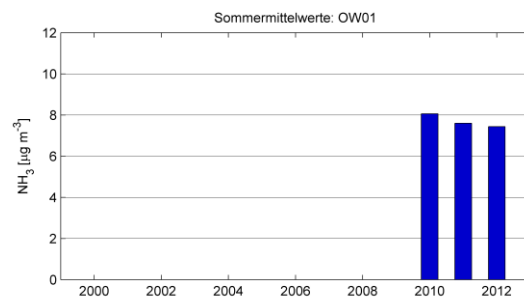
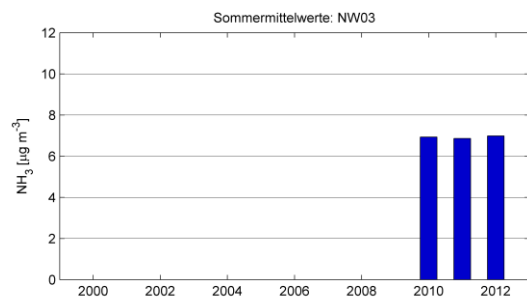


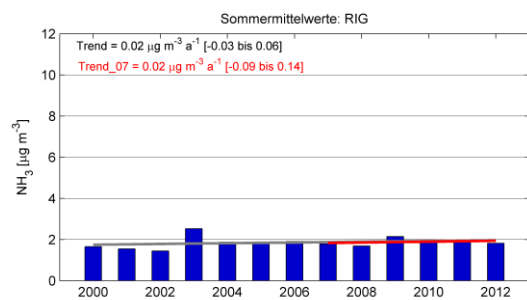
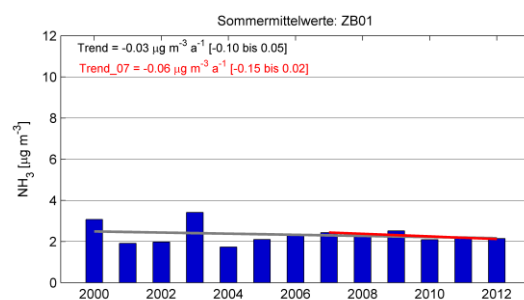
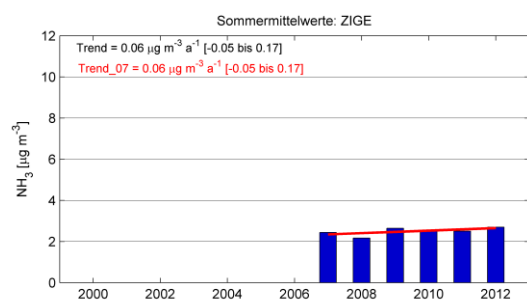
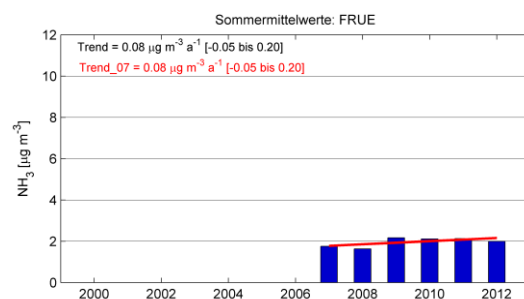
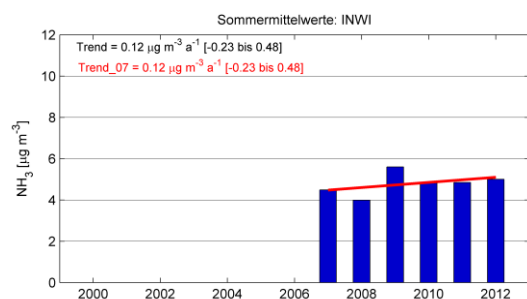
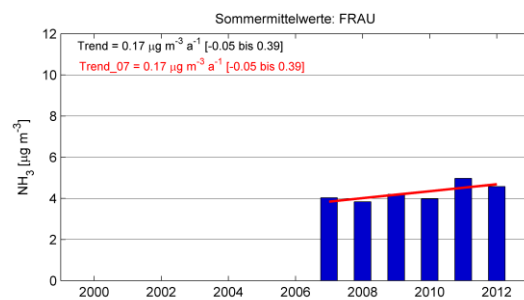
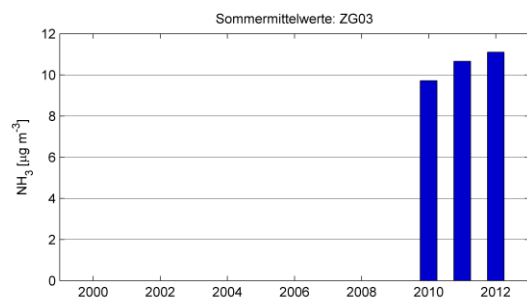
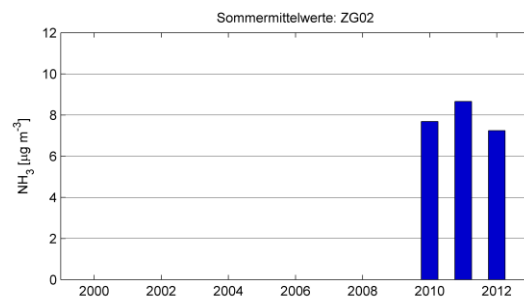
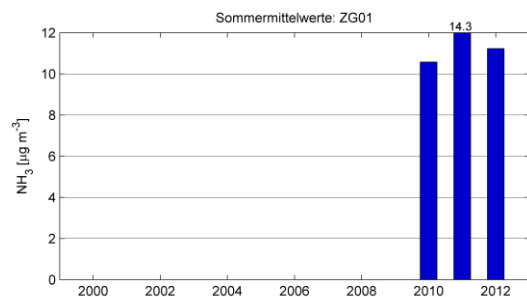
5.4 Saisonale Mittel: Sommer (Mrz – Sept) – Trendberechnung



