AMMONIAK-MESSBERICHT

Ammoniakmessungen in der Zentralschweiz von 2000 bis 2013

Version: 15.01.2015

Autoren: Susanne Bieri, inNET Monitoring AG
Dr. 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 ..... - 5 -

1.3.1 Wauwil ..... - 8 -

1.3.2 Eschenbach ..... - 8 -

1.3.3 Neudorf ..... - 9 -

1.3.4 Schüpfheim ..... - 10 -

1.3.5 Holderhus ..... - 10 -

1.3.6 Root Michaelskreuz ..... - 11 -

1.3.7 Nidwalden ..... - 12 -

1.3.8 Obwalden ..... - 14 -

1.3.9 Schwyz ..... - 14 -

1.3.10 Uri ..... - 16 -

1.3.11 Zug ..... - 17 -

1.3.12 Rigi-Seebodenalp (NABEL) ..... - 19 -

1.4 Messperioden aller Messpunkte ..... - 20 -

1.5 Qualitätssicherung der Messungen ..... - 22 -

1.5.1 Messunsicherheit Passivsammler ..... - 22 -

2 NH_3-Belastung ..... - 23 -

2.1 Mittlere Jahresgänge ..... - 23 -

2.2 Mehrjahresmittelwerte ..... - 23 -

2.3 Verlauf der Ammoniakkonzentration ..... - 25 -

2.4 Monatsbeiträge zur Gesamtbelastung ..... - 29 -

3 Trendanalyse ..... - 31 -

3.1 Jahresmittel-Trends nach Messgebieten ..... - 31 -

3.2 Trend der saisonalen Mittel nach Messgebieten ..... - 32 -

3.2.1 Saisonale Mittel: Sommer ..... - 32 -

3.2.2 Saisonale Mittel: Winter ..... - 34 -

3.3 Jahresmittel-Trends nach Stationen ..... - 35 -

3.4 Trend der saisonalen Mittel einzelner Messpunkte ..... - 37 -

3.5 Stickstofffrachten durch Ammoniak ..... - 37 -

3.6 Einfluss der Meteorologie auf NH_3-Trends ..... - 41 -
4 Zusammenfassung, Fazit und Ausblick ..... - 43 -
5 Anhang ..... - 44 -
5.1 Charakterisierung der Messpunkte ..... - 44 -
5.2 Jahresmittel der Ammoniakkonzentrationen nach Messgebieten ..... - 46 -
5.3 Trendberechnungen ..... - 47 -
5.3.1 Jahresmittel-Trends nach Messgebieten ..... - 47 -
5.3.2 Jahresmittel-Trends ..... - 48 -
5.3.3 Trends der saisonale Mittel: Sommer (März – Sept.) nach Messgebieten ..... - 52 -
5.3.4 Trends der saisonale Mittel: Winter (Okt. – Feb.) nach Messgebieten ..... - 53 -
5.4 Trends der saisonale Mittel: Sommer (März – Sept.) ..... - 54 -
5.5 Trends der saisonale Mittel: Winter (Okt. – Feb.) ..... - 59 -
5.6 Frachten ..... - 63 -

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] Aber auch im Kanton Zug liegen die Emissionen über dem schweizerischen Durchschnitt von 38 kg NH_3-N ha^{-1} landwirtschaftliche Nutzfläche[2] und damit deutlich zu hoch. In den übrigen Zentralschweizer Kantonen liegen die Ammoniakemissionen im Bereich derjenigen des schweizerischen Mittellandes.

1.1 Ammoniakemissionen: Entwicklung und Prognose

Gemäss Bericht „Ammoniakemissionen in der Schweiz 1990 - 2010 und Prognose bis 2020“[3] stammen von den im Jahr 2010 schweizweit insgesamt emittierten 52.8 Kilotonnen Ammoniak (NH_3-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.[3] Das Rindvieh ist bei der landwirtschaftlichen Tierhaltung, gefolgt von den Schweinen, der bedeutendste Ammoniak-Emittent in der Schweiz (Abbildung 1).[4]

Abbildung 1: Gesamtschweizerische landwirtschaftliche Ammoniak-Emissionen im Jahr 2010[4]

[1] http://www.umwelt-luzern.ch/ammoniak [Stand: 02.04.2012]
[2] KOLAS (2006): Empfehlungen zur Reduktion der Ammoniakverluste aus der Landwirtschaft, Sissach: 27 S.
[3] Bonjour Engineering GmbH, METEOTEST, Oetiker+Partner AG, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (2013): Ammoniakemissionen in der Schweiz 1990 - 2010 und Prognose bis 2020, BAFU
[4] BAFU (2014): Umwelt, Natürliche Ressourcen in der Schweiz, Stickstoff – Segen und Problem

Von 1990 bis 2005 haben die Ammoniak-Emissionen um 17 % abgenommen, dies vor allem aufgrund eines Rückgangs der Nutztierzahlen. Seither stagnieren sie.[5] Eine Prognose der Ammoniakemissionen für das Jahr 2020[6] ergibt je nach Szenario eine Abnahme der landwirtschaftlichen Emissionen von 1 % (Szenario 2020) bis 8 % (Szenario 2020Rw) im Jahr 2020 im Vergleich zum Jahr 2010.

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)[7] zur Verfügung. Critical Loads bezeichnen die 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 verkraftbare Langzeitbelastungen wurden folgende Critical Levels für Ammoniak festgelegt:

- 1 µg m^{-3} NH_3 für empfindliche Moose und Flechten sowie die damit assoziierten Ökosysteme
- 3 µg m^{-3} NH_3 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 Passivsammlern begonnen. Diese Messungen sind im ausführlichen Ammoniak-Messbericht der Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) Luzern beschrieben.[8] 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

[5] BAFU (2014): Grundlagenpapier zur Stickstoffproblematik Luft, Boden, Wasser, Biodiversität und Klima
[6] Bonjour Engineering GmbH, METEOTEST, Oetiker+Partner AG, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (2013): Ammoniakemissionen in der Schweiz 1990 - 2010 und Prognose bis 2020, BAFU
[7] UNECE (2007): Report on the Workshop on Atmospheric Ammonia: Detecting Emission Changes and Environmental Impacts. ECE/EB.Air/WG.5/2007/3
[8] Bucher, P. (2010): Ammoniak-Messbericht, Ammoniak-Messnetz Kanton Luzern, Ergebnisse 2000 bis 2009, uwe Luzern

Überwachung des Lufthygiene-Massnahmenplans Ammoniak sowie aktuell und in Zukunft auch als Wirkungsmonitoring für den Erfolg des Ressourcen-Programms zur Ammoniakminderung.[9] Im Kanton Luzern sind insgesamt 6 Messgebiete vorhanden. In jedem Messgebiet gibt es mehrere Messpunkte (Abbildung 2).

Im Kanton Zug entstand im Jahr 2007 ein kantonales Ammoniakmessnetz mit vier Messgebieten. 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 Stationen befinden sich in der Nähe von empfindlichen Ökosystemen wie Moor, Naturschutzgebiet oder Wald (namentlich Frauental, Zugerberg und Zigerhüttli).

Zusätzlich betreibt der Kanton Zug zusammen mit den weiteren Zentralschweizer Kantonen Nidwalden, Obwalden, Schwyz und Uri im Rahmen des „Ressourcenprojekts Ammoniak Zentralschweiz" Ammoniakmessungen in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten. Diese Messungen erfolgen gestützt auf Artikel 77 a des Bundesgesetzes über die Landwirtschaft und § 12 a des Gesetzes über die Landwirtschaft. Das Projekt hat im Jahr 2010 begonnen und dauert bis Ende 2015. Neben freiwilligen Massnahmen im Bereich Stall, Hofdüngerlagerung, Hofdüngerausbringung sowie einzelbetrieblichen Projekten und der Beratung von Landwirten zur Minderung von Ammoniak-Emissionen wird ein Wirkungsmonitoring betrieben. Im Rahmen des „Ressourcenprojekts Ammoniak Zentralschweiz" wird die Ammoniakkonzentration pro Kanton in meist einer Geländekammer (definiert als Messgebiet) an drei Messpunkten gemessen.

In allen Messnetzen sind jeweils an jedem Messpunkt zwei bis drei Passivsammlerröhrchen in einem Wetterschutzgehäuse montiert (Abbildung 3). In den folgenden Kapiteln 1.3.1 bis 1.3.12 sind die einzelnen Messgebiete genauer beschrieben. Alle Messpunkte sind in der Tabelle 3 im Anhang (Kapitel 5.1) im Detail charakterisiert.

Seit dem Jahr 2012 erfolgt die Berichterstattung über die Ammoniakmessungen durch die Firma inNET Monitoring AG. Der Ammoniak-Messbericht 2012 wurde im Auftrag der Dienststelle Umwelt und Energie des Kantons Luzern erstellt.[10] Im Folgejahr wurde erstmals ein gemeinsamer Ammoniak-Messbericht für die Zentralschweiz erstellt.[11] Im vorliegenden Bericht werden im Auftrag der Zentralschweizer Umweltdirektionen (ZUDK) die Ammoniak-Messdaten bis Ende 2013 der gesamten Zentralschweiz analysiert.

[9] Kanton Luzern, Umwelt und Energie (2007): Massnahmenplan Luftreinhaltung, Teilplan Ammoniak

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

[11] Bieri, S., Ruckstuhl, C. (2013): Ammoniak-Messbericht, Ammoniakmessungen in der Zentralschweiz von 2000 bis 2012, inNET Monitoring AG

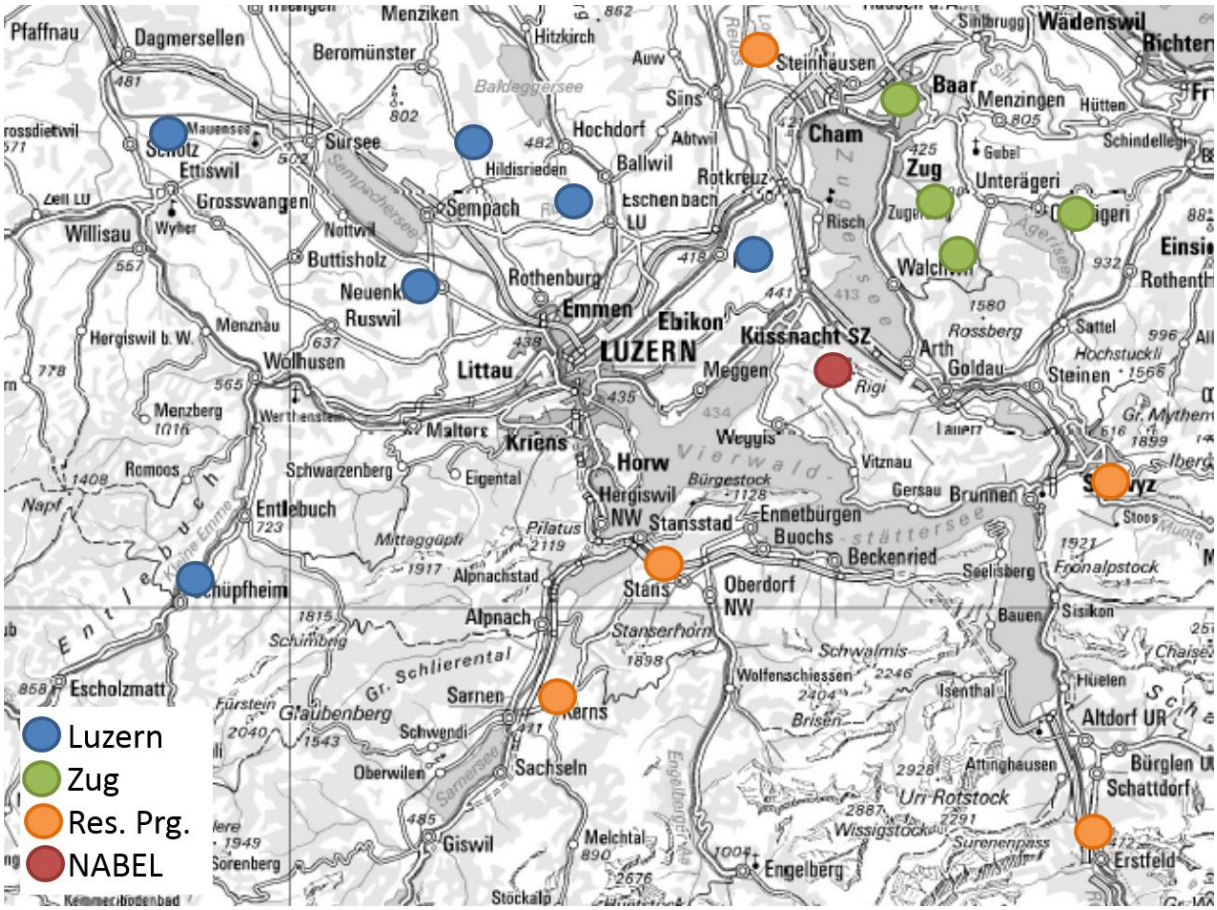


Abbildung 2: Gesamtübersicht der Ammoniakmessungen in der Zentralschweiz: Die Punkte stehen für Messgebiete, in welchen in der Regel mehrere Messpunkte vorhanden sind.

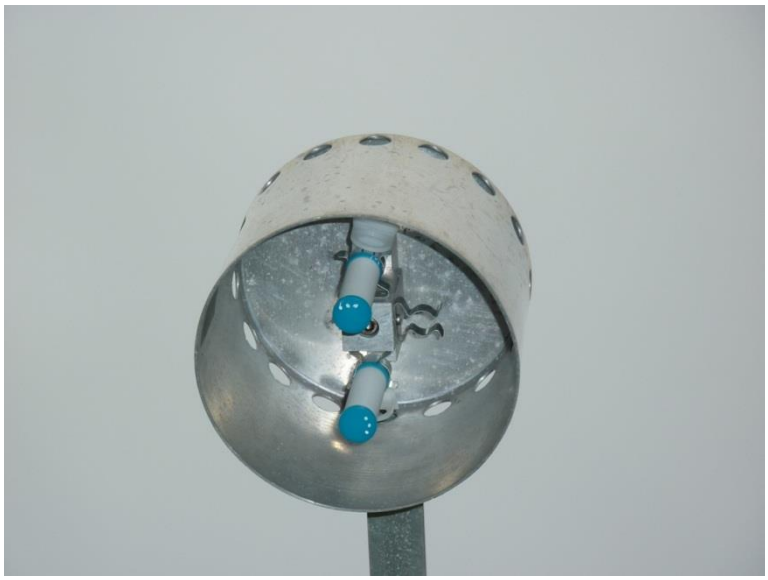


Abbildung 3: Zwei NH_3-Passivsammlerröhrchen im Wetterschutzgehäuse

1.3.1 Wauwil

Die Ammoniak-Messungen im Messgebiet Wauwil liegen zum grossen Teil seit dem Jahr 2004 vor. An einem Messpunkt (WAU05) wurde schon im Jahr 2000 mit den Messungen begonnen. An diesem Messpunkt war der Sammler relativ tief (< 1 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 4 ersichtlich, ein Nord-Süd- und ein Ost-West-Transekt erstellt, um die lokalräumliche 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 (Messpunkt 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 4 zu erkennen ist, wird die flache Ebene durch Baumreihen durchkreuzt, welche als Senke für Ammoniak wirken. Durch die topographische Lage des Messgebietes bilden sich oft bodennahe Inversionen aus.

Abbildung 4: Räumliche Übersichtsgrafik des Messgebietes Wauwil; schwarze Kreise markieren diejenigen Messpunkte, welche im Jahr 2013 in Betrieb sind.

1.3.2 Eschenbach

Im Messgebiet Eschenbach (siehe Abbildung 5) 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 Messpunkte in Betrieb.

Abbildung 5: Räumliche Übersichtsgrafik des Messgebietes Eschenbach; schwarze Kreise markieren diejenigen Messpunkte, welche im Jahr 2013 in Betrieb sind.

1.3.3 Neudorf

Abbildung 6 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 Messpunkten werden seit 2006 Ammoniakmessungen durchgeführt. Durch die erhöhte Lage ist das gesamte Messgebiet gut durchlüftet und liegt häufig über Inversionen im Talgrund.

Abbildung 6: Räumliche Übersichtsgrafik des Messgebietes Neudorf; alle Messpunkte sind im Jahr 2013 in Betrieb.

1.3.4 Schüpfheim

Das Messgebiet Schüpfheim besteht aus drei Messpunkten (siehe Abbildung 7). Am Messpunkt SCHÜ00 werden seit 1999 Ammoniakmessungen durchgeführt. Im Jahr 2007 kamen dann die zwei anderen Messpunkte hinzu. Der Messpunkt 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 Messpunkt SCHÜ01 liegt nördlich eines Stalles, SCHÜ02 am Ufer der Kleinen Emme. Diese unterschiedlichen Lagen machen sich direkt in den Ammoniakkonzentrationen bemerkbar.

Abbildung 7: Räumliche Übersichtsgrafik des Messgebietes Schüpfheim; alle Messpunkte sind im Jahr 2013 in Betrieb.

1.3.5 Holderhus

Im Jahr 2000 starteten die Ammoniakmessungen im Gebiet Holderhus (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9). 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 8: Räumliche Übersichtsgrafik des Messgebietes Holderhus; alle Messpunkte ausser HOL00 sind im Jahr 2013 in Betrieb.

Abbildung 9: Messpunkt Holderhus 01 (HOL01) auf 4 m über Grund

1.3.6 Root Michaelskreuz

Im Messgebiet Michaelskreuz wird die Ammoniakkonzentration seit 2001 an einem Messpunkt erfasst (siehe Abbildung 10 und Abbildung 11). Die Ammoniakbelastung stammt vor allem von zwei Betrieben mit Rindern und Hühnern. Das Messgebiet liegt zeitweise über den Inversionen im Mittelland und weist mikroklimatisch eine leichte Aufwindthermik während des Tages auf.

Abbildung 10: Räumliche Übersichtsgrafik des Messgebietes Root Michaelskreuz; der Messpunkt ist im Jahr 2013 in Betrieb.

Abbildung 11: Messpunkt Root Michaelskreuz mit Blickrichtung Ost

1.3.7 Nidwalden

Im Rahmen des Ressourcenprojekts Ammoniak Zentralschweiz wurden im Kanton Nidwalden ebenfalls drei Messpunkte installiert. Zwei Messpunkte liegen westlich von Stans, einer in Oberdorf (siehe

Abbildung 12 und Abbildung 13). Die beiden Messpunkte bei Stans befinden sich auf der Stanser Ebene. Der Messpunkt von Oberdorf befindet sich nahe der Engelberger Aa, Richtung Engelbergertal.

Abbildung 12: Räumliche Übersicht im Messgebiet Nidwalden

(a) (b)

Abbildung 13: (a) Messpunkt NW-01 Stans Galgenried Nord und (b) Messpunkt NW-03 Oberdorf Schiessstand[12]

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

1.3.8 Obwalden

Auch im Kanton Obwalden wurden im Rahmen des Ressourcenprojekts Ammoniak Zentralschweiz drei Messpunkte installiert. Die Messpunkte stehen in Kerns in einer Ebene nordöstlich des Ortsteils Sand, wenige hundert Meter neben einer wenig befahrenen Strasse (siehe Abbildung 14).

Abbildung 14: Räumliche Übersicht im Messgebiet Obwalden

1.3.9 Schwyz

Im Talkessel von Schwyz in der Nähe von Ibach liegen die drei Ammoniak-Messpunkte des Kantons Schwyz. Alle drei Messpunkte befinden sich in der Nähe von kleinen, wenig befahrenen Strassen (siehe Abbildung 15 und Abbildung 16).

Abbildung 15: Räumliche Übersicht im Messgebiet Schwyz

Abbildung 16: Messpunkt Rossmattli, SZ-03, im Talkessel von Schwyz gelegen[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

1.3.10 Uri

Die drei Ammoniak-Messpunkte 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 17 und Abbildung 18).

Abbildung 17: Räumliche Übersicht im Messgebiet Uri

Abbildung 18: Messpunkt Uri-02[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

1.3.11 Zug

Neben fünf kantonalen Messstationen hat der Kanton Zug im Rahmen des Ressourcenprojekts Ammoniak Zentralschweiz zusätzlich drei Messpunkte installiert. Diese liegen im Gebiet um Niederwil (Gemeinde Cham, siehe Abbildung 19 und Abbildung 20). Die Topographie ist leicht hügelig, offen und gut durchlüftet.

Abbildung 19: Räumliche Übersicht im Messgebiet Niederwil (Cham) inkl. kantonaler Messpunkt Kloster Frauental

Abbildung 20: Messpunkt Grob (ZG-02)[15]

[15] 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 Messgebiete mit je einem Messpunkt verteilen sich über das gesamte Kantonsgebiet, wobei die Station Zugerberg 1 durch das IAP betrieben wird (siehe Abbildung 21). Bei der Auswahl der kantonalen Messgebiete interessierte vor allem, wie die Ammoniakbelastung in sensiblen Ökosystemen, für die sowohl Critical Loads als auch Critical Levels definiert worden sind, aussieht (Messgebiete Zigerhüttli, Früebüel und Frauental). Zusätzlich wurde ein typischer Agglomerations-Hintergrundstandort gewählt, um den Einfluss von Strassen und Stadtnähe zu bestimmen (Messgebiet Inwil).

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

Abbildung 21: Räumliche Übersicht der kantonalen Passivsammler von Zug sowie der Passivsammler des „Ressourcenprojekts Ammoniak“

1.3.12 Rigi-Seebodenalp (NABEL)

Bei der NABEL-Station Rigi-Seebodenalp befindet sich ebenfalls eine Ammoniak-Messstation. Der Messpunkt befindet sich auf der Krete der Mülimannsegg, 600 m über dem Vierwaldstättersee auf gut 1‘000 m ü. M. (siehe Abbildung 22 und Abbildung 23).

Abbildung 22: Räumliche Übersicht im Gebiet der NABEL-Station Rigi-Seebodenalp

Abbildung 23: Messpunkt Rigi-Seebodenalp (RIG)

1.4 Messperioden aller Messpunkte

Abbildung 24 zeigt eine graphische Darstellung der Messperioden für alle Messpunkte in der Zentralschweiz inklusive NABEL-Station Rigi-Seebodenalp. Die frühesten Messungen begannen 1999 in den Gebieten 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 2013 bestanden im Kanton Luzern noch 22 Ammoniakmesspunkte, aufgeteilt auf die 6 Messgebiete. Im Kanton Zug wurde ab dem Jahr 2007 mit vier kantonalen Messpunkten in der Nähe von 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 2013 nebst der Rigi-Seebodenalp 20 Ammoniakmesspunkte.

Wie in Abbildung 24 dargestellt, wurde der Messpunkt SCHÜ00 während der Messphase verschoben. Dieser Messpunkt wurde mit der Zeit von Gebüsch überwachsen und deshalb wieder auf freies Feld umplatziert. 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 Messpunkt WAU05 Datenlücken, daher müssen die Daten vor 2004 mit Vorsicht betrachtet werden.

Der Messpunkt 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.[17] 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 Messpunkt 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.[16]

Der Passivsammler beim Messpunkt ZG-01 wurde ab dem September 2013 mehrmals von Vandalen beschädigt (Probebehälter mit Stange wurde entwendet, Passivsammler wurden entwendet). Deshalb steht für diesen Messpunkt für das Jahr 2013 kein gültiger Jahresmittelwert zur Verfügung. Auch im Jahr 2014 gingen die Vandalenangriffe weiter, worauf der Kanton Zug diverse Massnahmen ergriffen hat (Erstattung Anzeige, leichte Versetzung der Stange, teilweise Überwachung, Information an Landwirte im Gebiet). Das Ziel ist es, die Passivsammlermessung an diesem Messpunkt weiterzuführen.

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

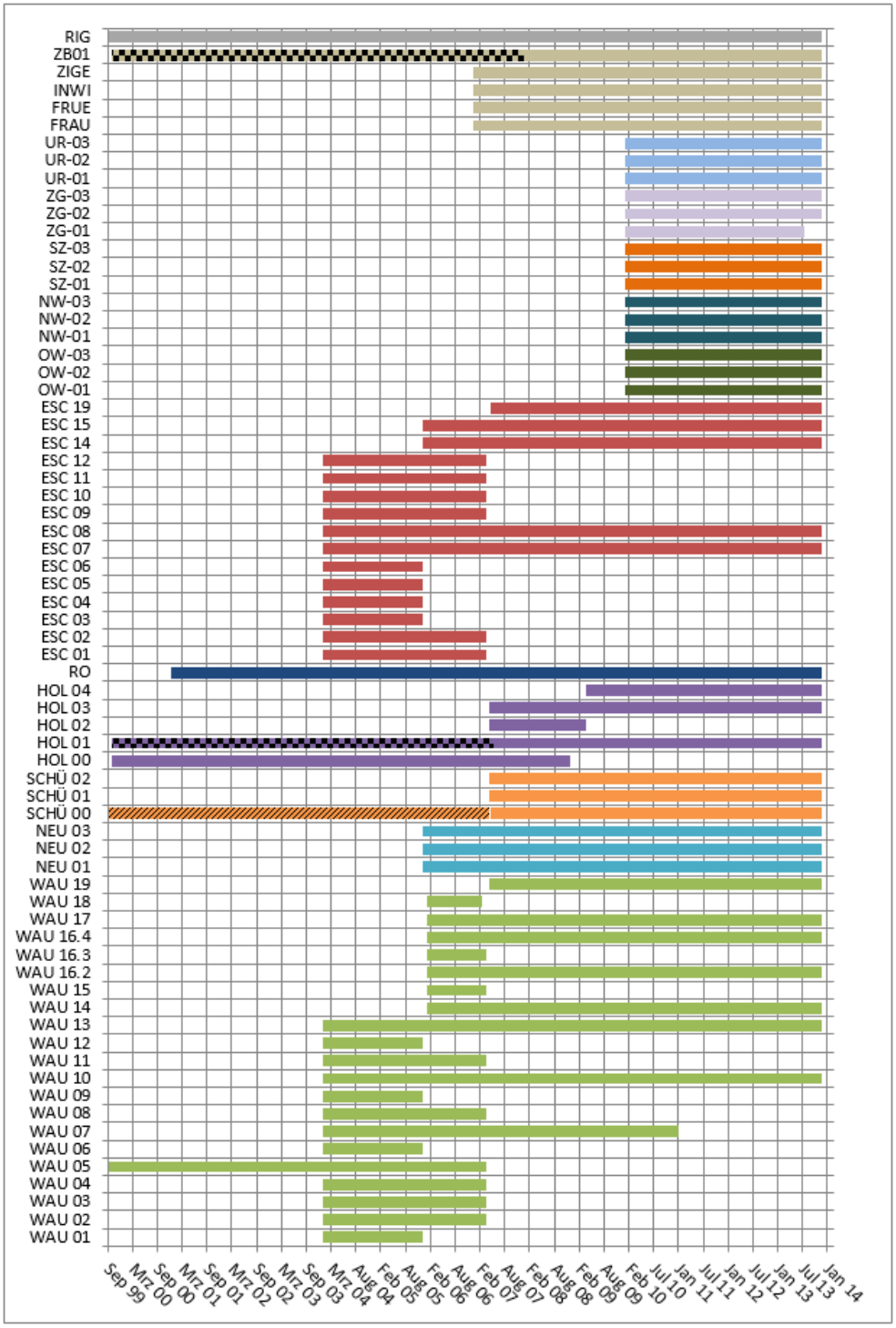


Abbildung 24: Zeitliche Übersichtsgrafik aller Messpunkte in der Zentralschweiz, farblich unterteilt in die verschiedenen Messgebiete. Bei Messpunkten, welche innerhalb der Messung verschoben wurden, sind die Balken mit schwarzen Schrägstrichen markiert. Die Werte von HOL01 vor Juni 2007 (schachbrettartig gemustert) sind rückwirkend korrigiert worden,[17,18] das Gleiche gilt für die Werte von ZB01 vor 2008 (ebenfalls schachbrettartig gemustert).[19]

[17] Die Umrechnung für die Werte vor 2007 wurde durch eine Parallelmessung mit HOL00 ermittelt: HOL01 = HOL00*0.98+0.90 (R^2=0.95)

[18] Mündliche Mitteilung Eva Seitler, FUB, 15.03.2012

1.5 Qualitätssicherung der Messungen

1.5.1 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 Messunsicherheit[20] von im Jahresmittel 0.6 µg 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 µg m^{-3} auseinanderliegen.[21] Daraus kann eine Unsicherheit (90%-Bereich) von 0.17 µg m^{-3} für einen Jahresmittelwert abgeleitet werden.

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

[19] Die Umrechnung für die Werte vor 2008 wurde durch eine Parallelmessung mit ZB00 ermittelt: ZB01 = ZB00 * 1.05 (R^2 = 0.97)

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

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

2 NH_3-Belastung

2.1 Mittlere Jahresgänge

Für die Berechnung eines mittleren Jahresganges wurden vier Messpunkte mit unterschiedlicher Bewirtschaftung sowie langer Datenverfügbarkeit ausgewählt (Abbildung 25). Alle Stationen 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 Messpunkten (SCHÜ00 sowie HOL01) stark ausgeprägt. Zudem sind an diesen intensiv landwirtschaftlich genutzten Messpunkten auch erhöhte Werte im November ersichtlich. Dies deutet darauf hin, dass vor Wintereinbruch die Güllelager nochmals geleert werden.