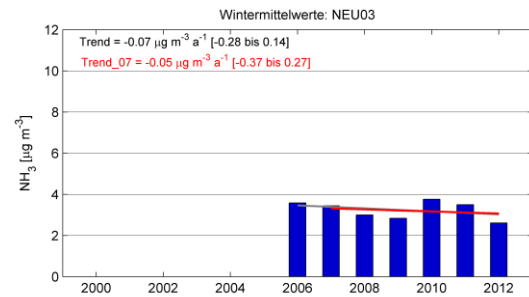
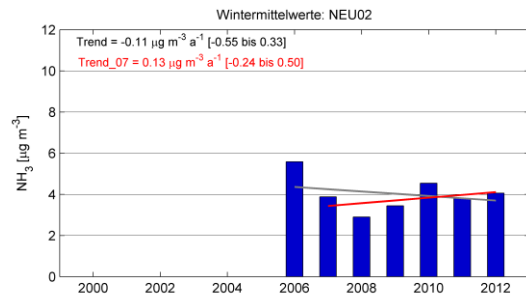
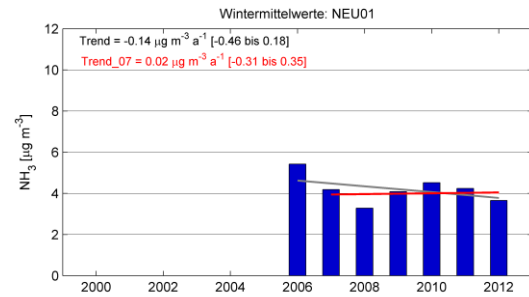
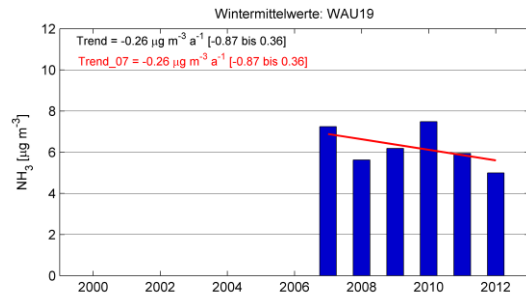
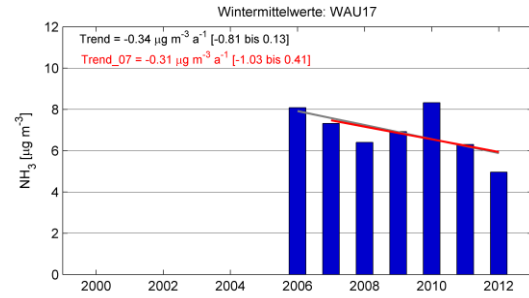
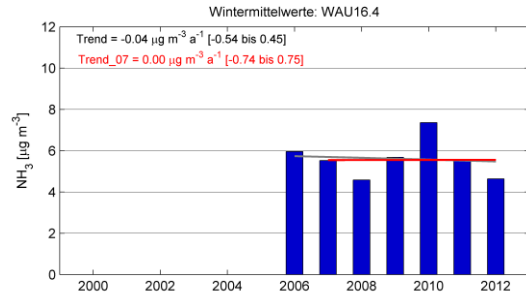
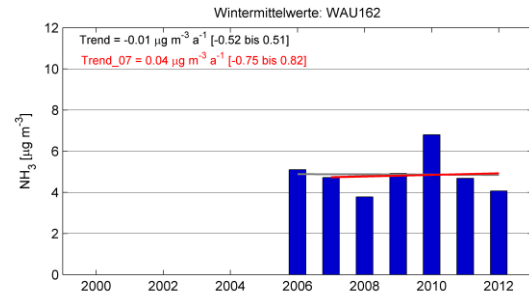
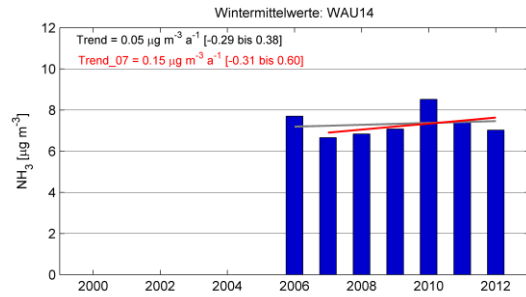
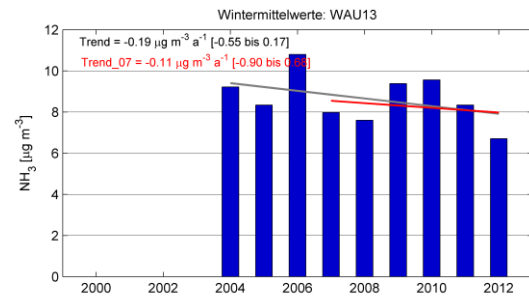
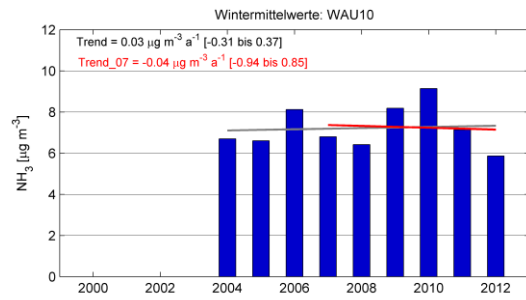


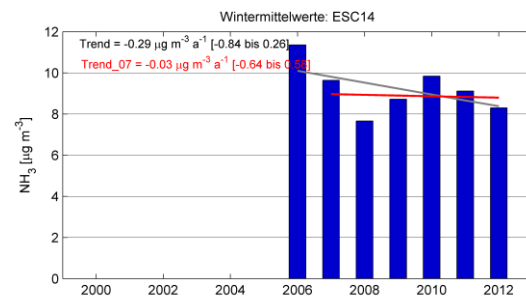
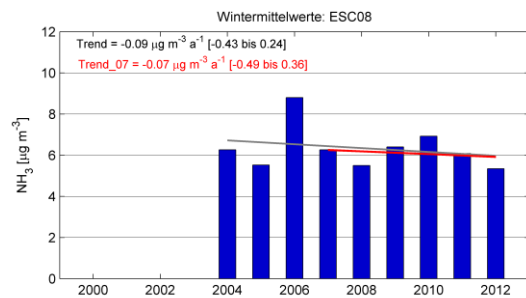
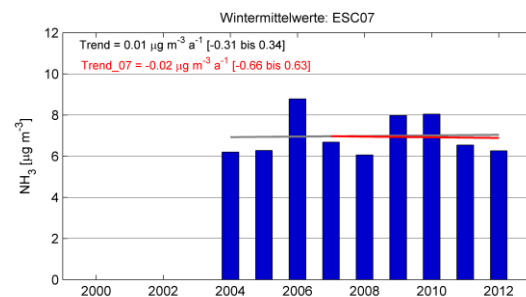
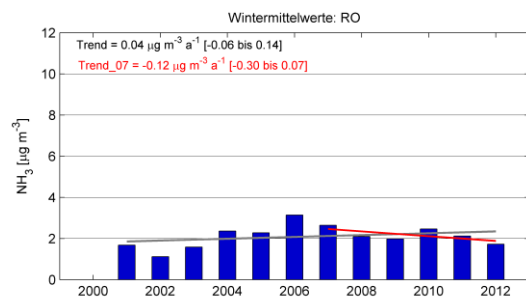
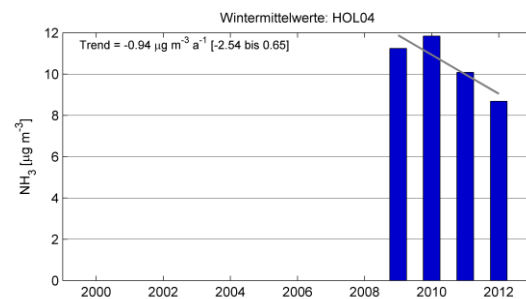
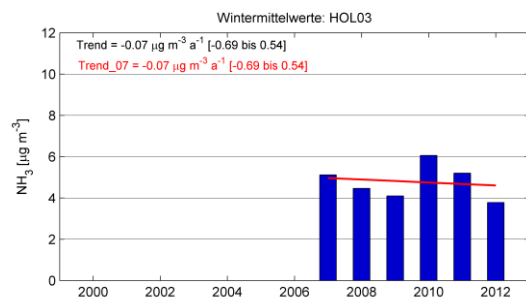
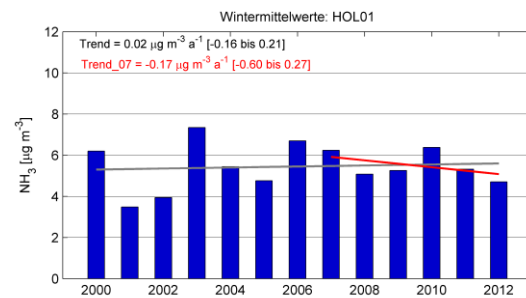
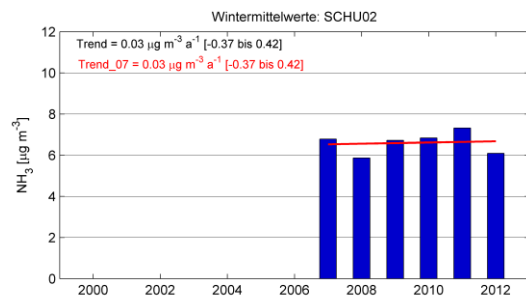
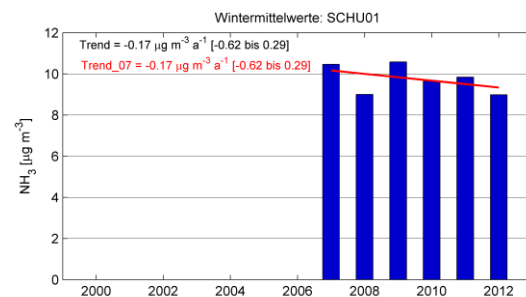
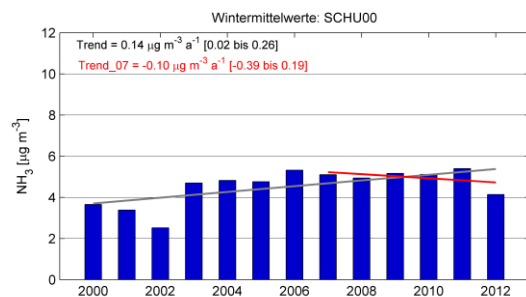