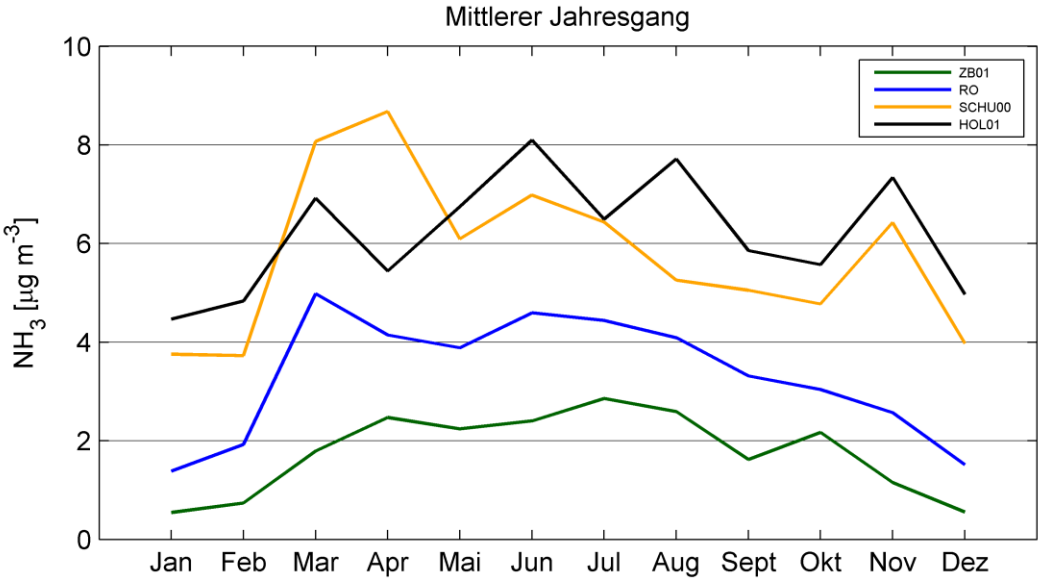


Abbildung 25: Vergleich des Jahresgangs unterschiedlicher Messpunkte mit verschiedener Bewirtschaftung. Mittelung von 2000 bis 2013 (mit Ausnahme von RO: Mittelung von 2001 bis 2013).

2.2 Mehrjahresmittelwerte

Die Jahresmittel der Ammoniak-Konzentrationen ausgewählter Messpunkte über die jeweilige Messperiode sind auch im Anhang, Kapitel 5.2, eingefügt. Tabelle 1 und Abbildung 26 zeigen die mehrjährigen Jahresmittel der Ammoniakkonzentration der verschiedenen Messgebiete. Der Critical Level von 3 µg 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: Mehrjahresmittelwerte (2010 - 2013) der Ammoniakkonzentration in den verschiedenen Messgebieten

Messgebiet	Mehrjähriges Mittel (2010 – 2013) NH_3-Konzentration
Wauwil (WAU10, WAU13, WAU14, WAU16.4, WAU17, WAU19)	8.1 µg m^{-3}
Eschenbach (ESC07, ESC08, ESC14, ESC15, ESC19)	8.3 µg m^{-3}
Holderhus (HOL01, HOL03)	5.9 µg m^{-3}
Schüpfheim (SCHÜ00, SCHÜ01, SCHÜ02)	8.0 µg m^{-3}
Root, Michaelskreuz (RO)	3.1 µg m^{-3}
Neudorf (NEU01, NEU02, NEU03)	5.3 µg m^{-3}
Nidwalden (NW-01, NW-02, NW-03)	6.7 µg m^{-3}
Obwalden (OW-01, OW-02, OW-03)	6.4 µg m^{-3}
Schwyz (SZ-01, SZ-02, SZ-03)	5.2 µg m^{-3}
Uri (UR-01, UR-02, UR-03)	6.6 µg m^{-3}
Zug (ZG-01, ZG-02, ZG-03)	8.7 µg m^{-3}
Kloster Frauental (FRAU)	3.7 µg m^{-3}
Früebüel (FRÜE)	1.6 µg m^{-3}
Inwil (INWI)	4.2 µg m^{-3}
Zigerhüttli (ZIGE)	2.1 µg m^{-3}
Zugerberg 1 (ZB01)	1.6 µg m^{-3}
Rigi-Seebodenalp (RIG)	1.4 µg m^{-3}

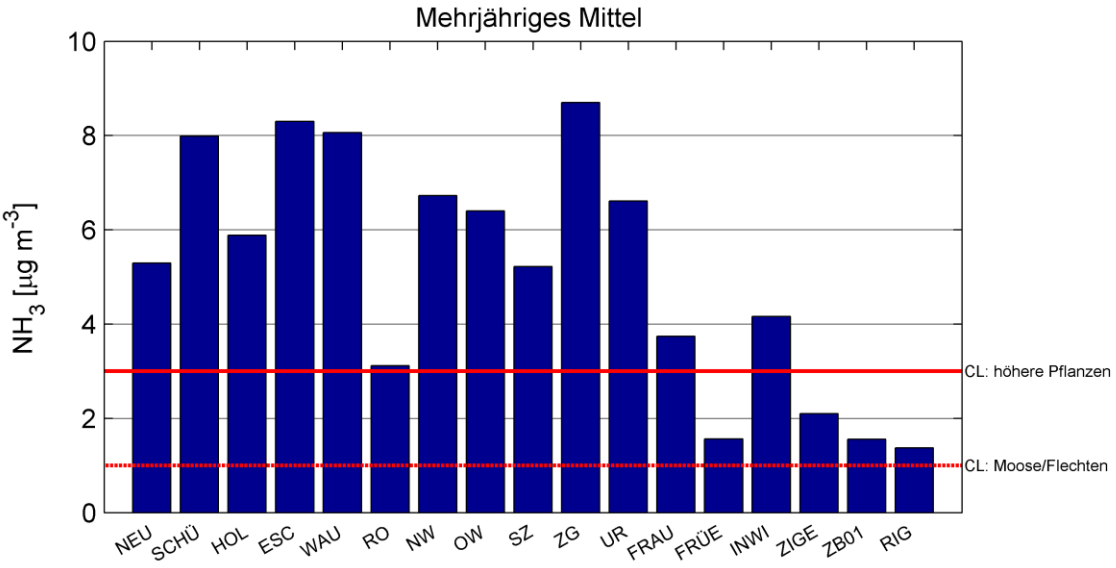


Abbildung 26: Mehrjähriges Mittel (Mittel 2010 - 2013) der Ammoniakkonzentration in den einzelnen Messgebieten.

2.3 Verlauf der Ammoniakkonzentration

Eine detaillierte Darstellung der Jahresmittel seit 2007 aller Ammoniakmesspunkte im Kanton Zug zeigt die Überschreitung der Critical Levels deutlich über alle Messjahre an mehreren Stationen (Abbildung 27). An drei Messgebiete in der Nähe von empfindlichen Ökosystemen (Früebüel, Zigerhüttli und Zugerberg) wird der Critical Level für Moose und Flechten überschritten. Das Jahr 2013 fällt an den meisten Stationen durch niedrige Ammoniakkonzentrationen auf.

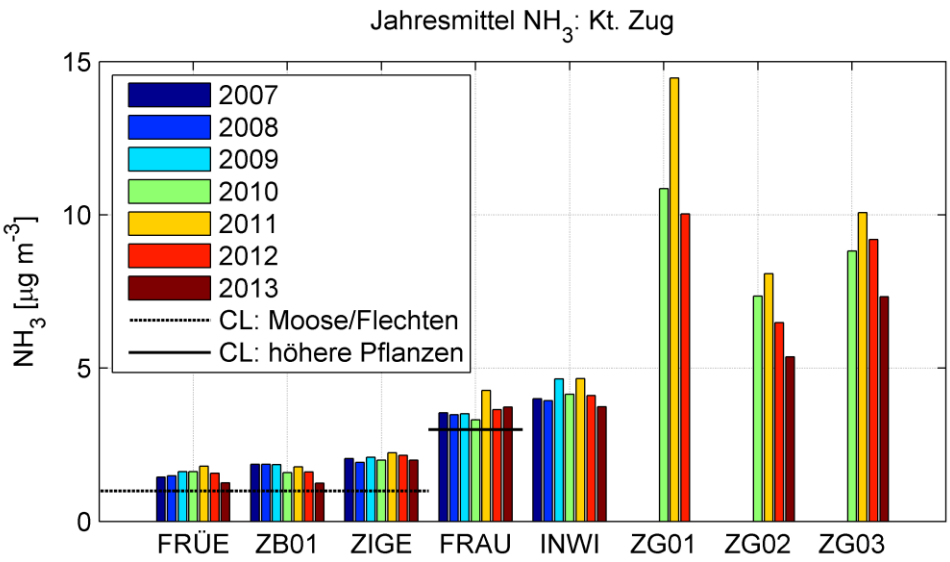


Abbildung 27: Jahresmittel (2007 bis 2013) der Ammoniakkonzentration an den einzelnen Messpunkten im Kanton Zug. Seit September 2013 stehen für ZG01 keine Daten mehr zur Verfügung. Deswegen konnte kein gültiger Jahresmittelwert berechnet werden.

Abbildung 28 zeigt den Verlauf der Ammoniakkonzentration seit 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. Der Frühjahrespeak war im Jahr 2013 geringer als in anderen Jahren. In Kapitel 3.6 wird noch näher auf diese Besonderheit eingegangen. Ende Jahr 2013 ist im Kanton Obwalden ein Peak augenfällig. Ähnlich hohe Herbstpeaks wurden an allen Ressourcenprojekt-Standorten der Zentralschweiz auch im Jahr 2011 detektiert. Herbstpeaks sind an diversen Stationen oft sichtbar, aber meist weniger ausgeprägt als Frühjahrespeaks (siehe auch mittlerer Jahresgang in Abbildung 25). Diese Peaks weisen auf die Praxis des spätherbstlichen Ausbringens von Gülle auf nicht aufnahmefähige Böden hin.

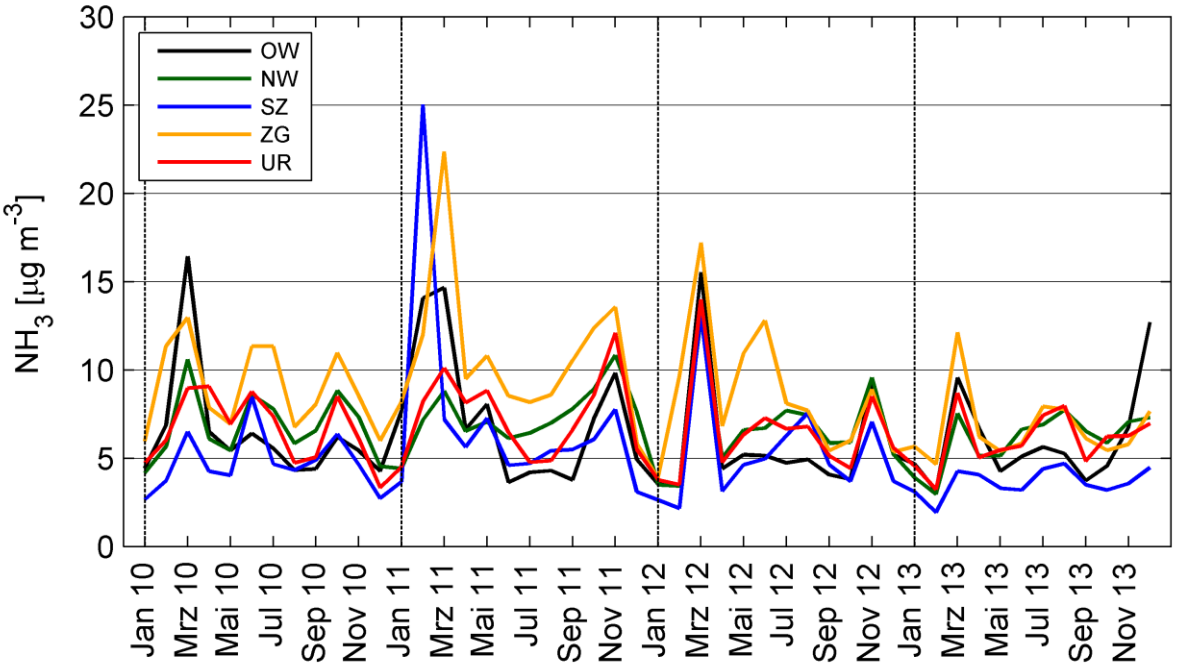


Abbildung 28: Verlauf der Ammoniakkonzentration seit Januar 2010 an den Ressourcenprojekt-Standorten der Zentralschweizer Kantone ohne Luzern.

Abbildung 29 zeigt den Verlauf der Ammoniakkonzentration für die kantonalen Passivsammler in Zug seit dem Januar 2010. Die fünf kantonalen Passivsammler zeigen kontinuierlich Messwerte auf tieferem Niveau als die Passivsammler des Ressourcenprojekts. Bei den kantonalen Passivsammlern wurden bewusst solche mit geringer Belastung in empfindlicher Umgebung ausgewählt, welche nicht so intensiv landwirtschaftlich genutzt werden wie die Ressourcenprojekt-Standorte. Interessant ist, dass während der letzten zwei Jahre die Differenz zwischen den Ressourcenprojekt-Passivsammlern und den übrigen Messstandorten abgenommen hat.

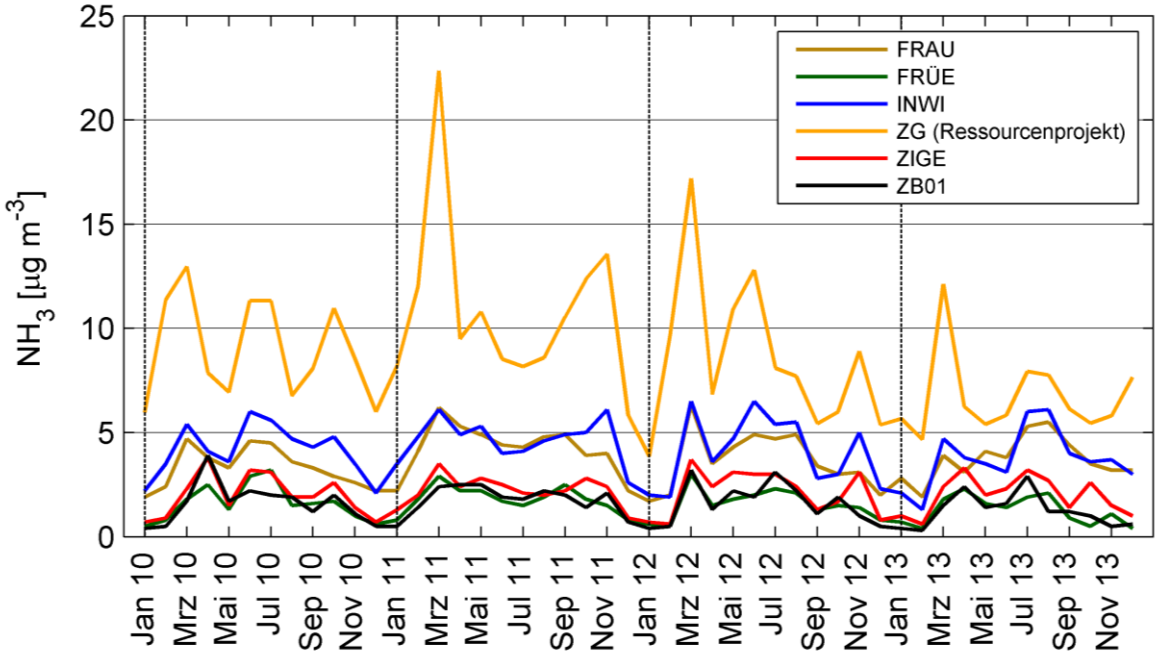


Abbildung 29: Verlauf der Ammoniakkonzentration seit Januar 2010 an den verschiedenen kantonalen Passivsammler-Standorten in Zug sowie den Zuger Ressourcenprojekt-Standorten.