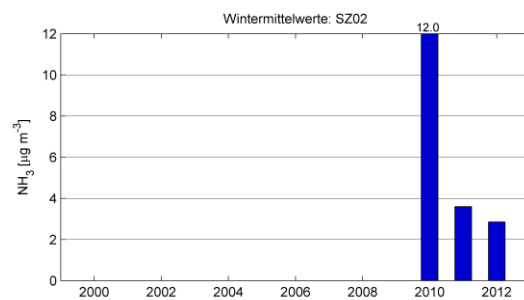
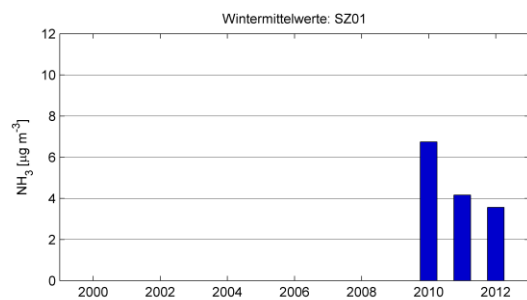
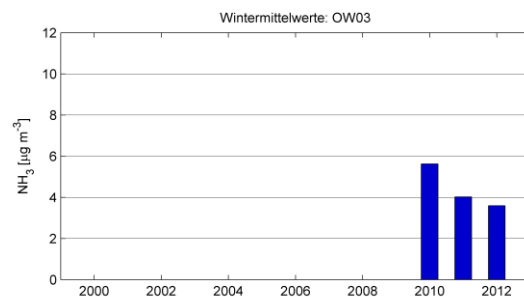
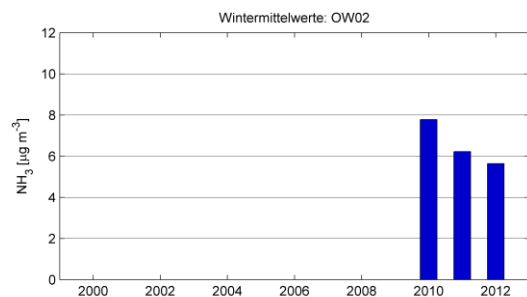
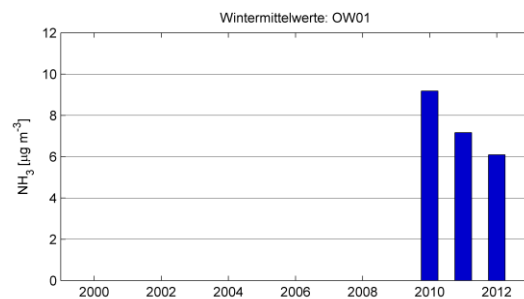
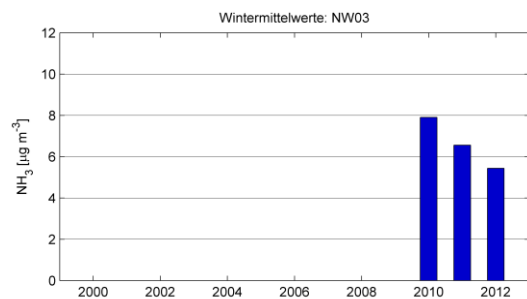
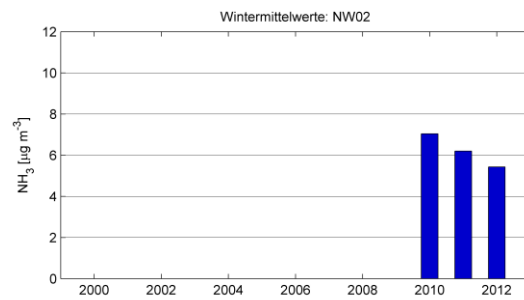
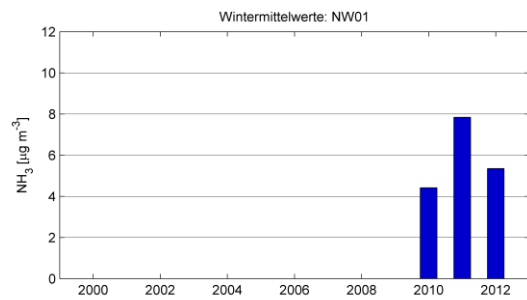
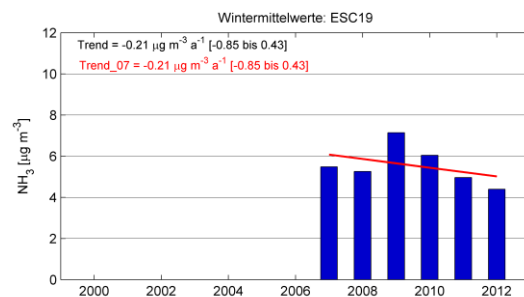
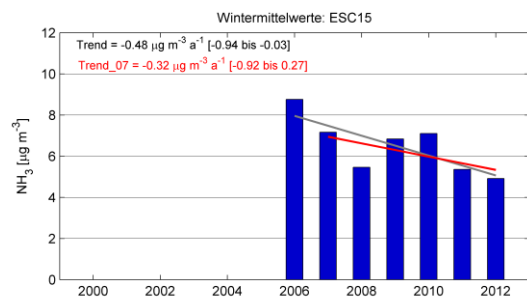


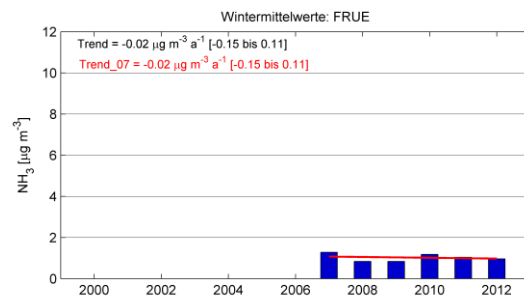
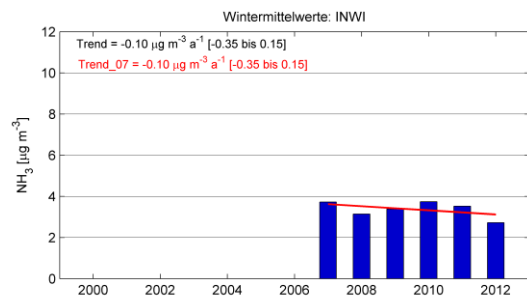
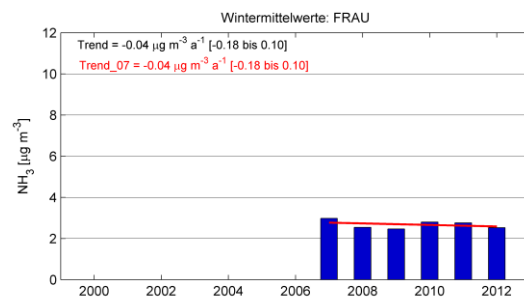
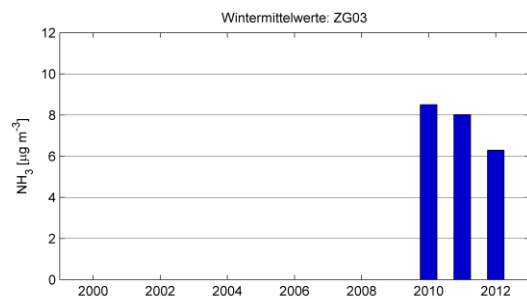
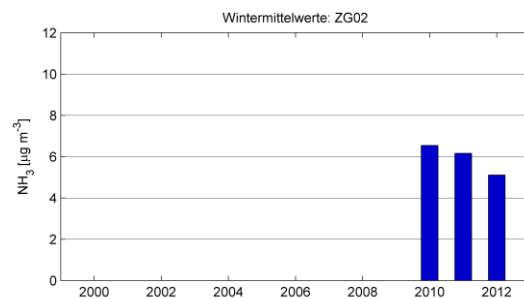
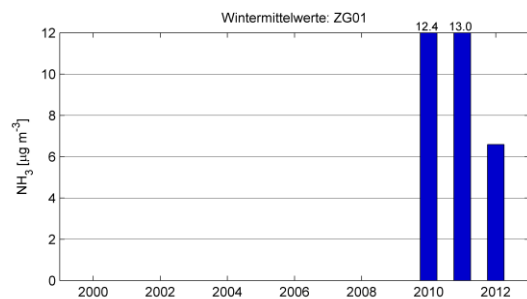
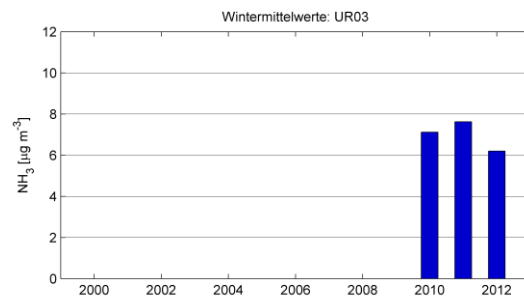
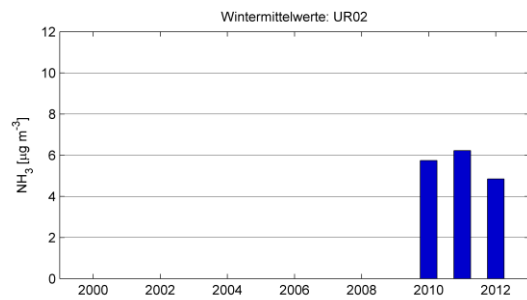
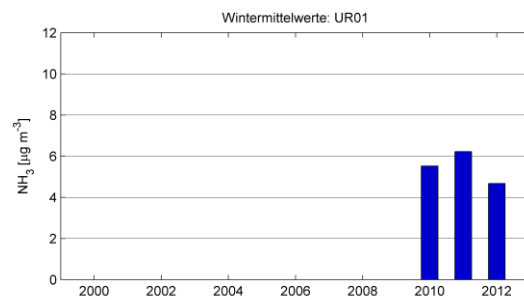
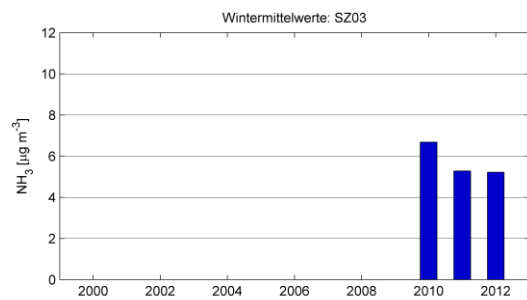