In Abbildung 30 ist der Verlauf der Ammoniakkonzentration seit dem Januar 2010 für die Luzerner Standorte, gemittelt pro Messgebiet, dargestellt. In die Mittelung sind dieselben Messpunkte wie in Tabelle 1 eingeflossen. Die Ammoniakkonzentration verläuft in allen Regionen parallel. Die Messgebiete Schüpfheim, Wauwil sowie Eschenbach sind am stärksten belastet.

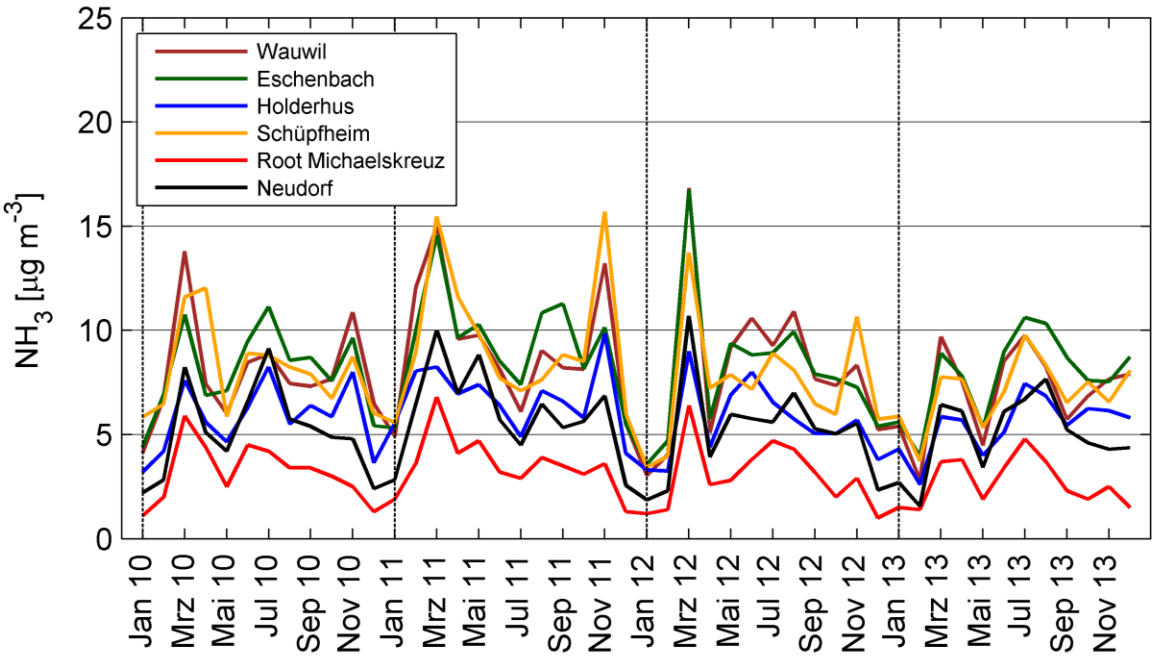


Abbildung 30: Verlauf der Ammoniakkonzentration seit Januar 2010, gemittelt für jedes Messgebiet im Kanton Luzern

Gesamthaft zeigt sich im Jahr 2013 im Vergleich zu anderen Jahren an allen Stationen folgendes Bild:

- Durchgehend an den meisten Stationen niedrigere Ammoniakkonzentrationen als in den Vorjahren, z. T. die niedrigsten Werte seit 2007
- Gering ausgebildeter Frühjahrespeak
- Zusätzlich an den Luzerner Messgebieten und am Messpunkt Inwil bei Baar höherer Sommer- als Frühjahrespeak, aber insgesamt tieferes Niveau als während der Vorjahre.

2.4 Monatsbeiträge zur Gesamtbelastung

Abbildung 31 zeigt den prozentualen Anteil des Mittels von zwei Monaten am Jahresmittel, gemittelt über die Werte von 2010 bis 2013 für die drei ausgewählten Messpunkte Eschenbach (ESC07), Frauental (FRAU) und Zugerberg (ZB01). Mit dieser Darstellung kann visualisiert werden, welche Zeitperiode im Jahr durchschnittlich wieviel zur Ammoniakbelastung am Standort beiträgt. Dabei kommen Standortcharakteristiken zum Vorschein: Landwirtschaftlich geprägte Standorte (Beispiel ESC07) zeigen einen deutlich dominierenden Effekt der Frühlings- und Herbstmonate (Februar/März, Oktober/November). An weniger belasteten Standorten (Beispiel FRAU und ZB01) verschiebt sich die Belastung auf die Sommermonate April bis Juni. Die Wintermonate Dezember und Januar tragen an allen Standorten am wenigsten zur Ammoniakbelastung bei. Dies kommt insbesondere am Höhenstandort auf dem Zugerberg (ZB01) deutlich zum Vorschein, welcher im Winter oft über der Inversionsgrenze liegt.

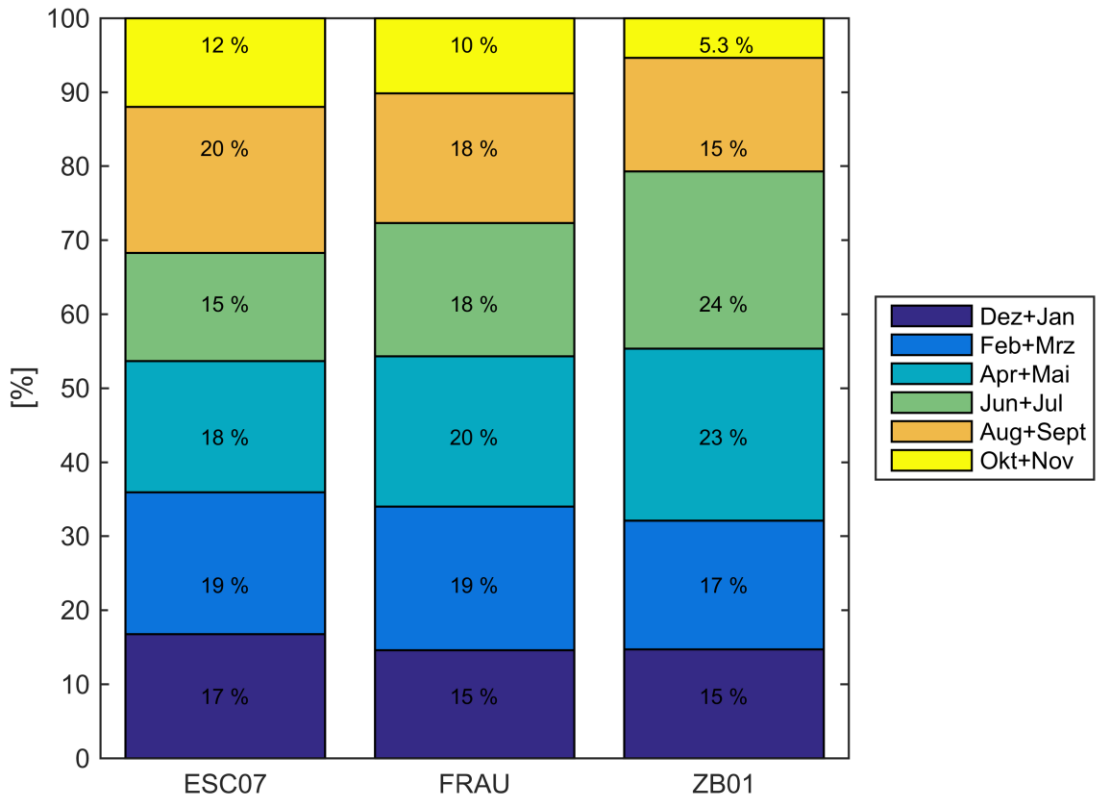


Abbildung 31: Prozentualer Anteil der Zwei-Monatsmittel am Jahresmittel, gemittelt über die Werte von 2010 bis 2013 für drei ausgewählte Messpunkte (ESC07, FRAU und ZB01)

3 Trendanalyse

3.1 Jahresmittel-Trends nach Messgebieten

Für die folgenden Abbildungen (Abbildung 32 und Abbildung 33) wurden die Jahresmittelwerte der verschiedenen Messpunkte ab dem Jahr 2007 gemittelt und anschliessend eine Trendberechnung für das jeweilige Messgebiet durchgeführt. Exemplarisch sind hier zwei Messgebiete abgebildet, die restlichen Grafiken sind im Anhang in Kapitel 5.3.1 eingefügt. Der Trend ist jeweils als Änderung in µg 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 2013 aufweisen. Die verwendeten Stationen sind in der Bildlegende aufgeführt.

Die Zunahme der Ammoniakkonzentration, welche sich in den letzten Jahren abgezeichnet hat, wurde mit den tiefen Jahresmittelwerten von 2013 abgeschwächt. Die Trends sind nach wie vor für die Mehrheit der Messgebiete positiv, was einer Zunahme der Ammoniakkonzentration entspricht. Die Trends sind aber nirgends statistisch signifikant.

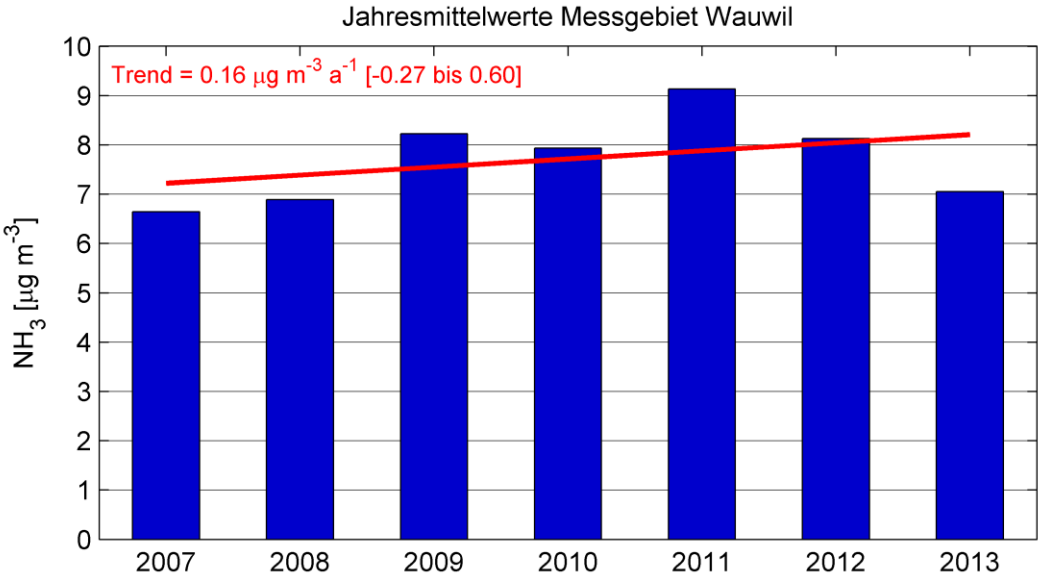


Abbildung 32: Trendberechnung für die gemittelten Jahresmittelwerte des Messgebiets Wauwil (verwendete Stationen zur Trendberechnung: WAU10, WAU13, WAU14, WAU16.4, WAU17, WAU19)

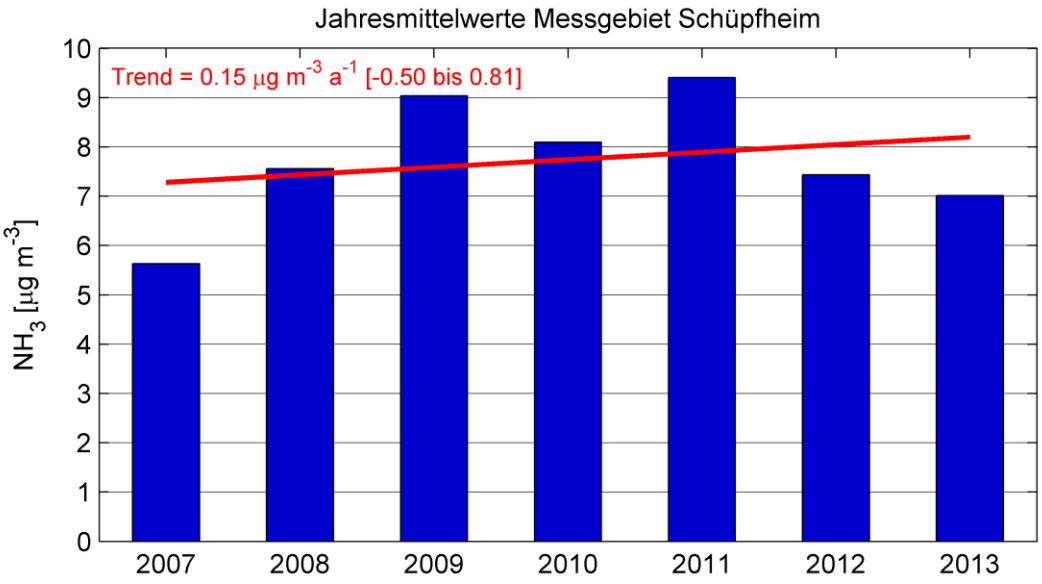


Abbildung 33: Trendberechnung für die gemittelten Jahresmittelwerte des Messgebiets Schüpfheim (verwendete Stationen zur Trendberechnung: SCHÜ00, SCHÜ01, SCHÜ02)

3.2 Trend der saisonalen Mittel nach Messgebieten

Da die Ammoniakemissionen durch das Ausbringen der Gülle hauptsächlich während der Frühjahrs- und Sommermonate entstehen, werden auch saisonale Trends begutachtet. Es wurden wie obenstehend die Messgebiete gemittelt und nach Sommermittel (März bis September) und Wintermittel (Oktober bis Februar) ausgewertet. Wiederum sind exemplarisch nur zwei Messgebiete 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

Auch hier zeigt sich ein ähnliches Bild wie schon im Kapitel 2.3 erwähnt: Der Sommermittelwert im Jahr 2013 war eher niedrig und entspricht je nach Station in etwa dem Wert des Jahres 2007. Somit zeigt die saisonale Betrachtung eine Abschwächung des zunehmenden Trends (Abbildung 34 und Abbildung 35).