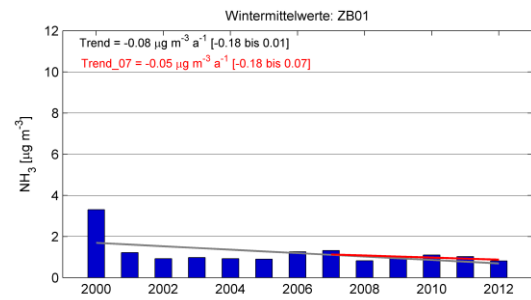
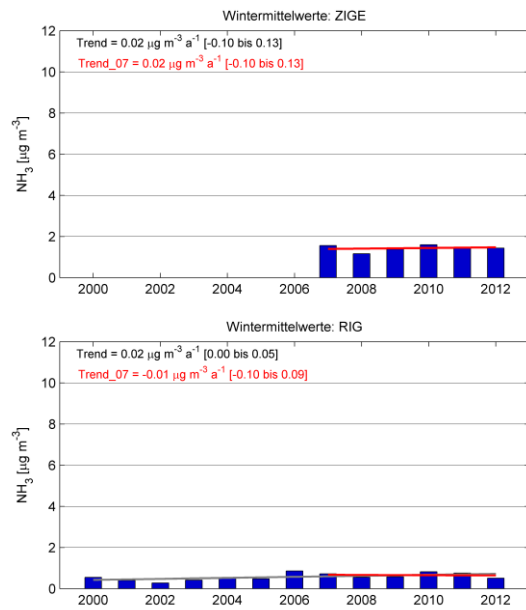
5.5 Saisonale Mittel: Winter (Okt – Feb) – Trendberechnung



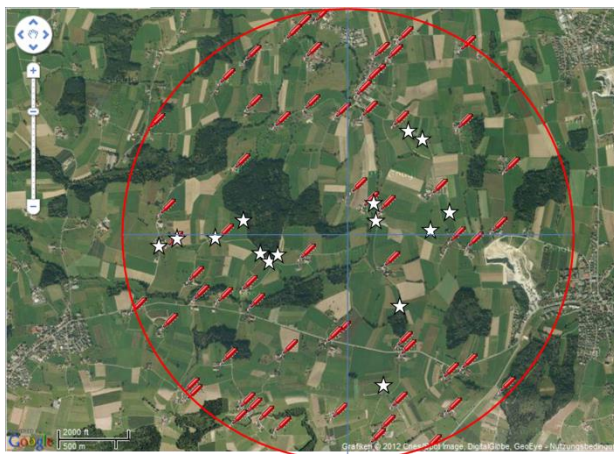




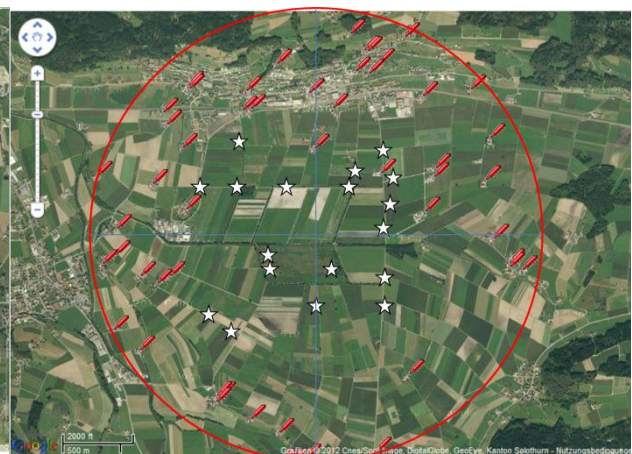




5.6 Karten: Standorte mit Landwirtschaft



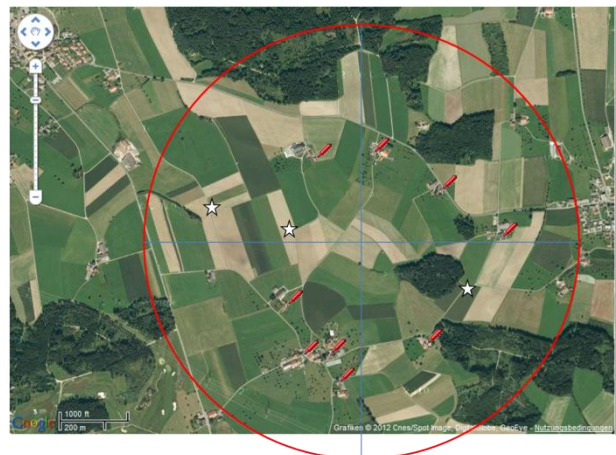
(a)



(b)



(c)



(d)

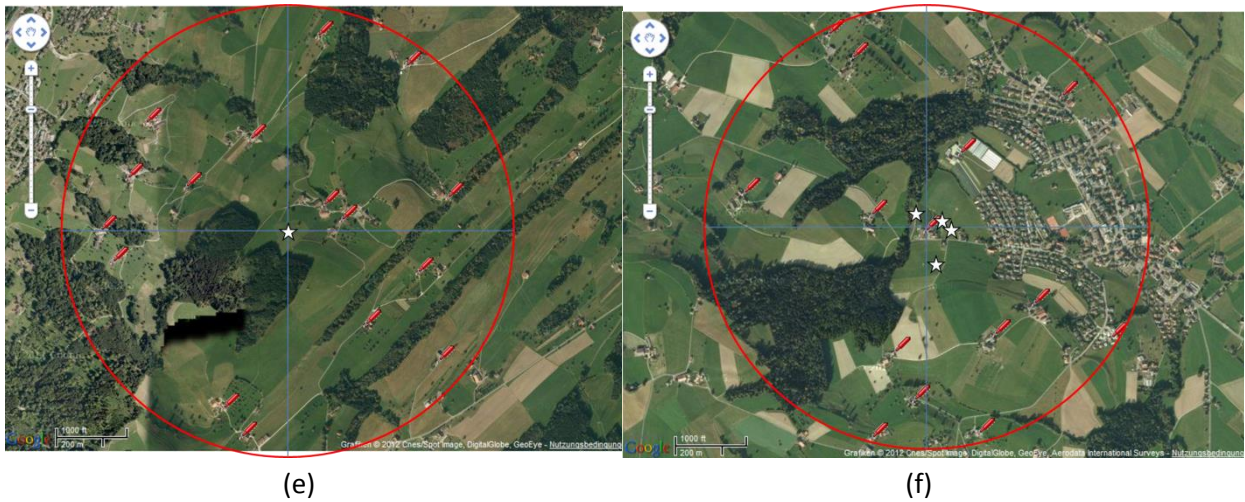
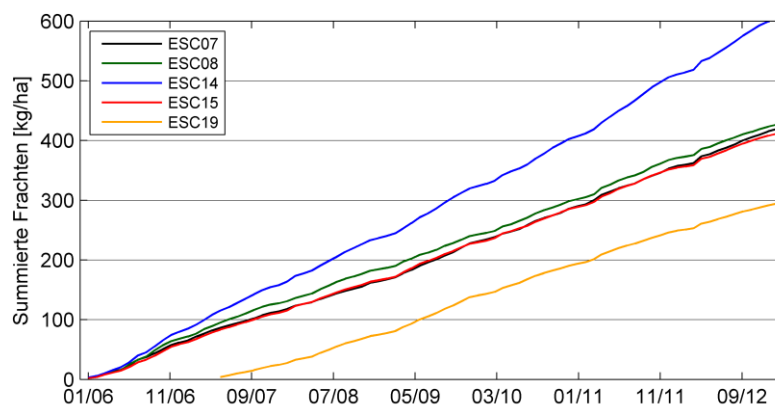
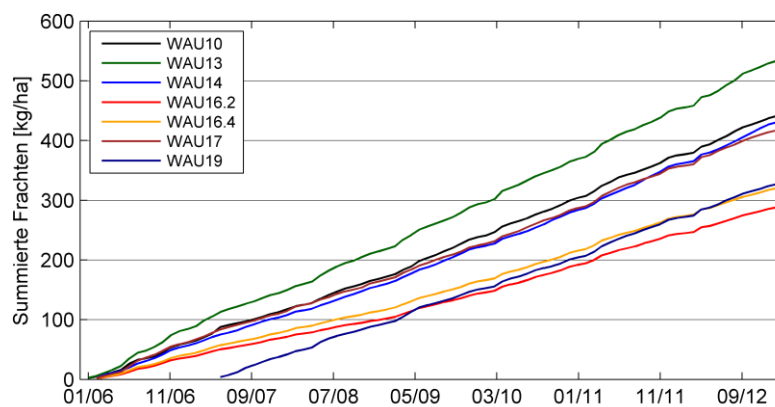
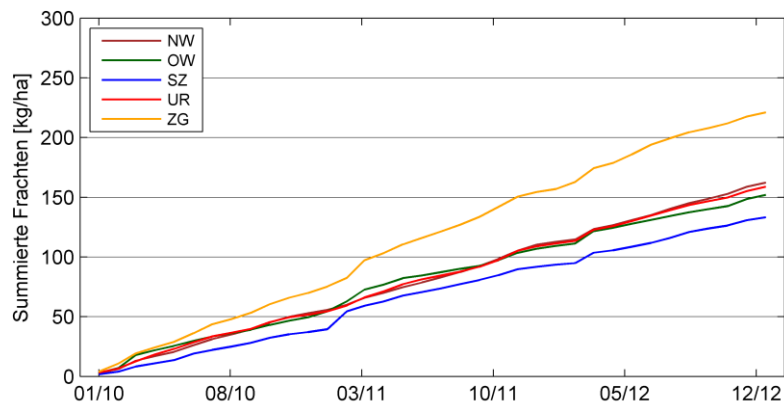
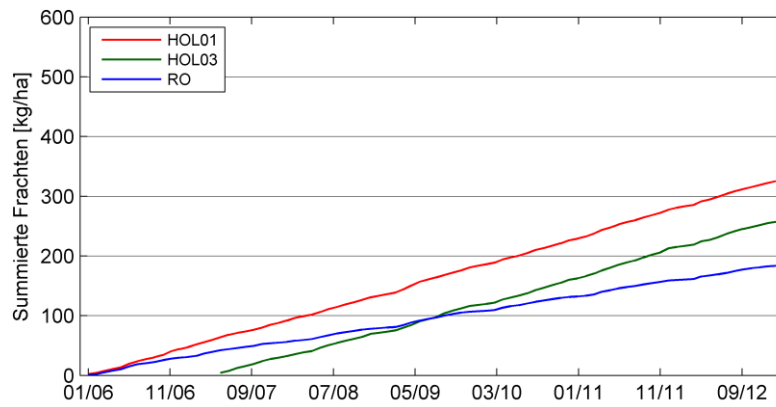
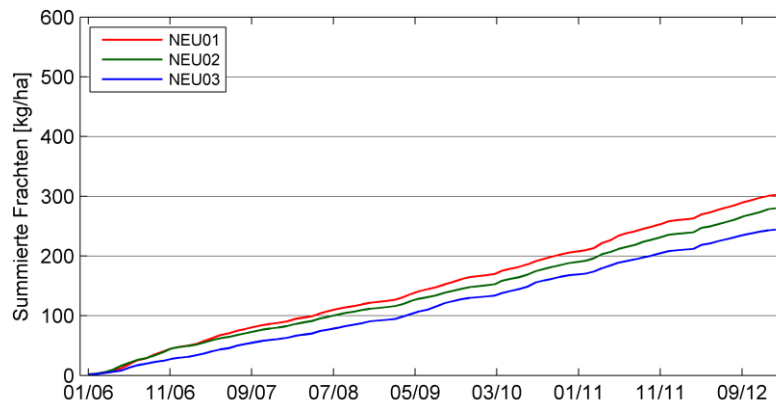
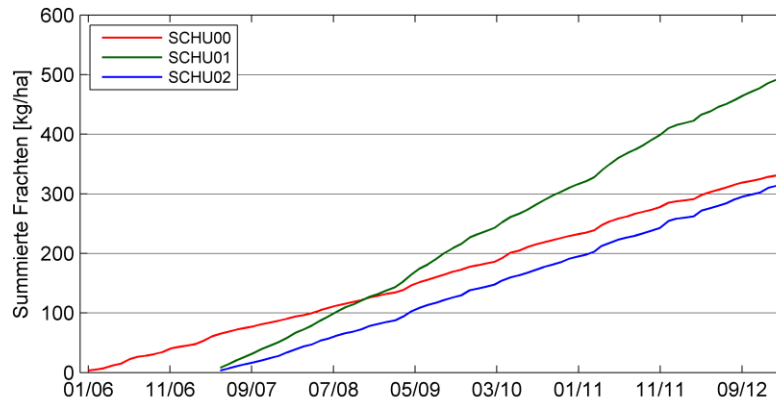
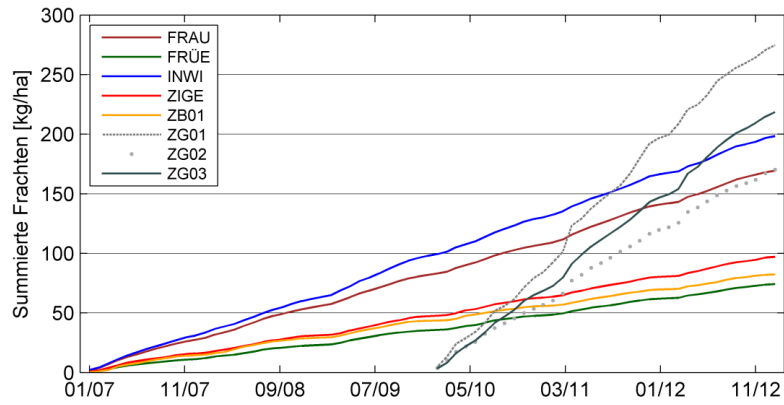


Abbildung 49: Karten der Messgebiete mit landwirtschaftlichen Betrieben (rot) und den Ammoniakmessungen (weisse Sterne). (a) Eschenbach, Kreis 4 km, (b) Wauwil, Kreis 4 km, (c) Schüpfheim, Kreis 2 km, (d) Neudorf, Kreis 2 km, (e) Root Michaelskreuz, Kreis 2 km, (f) Holderhus, Kreis 2 km

5.7 Frachten







5.8 Schleppschlaucheinsatz