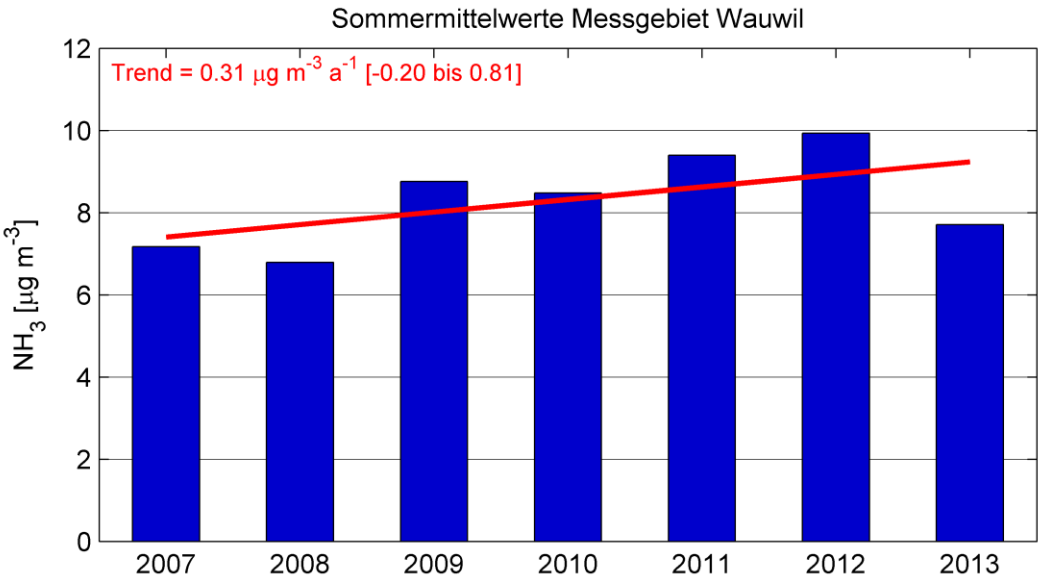


Abbildung 34: Trendberechnung für die gemittelten Sommermittelwerte des Messgebiets Wauwil (verwendete Stationen zur Trendberechnung: WAU10, WAU13, WAU14, WAU16.4, WAU17, WAU19)

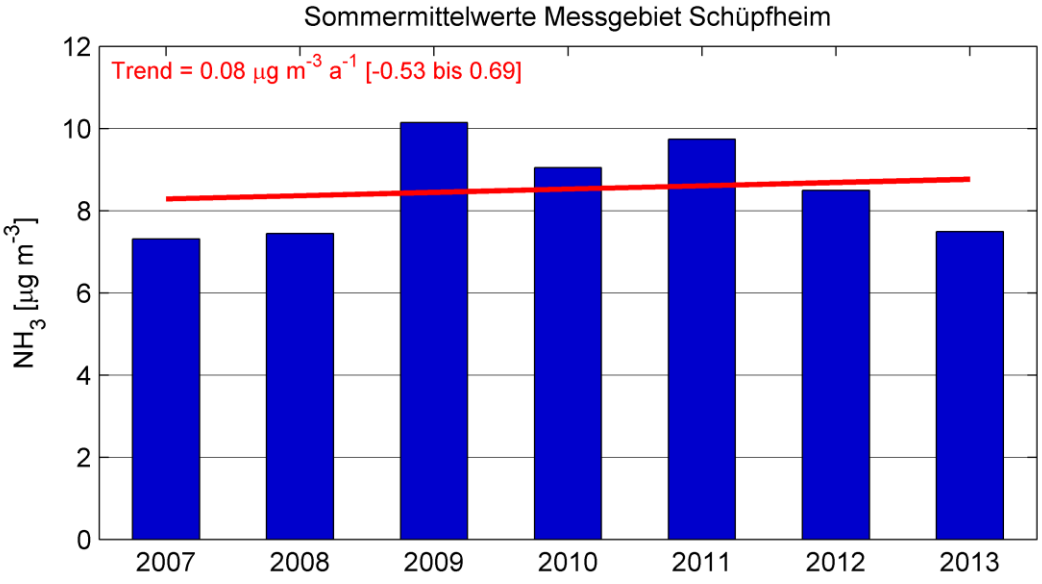


Abbildung 35: Trendberechnung für die gemittelten Sommermittelwerte des Messgebiets Schüpfheim (verwendete Stationen zur Trendberechnung: SCHÜ00, SCHÜ01, SCHÜ02)

3.2.2 Saisonale Mittel: Winter

Abbildung 36 und Abbildung 37 zeigen die Wintermittelwerte (Oktober bis Februar) in den zwei Messgebieten Wauwil und Schüpfheim. Das Jahr bezieht sich jeweils auf den Beginn der Winterperiode. Während des Winterhalbjahres sind die Veränderungen deutlich geringer und nirgends signifikant. Betrachtet man nur die Wintermittelwerte, fällt das Jahr 2013 nicht mit geringen Ammoniakkonzentrationen auf. Dementsprechend hat sich die Abnahme der Wintermittelwerte im Vergleich zur Auswertung bis ins Jahr 2012[22] an allen Stationen abgeschwächt.

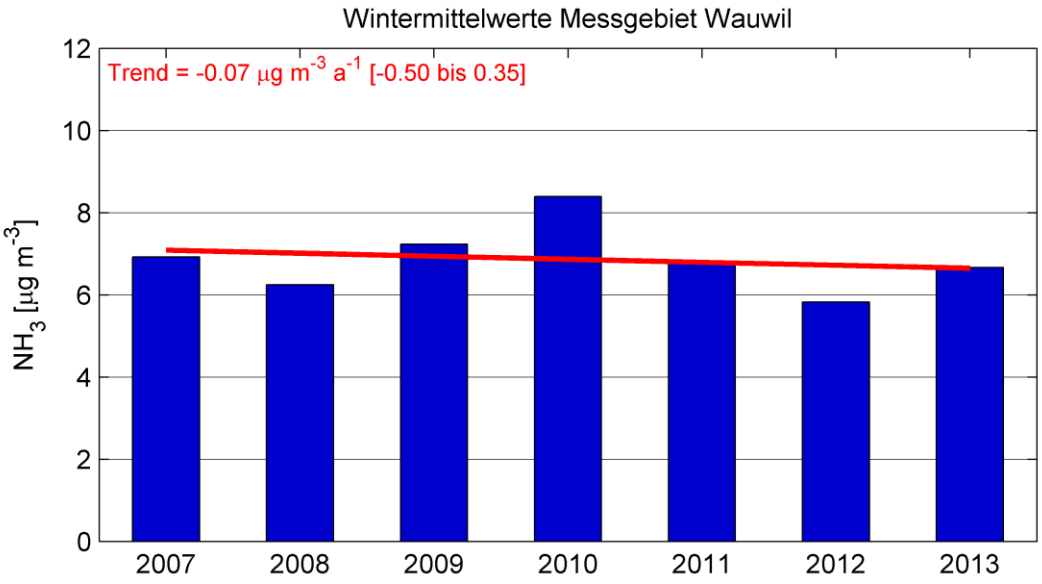


Abbildung 36: Trendberechnung für die gemittelten Wintermittelwerte des Messgebiets Wauwil (verwendete Stationen zur Trendberechnung: WAU10, WAU13, WAU14, WAU16.4, WAU17, WAU19)

[22] Bieri, S., Ruckstuhl, C. (2012): Ammoniak-Messbericht, Ammoniakmessungen in der Zentralschweiz von 2000 bis 2012, inNET Monitoring AG

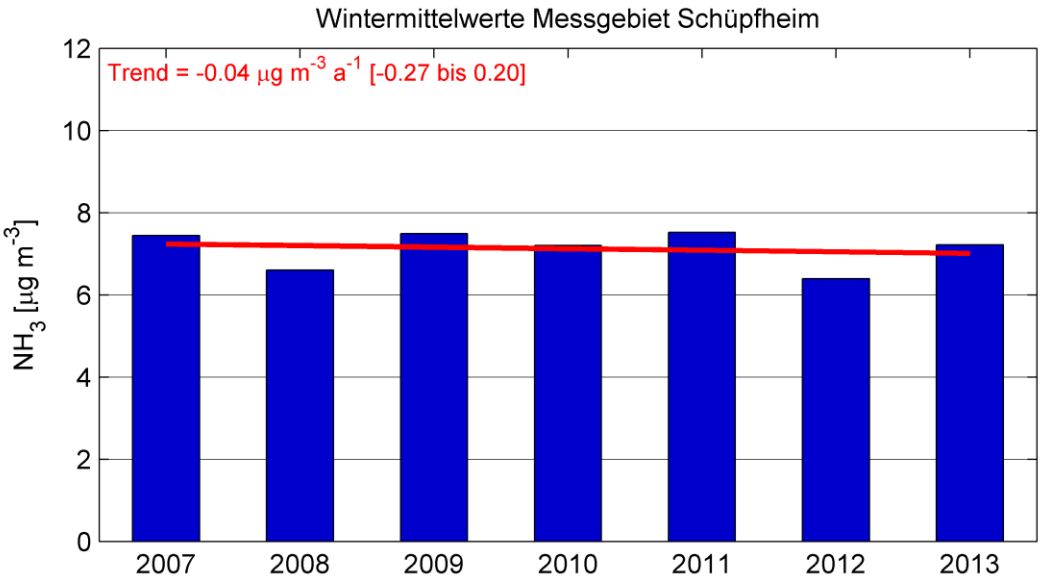


Abbildung 37: Trendberechnung für die gemittelten Wintermittelwerte des Messgebiets Schüpfheim (verwendete Stationen zur Trendberechnung: SCHÜ00, SCHÜ01, SCHÜ02)

3.3 Jahresmittel-Trends nach Stationen

In diesem Unterkapitel werden die Jahresmitteltrendberechnungen an drei ausgewählten Messpunkten aufgezeigt. Eine komplette Zusammenstellung der einzelnen Messpunkte ist im Anhang (Kapitel 5.3) zu finden. Die hier aufgeführten Messpunkte 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 Messpunkte („Trend“, graue Linie) und ein Trend seit 2007 berechnet („Trend_07“, rote Linie). Abbildung 38 bis Abbildung 40 zeigen die Trendberechnungen für die drei ausgewählten Messpunkte. Einheitlich zeigen alle drei Messpunkte das tiefere Jahresmittel 2013 und entsprechend eine Abschwächung der positiven bzw. Verstärkung der negativen Trends. Bei diesen drei ausgewählten Messpunkten gehört der Jahresmittelwert von 2013 zu den tiefsten seit Messbeginn. Bei der Station ZB01 führt der Wert von 2013 auch die Abnahme der Ammoniakkonzentration fort, die Trendberechnung seit 2007 bis 2013 zeigt nun auch eine signifikante Abnahme.

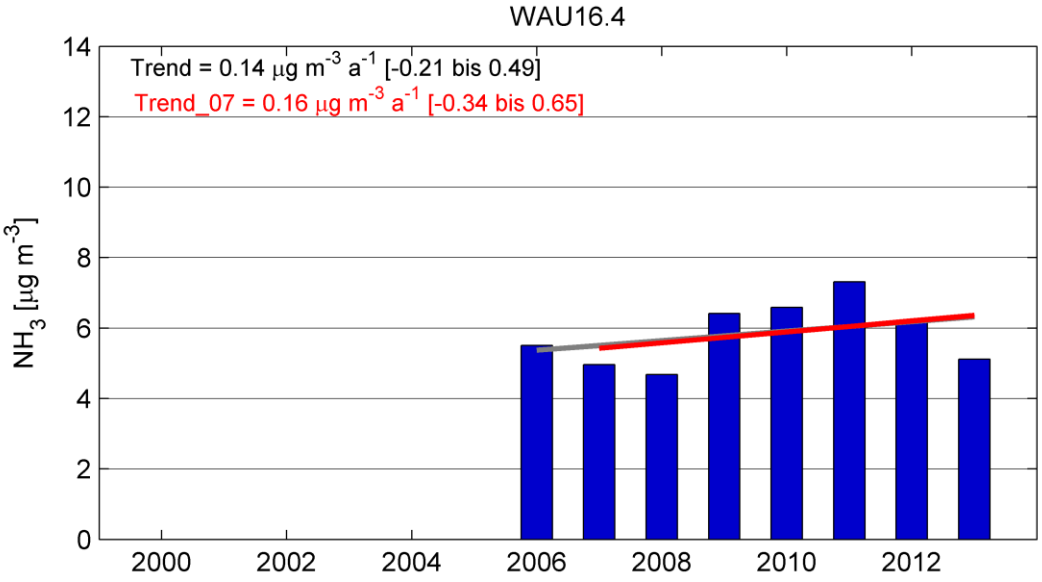


Abbildung 38: Trendberechnung der Jahresmittel am Messpunkt WAU16.4 (extensives Wiesland, Schilf). In grau ist der Trend über alle Jahre der Messperiode dargestellt, in rot der Trend seit 2007.

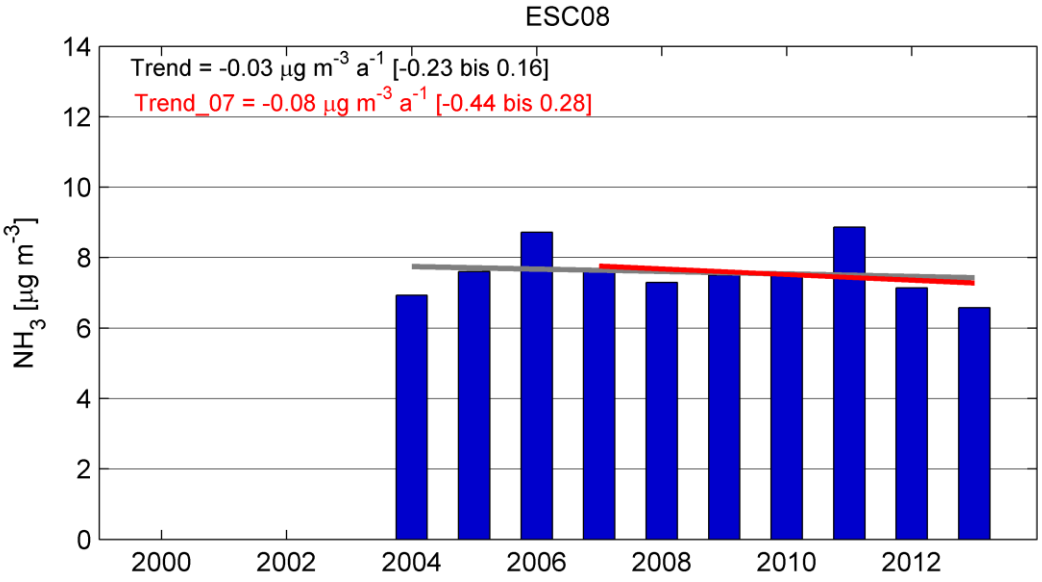


Abbildung 39: Trendberechnung der Jahresmittel am Messpunkt ESC08 (Weideland, Obstkultur, Wald). In grau ist der Trend über alle Jahre der Messperiode dargestellt, in rot der Trend seit 2007.

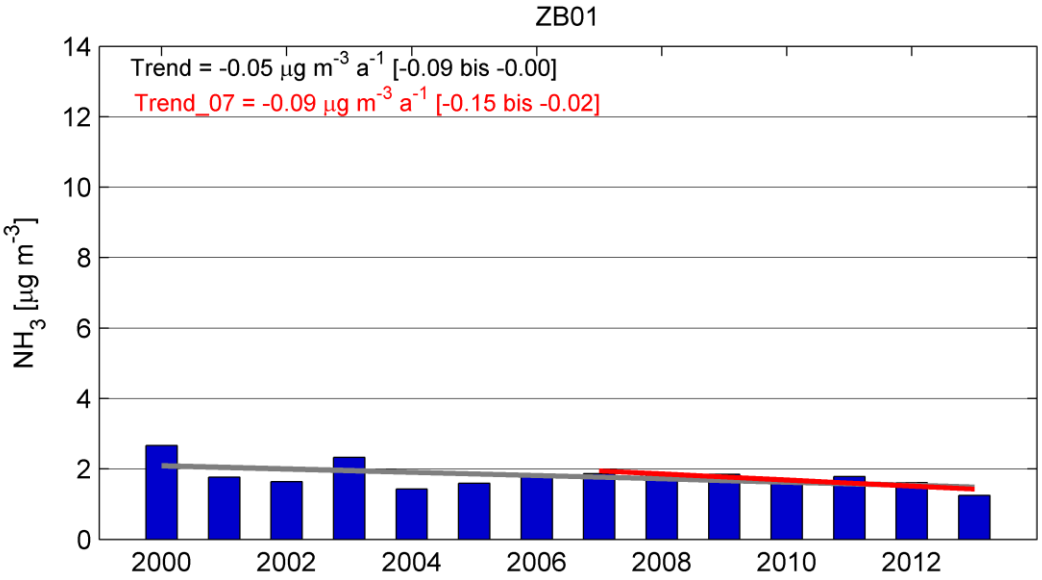


Abbildung 40: Trendberechnung der Jahresmittel am Messpunkt ZB01 (Weide, Hochmoorrand). In grau ist der Trend über alle Jahre der Messperiode dargestellt, in rot der Trend seit 2007.

3.4 Trend der saisonalen Mittel einzelner Messpunkte

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

3.5 Stickstofffrachten durch Ammoniak

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 Loads[23] 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 NH_3. [24]

$$F = V_{dep,i} * c_i * N_i$$

[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_{NH3}, 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] Für eine bessere Vergleichbarkeit wurde die Depositionsgeschwindigkeit bei dieser Berechnung für alle Standorte einheitlich gewählt, ungeachtet der Standortcharakteristiken. Die Berechnung hängt natürlich stark von der gewählten Depositionsgeschwindigkeit ab. In einem BAFU-Projekt wird im Jahr 2014 gesamtschweizerisch an ca. 35 Standorten die Stickstoffdeposition mit einfachen, passiven Methoden erfasst.

Tabelle 2 zeigt die berechnete N-Deposition pro Jahr an ausgewählten Messpunkten. Die Gesamtstickstoff-Frachten liegen je nach Standorteigenschaften zwischen 10 kg N a^{-1} (ZB01, 2013) und 85 kg N a^{-1} (ZG, 2011). Über alle Jahre ist die N-Deposition an allen Messpunkten hoch geblieben.

Vergleicht man die Werte der Tabelle 2 mit den Critical Loads (siehe Kapitel 1.2), 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 durch Ammoniak in kg N pro Jahr an fünf verschiedenen Messpunkten sowie den ZUDK-Messgebieten des Ressourcenprogramms

Station	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
WAU16.4	42.8	38.5	36.4	50.0	51.2	56.9	48.0	39.8
ESC08	67.8	60.0	56.7	58.4	59.0	69.0	55.5	51.1
SCHÜ00	43.3	43.8	41.9	51.2	52.0	55.4	43.1	43.9
HOL01	44.0	44.1	45.1	50.5	45.2	52.0	44.6	45.2
ZB01	14.3	14.5	14.4	14.4	12.4	13.9	12.5	9.7
NW	-	-	-	-	52.8	57.5	51.8	47.1
OW	-	-	-	-	49.4	57.7	45.3	46.8
SZ	-	-	-	-	37.1	55.7	41.2	28.3
UR	-	-	-	-	51.6	57.4	49.7	46.9
ZG[26]	-	-	-	-	62.8	70.6	60.9	49.4

Abbildung 41 zeigt die Werte von Tabelle 2 in Bezug auf das Jahr 2010 (2010 entspricht 100 %) sowie einen berechneten Mittelwert über alle ausgewählten Stationen seit 2010. Mit dieser Darstellung wird ersichtlich, dass die Ammoniak-Belastung im Jahr 2011 eher hoch war, wohingegen die Jahre 2012 und 2013 eine eher geringere Ammoniak-Belastung vorweisen. Der Ausreisser in Schwyz kommt aufgrund eines Werts von einem Messpunkt zustande, an welchem gegen Ende der Exposition die umliegenden Wiesen gerade frisch gemistet wurden.

[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.
[26] Aufgrund von Vandalismus ab Ende 2013 am Standort ZG01 fliessen nur die Daten von ZG02 und ZG03 in die Berechnung ein. Die Berechnung wurde auch auf die vorherigen Jahre angepasst.

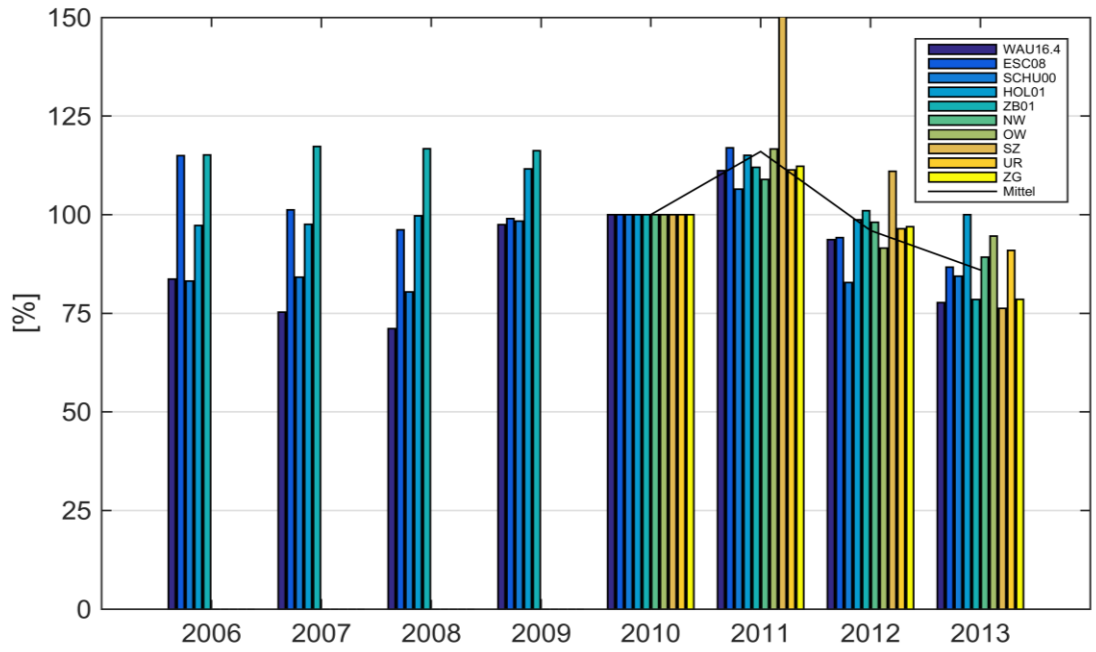


Abbildung 41: Berechnete N-Deposition durch Ammoniak an 5 Messpunkten und in den 5 Ressourcenprojekt-Messgebieten in Bezug auf das Jahr 2010 (2010 = 100 %) sowie das Mittel der ausgewählten Messpunkte und -gebiete seit 2010 (schwarze Linie)

Die sich kaum verändernd hohe N-Deposition seit 2006 wird bei einer summierten Darstellung ersichtlich. Abbildung 42 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.

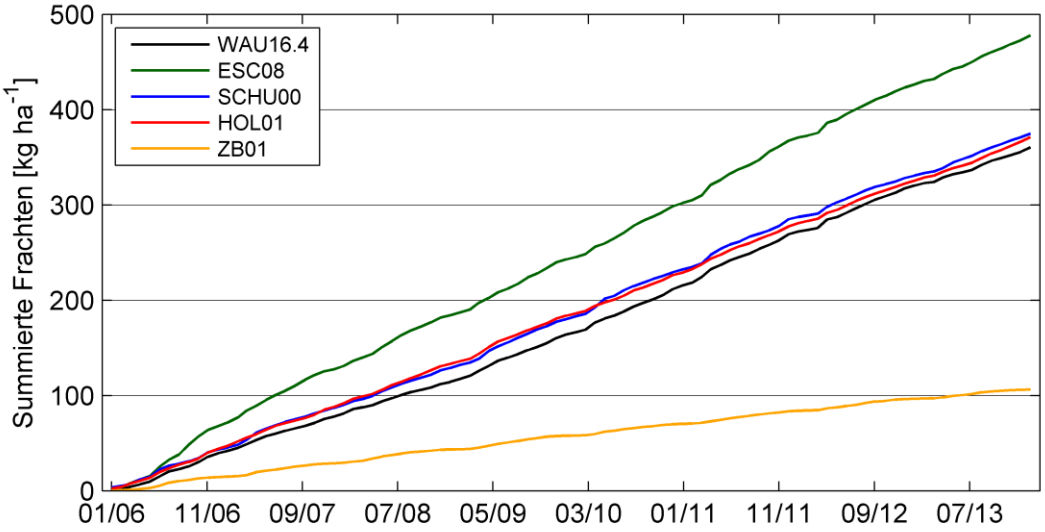


Abbildung 42: Summierte berechnete N-Deposition seit Januar 2006 an fünf verschiedenen Messpunkten in der Zentralschweiz

Abbildung 43 zeigt wiederum die summierten Frachten (Monatsbasis), nun aber ausschliesslich für alle Zuger Messpunkte seit 2007 (und die Ressourcenprojekt-Messpunkte ab 2010). Wiederum ist eine Kontinuität erkennbar – die N-Frachten zeigen über die letzten fünf Jahre konstante Bedingungen. Allerdings, wie auch im Kapitel 2.3 ersichtlich, zeigen die höher belasteten Ressourcenprojekt-Messpunkte ZG01, ZG02 und ZG03 über die letzten vier Jahre abnehmende Ammoniakkonzentrationen, was sich bei der Darstellung der summierten Frachten in einem leichten Abflachen der Kurve äussert.

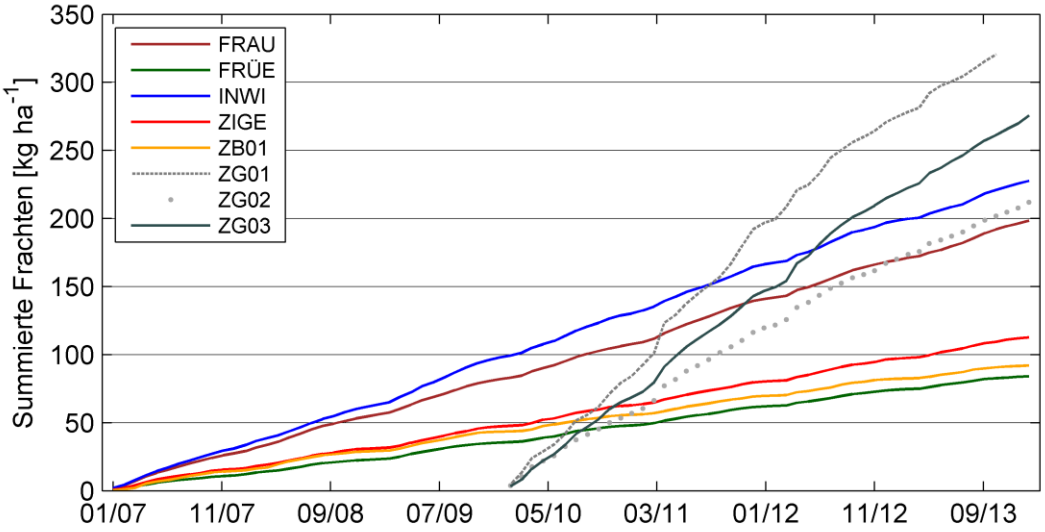


Abbildung 43: Summierte berechnete N-Deposition aller ZG-Messpunkte seit 2007 (Ressourcenprojekt-Messpunkte seit 2010). Aufgrund von Vandalismus am Messpunkt ZG01 sind nur bis Ende August 2013 Daten vorhanden.

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 Luzern[27] sind die Trendberechnungen im Allgemeinen weniger stark positiv. Der Hauptgrund dafür sind die tiefen Ammoniakkonzentrationen im Jahr 2013, insbesondere die tieferen Frühjahrs- und Sommermittelwerte. Bisweilen kann aber auch nicht aufgezeigt werden, dass sich geringere Emissionen in den tiefen Ammoniakkonzentrationen widerspiegeln. Es ist aber unbestritten, dass die meteorologischen Bedingungen massgeblich zu tiefen Ammoniakimmissionen beigetragen haben. Das Jahr 2013 war bis Ende April von anhaltend winterlichen Verhältnissen geprägt. Nach einem ausgesprochen sonnigen Sommer meldete sich aber bereits Mitte Oktober der Winter zurück. Anschliessend blieben grosse Neuschneefälle allerdings aus.[28] Die ungewöhnlich schwach ausfallende Frühlingsspitze der Ammoniakkonzentration im 2013 ist somit auf den langanhaltenden Winter und die nassen Bedingungen zurückzuführen.

Im Rahmen dieser Auswertung wurde versucht, den Einfluss der Meteorologie auf die Ammoniakkonzentration abzuschätzen. Die Auswertungsergebnisse sind hier nicht grafisch dargestellt. Nebst saisonalen Anomalien der Ammoniakkonzentration wurden saisonale Anomalien für den Frühling, Sommer und Winter in Bezug zu verschiedenen meteorologischen Grössen, die an der SwissMetNet Station Luzern gemessen werden, berechnet. Die monatlichen Ammoniakanomalien konnten nicht eindeutig den meteorologischen Gegebenheiten (Temperatur-, Niederschlags- und Windgeschwindigkeitsanomalie) zugewiesen werden. Diese Tatsache ist aber sehr wahrscheinlich auf die tiefe zeit-

[27] Bieri, S., Ruckstuhl, C. (2014): Ammoniak-Messbericht, Ammoniakmessungen in der Zentralschweiz von 2000 bis 2012, inNET Monitoring AG
[28] MeteoSchweiz (2014): Klimabulletin Jahr 2013, Zürich

liche Auflösung (Monatswerte) der Ammoniak-Messdaten zurückzuführen. Die Witterung während eines Monats kann erhebliche Schwankungen aufweisen, welche in einem Monatsmittelwert geglättet und somit nur ungenügend abgebildet 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. Im 2007 kamen in der Zentralschweiz 4 Messpunkte im Kanton Zug hinzu. Im Zuge des **Ressourcenprojekts** der Zentralschweiz messen seit 2010 die Zentralschweizer Kantone Nidwalden, Obwalden, Schwyz, Uri und Zug an landwirtschaftlich exponierten Standorten an je 3 Messpunkten. Das gesamte Messnetz dient als Grundlage für die Erstellung und Überwachung des **Lufthygiene-Massnahmenplans** Ammoniak des Kantons Luzern sowie als **Wirkungsmonitoring** für den Erfolg des Ressourcen-Programms zur Ammoniakminderung. Ammoniak stammt vorwiegend aus landwirtschaftlichen Emissionen.

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

In den definierten Messgebieten mit Messungen seit 2007 zeigt sich immer noch oft eine **Zunahme der Ammoniakkonzentration**. Diese **Zunahme** hat sich allerdings aufgrund der tiefen Jahresmittel von 2012 und 2013 **deutlich verringert und ist nirgends statistisch signifikant**. Aufgeteilt über die einzelnen Messpunkte sowie über verschiedene zeitliche Perioden (Jahresmittel, saisonale Mittel) hat sich der zunehmende Trend der letzten Jahre deutlich abgeschwächt. In den Messgebieten des Zentralschweizer Ressourcenprojekts können aufgrund der erst vierjährigen Messreihe noch keine Trendanalysen durchgeführt werden.

Weiterhin zeigen ausgewählte Standorte, dass die N-Deposition die **Critical Loads deutlich überschreitet**.

Der **Einfluss der Meteorologie** auf die Ammoniakkonzentrationen im Jahresvergleich ist **gross**. Die anhaltend winterlichen Verhältnisse bis Ende April 2013 führten dazu, dass der **Frühlingspeak** der Ammoniakkonzentration deutlich geringer ausfiel. Somit gehörten insbesondere die Sommermittelwerte 2013 (März bis September) bei gewissen Stationen zu den tiefsten Ammoniakkonzentrationen seit Messbeginn.

Bislang konnte nicht eindeutig aufgezeigt werden, dass sich die **Massnahmen zur Reduktion der Ammoniakverluste** in der Landwirtschaft in den Immissionsmessdaten widerspiegeln. Für die Erfolgskontrolle ist es unumgänglich, dass das Monitoring während mehreren Jahren über das Ende des Ressourcenprojekts weitergeführt wird. Wichtig ist dabei, dass das **Monitoring** nicht nur an exponierten landwirtschaftlichen Standorten erfolgt, sondern dass auch **ökologisch sensitive Standorte** wie zum Beispiel die Hochmoore von Rothenthurm (SZ) und Glaubenberg (OW) sowie alpine und subalpine Naturwiesen oder Schutzwälder, berücksichtigt werden. Gerade an diesen Standorten verursacht ein übermässiger Stickstoffeintrag Verluste der Biodiversität und Schäden an Wäldern.

5 Anhang

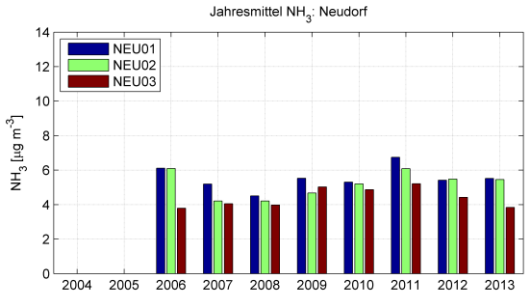
5.1 Charakterisierung der Messpunkte

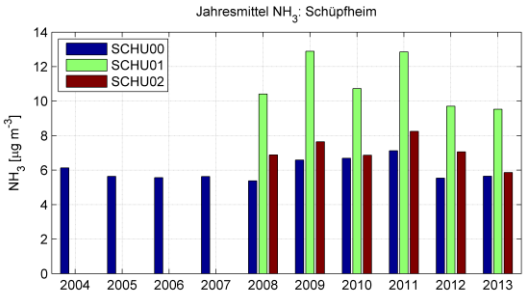
Tabelle 3: Charakterisierung der Ammoniak-Messpunkte

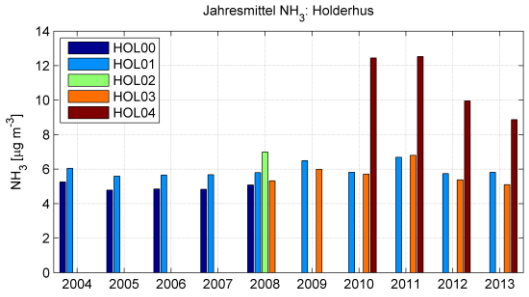
Standort-abkürzung	Standort	E-Koordinate	N-Koordinate	Jahres-mittel 2011 [µg m^{-3}]	Jahres-mittel 2012 [µg m^{-3}]	Jahres-mittel 2013 [µg m^{-3}]
WAU01	Wauwil 1	643060	225296	-	-	-
WAU02	Wauwil 2	643445	225350	-	-	-
WAU03	Wauwil 3	643870	225340	-	-	-
WAU04	Wauwil 4	644405	225340	-	-	-
WAU05	Wauwil 5	643683	224727	-	-	-
WAU06	Wauwil 6	644285	224635	-	-	-
WAU07	Wauwil 7	644715	225695	-	-	-
WAU08	Wauwil 8	644760	225420	-	-	-
WAU09	Wauwil 9	644745	225170	-	-	-
WAU10	Wauwil 10	644735	224950	9.2	8.4	7.4
WAU11	Wauwil 11	644715	224560	-	-	-
WAU12	Wauwil 12	644710	224360	-	-	-
WAU13	Wauwil 13	644669	224165	10.9	10.2	9.1
WAU14	Wauwil 14	643364	224124	9.9	8.9	7.4
WAU15	Wauwil 15	643107	224245	-	-	-
WAU16.2	Wauwil 16.2	643707	224651	6.7	5.7	4.5
WAU16.3	Wauwil 16.3	643707	224651	-	-	-
WAU16.4	Wauwil 16.4	643707	224651	7.3	6.2	5.1
WAU17	Wauwil 17	643451	225590	8.9	7.8	7.1
WAU18	Wauwil 18	644447	225433	-	-	-
WAU19	Wauwil 19	644113	224324	8.6	7.2	6.2
NEU01	Neudorf 1	659290	224550	6.7	5.4	5.5
NEU02	Neudorf 2	659706	224499	6.1	5.5	5.5
NEU03	Neudorf 3	660470	224246	5.2	4.4	3.8
SCHÜ00	Schüpfheim 0	644727	201091	7.1	5.5	5.6
SCHÜ01	Schüpfheim 1	645021	201587	12.9	9.7	9.5
SCHÜ02	Schüpfheim 2	644537	201575	8.3	7.1	5.9
HOL00	Holderhus 0	657129	216962	-	-	-
HOL01	Holderhus 1	657129	216962	6.7	5.7	5.8
HOL02	Holderhus 2	657284	216855	-	-	-
HOL03	Holderhus 3	657229	216724	6.8	5.4	5.1
HOL04	Holderhus 4	657256	216902	12.5	10.0	8.9
RO	Root Michaelskreuz	673847	218489	3.6	3.0	2.7
ESC01	Eschenbach 1	663012	220878	-	-	-
ESC02	Eschenbach 2	663215	220956	-	-	-
ESC03	Eschenbach 3	663776	221174	-	-	-
ESC04	Eschenbach 4	663924	220900	-	-	-

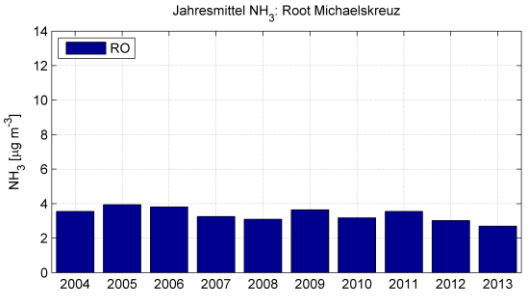
ESC05	Eschenbach 5	664043	220834	-	-	-
ESC06	Eschenbach 6	664855	221194	-	-	-
ESC07	Eschenbach 7	665253	221074	8.7	7.9	8.2
ESC08	Eschenbach 8	665208	221946	8.9	7.1	6.6
ESC09	Eschenbach 9	665560	221220	-	-	-
ESC10	Eschenbach 10	665150	220401	-	-	-
ESC11	Eschenbach 11	664991	219685	-	-	-
ESC12	Eschenbach 12	664778	219377	-	-	-
ESC14	Eschenbach 14	663387	220976	13.3	12.0	11.1
ESC15	Eschenbach 15	664039	220788	8.5	7.3	7.2
ESC19	Eschenbach 19	664795	221169	7.1	5.8	6.2
ESC18	Eschenbach 18	665277	221930	-	-	-
NW-01	Stans Galgenried Nord	669232	202160	6.5	6.8	5.9
NW-02	Stans Galgenried Süd	669272	201761	8.2	6.9	6.6
NW-03	Oberdorf Schiessstand	672375	200273	7.5	6.4	5.7
OW-01	Obwalden 1	664271	195471	8.9	6.9	6.7
OW-02	Obwalden 2	664518	195592	7.8	6.4	6.3
OW-03	Obwalden 3	664798	195978	5.6	4.2	5.0
SZ-01	Bauschli	692420	207555	6.1	4.9	3.7
SZ-02	Tändlen	692890	207272	9.0	5.6	3.1
SZ-03	Rossmattli	692550	207040	6.4	5.4	4.1
UR-01	Uri 1	691655	188171	6.7	5.6	5.6
UR-02	Uri 2	691718	188555	7.3	6.2	6.1
UR-03	Uri 3	691372	189215	8.2	7.4	6.4
ZG-01	Arnold	676343	229868	14.5	10.0	-
ZG-02	Grob	676164	229277	8.1	6.5	5.4
ZG-03	Ulrich	675708	229387	10.1	9.2	7.3
FRAU	Kloster Frauental	674546	229562	4.3	3.7	3.7
FRUE	Früebüel	683423	218884	1.8	1.6	1.3
INWI	Inwil	682567	226900	4.7	4.1	3.7
ZIGE	Zigerhüttli	691689	220849	2.2	2.2	2.0
ZB01	Zugerberg 1	683000	220500	1.8	1.6	1.3
RIG	Rigi Seebodenalp	677845	213462	1.5	1.3	1.3

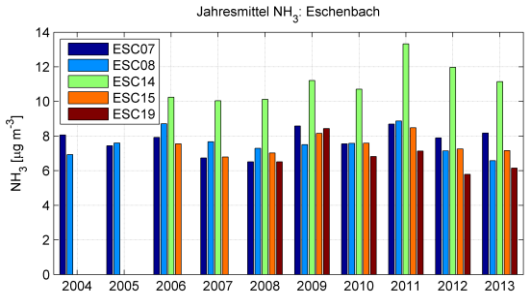
5.2 Jahresmittel der Ammoniakkonzentrationen nach Messgebieten

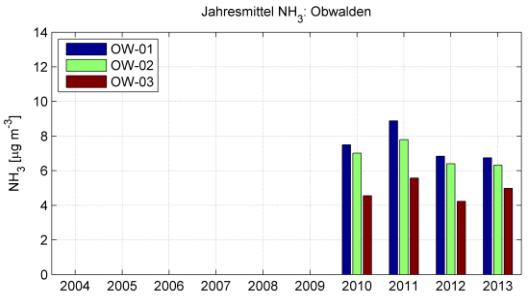


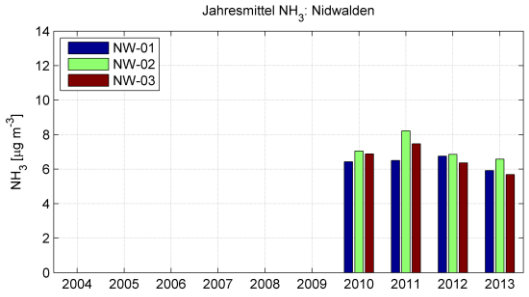


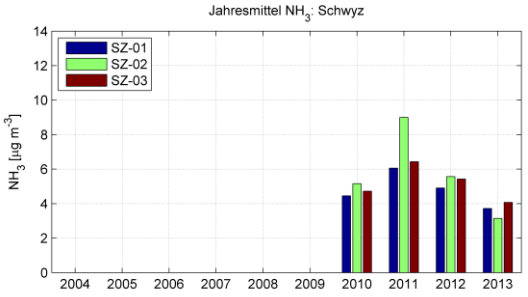


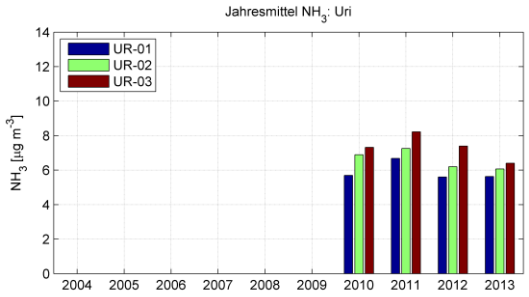


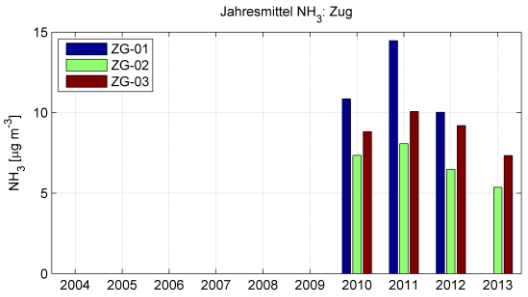


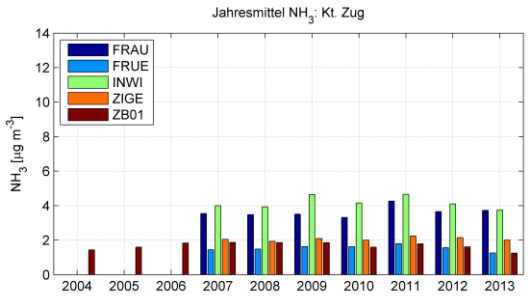






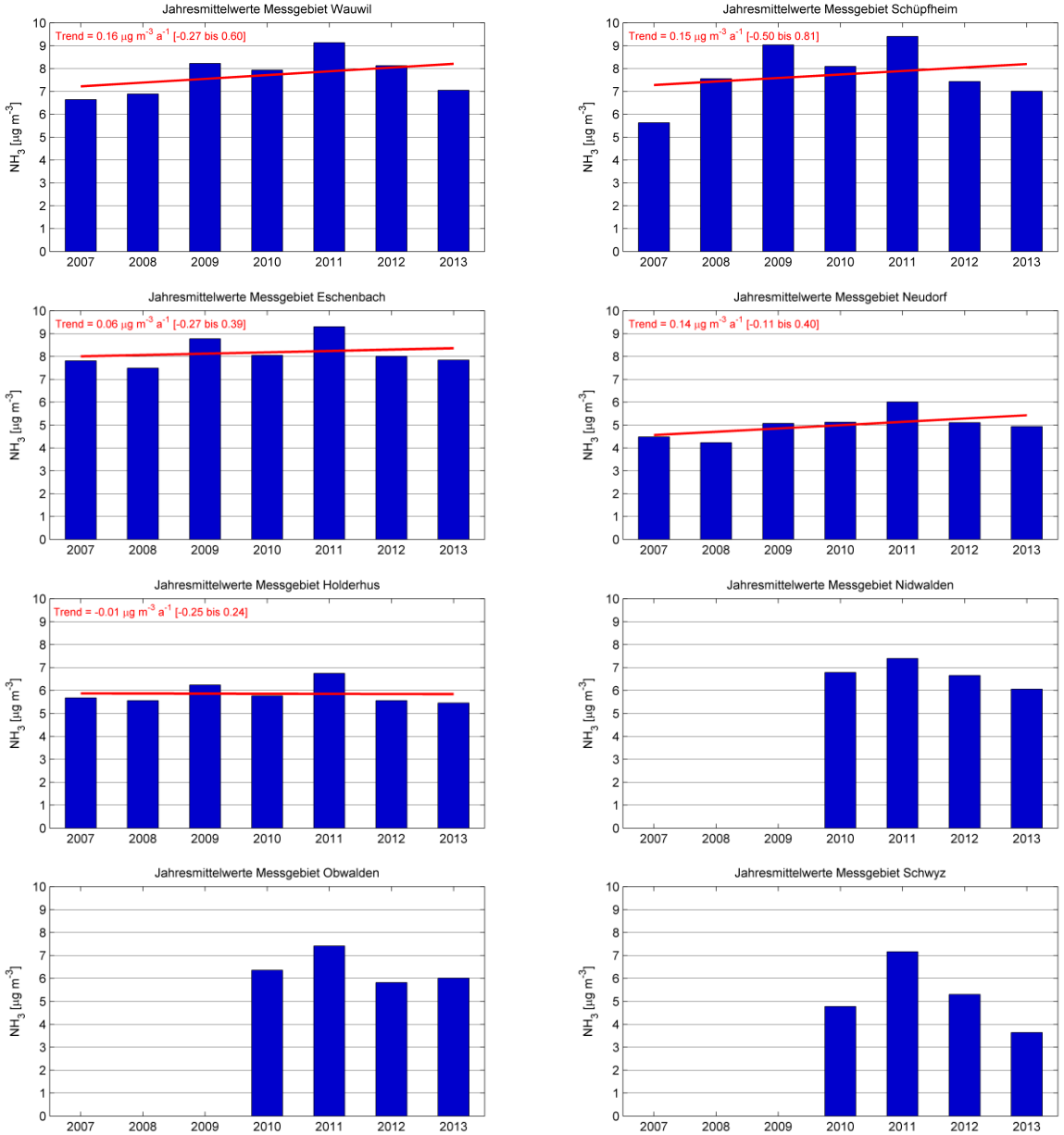


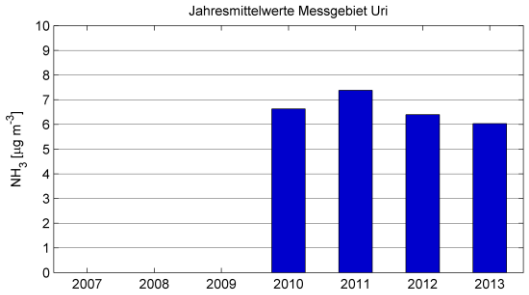


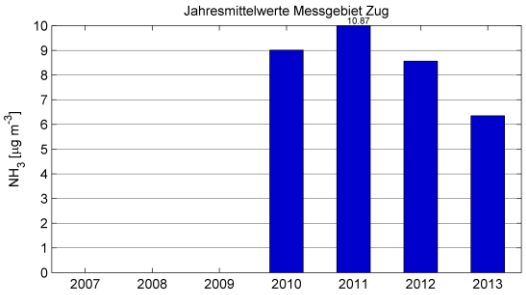


5.3 Trendberechnungen

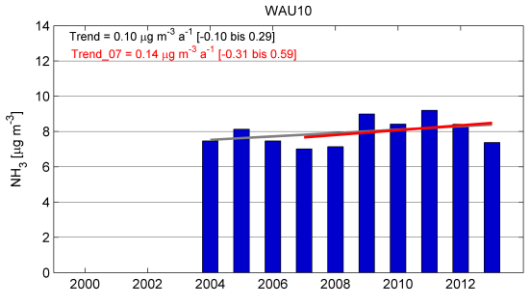
5.3.1 Jahresmittel-Trends nach Messgebieten

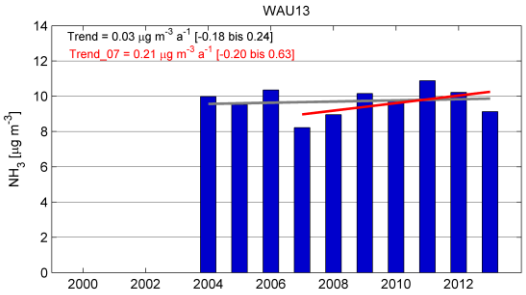


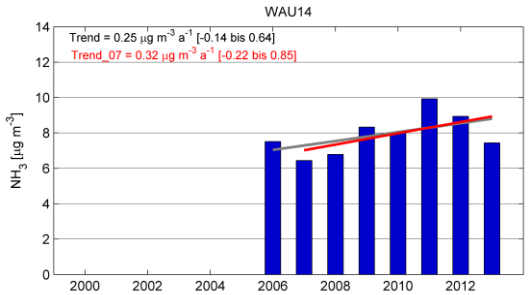


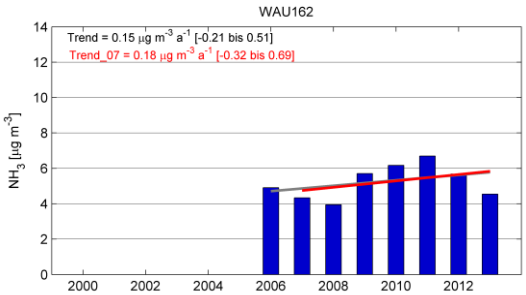


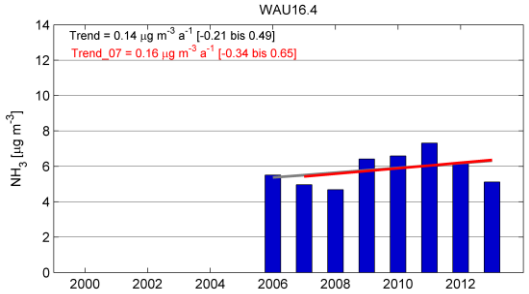
5.3.2 Jahresmittel-Trends

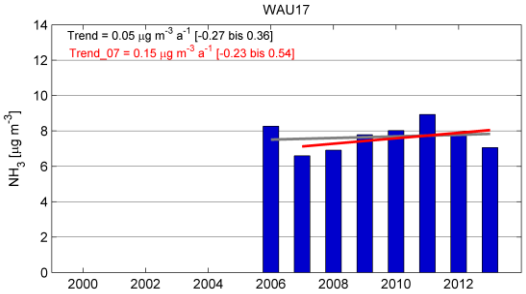


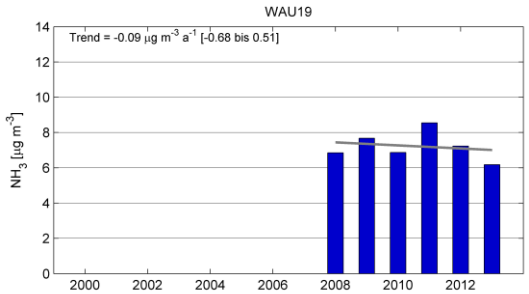


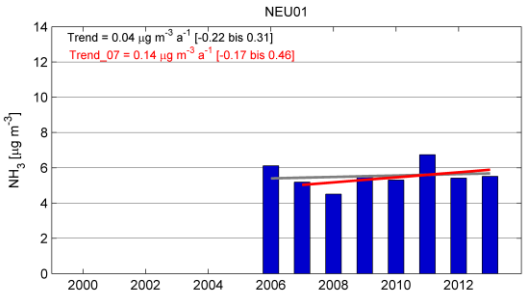


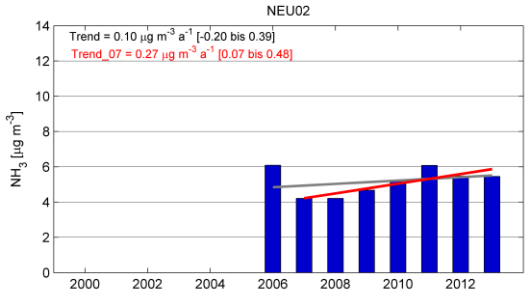


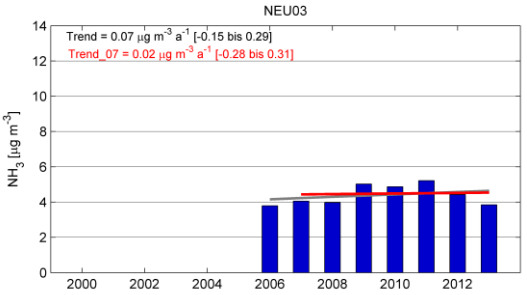


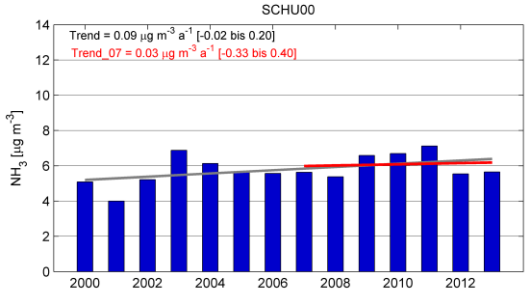


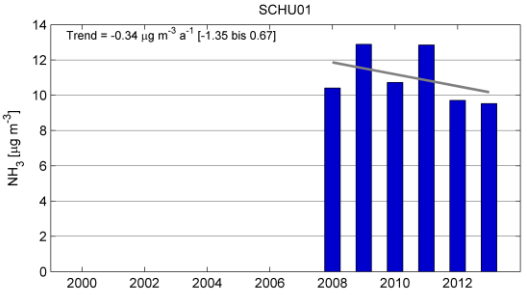


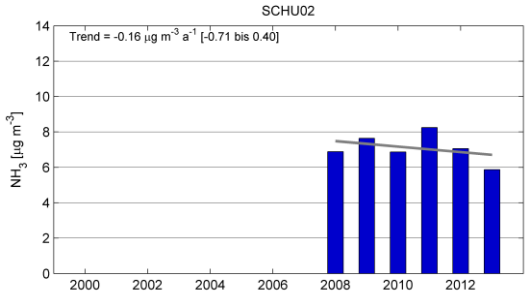


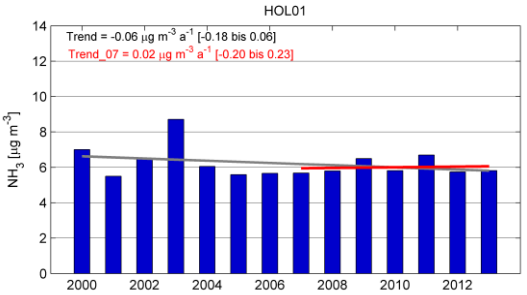

NEU02
Trend = 0.10 µg m-3 a-1 [-0.20 bis 0.39]
Trend_07 = 0.27 µg m-3 a-1 [0.07 bis 0.48]
NH3 [µg m-3]

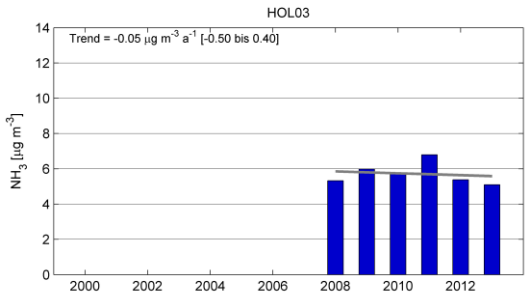

NEU03
Trend = 0.07 µg m-3 a-1 [-0.15 bis 0.29]
Trend_07 = 0.02 µg m-3 a-1 [-0.28 bis 0.31]
NH3 [µg m-3]

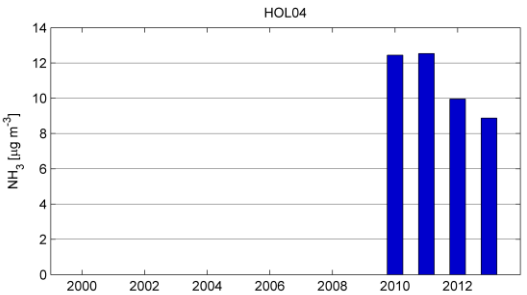

SCHU00
Trend = 0.09 µg m-3 a-1 [-0.02 bis 0.20]
Trend_07 = 0.03 µg m-3 a-1 [-0.33 bis 0.40]
NH3 [µg m-3]

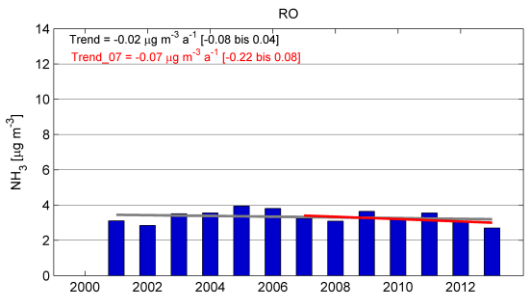

SCHU01
Trend = -0.34 µg m-3 a-1 [-1.35 bis 0.67]
NH3 [µg m-3]

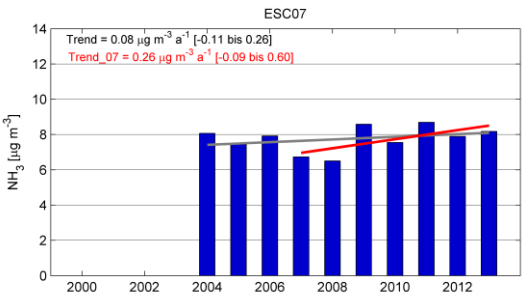

SCHU02
Trend = -0.16 µg m-3 a-1 [-0.71 bis 0.40]
NH3 [µg m-3]

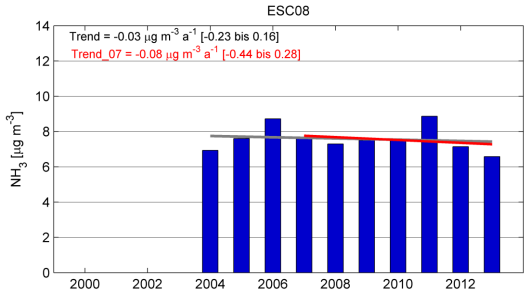

HOL01
Trend = -0.06 µg m-3 a-1 [-0.18 bis 0.06]
Trend_07 = 0.02 µg m-3 a-1 [-0.20 bis 0.23]
NH3 [µg m-3]

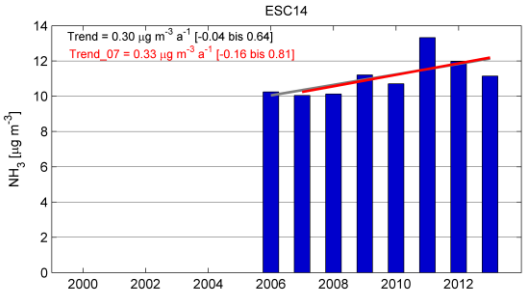

HOL03
Trend = -0.05 µg m-3 a-1 [-0.50 bis 0.40]
NH3 [µg m-3]

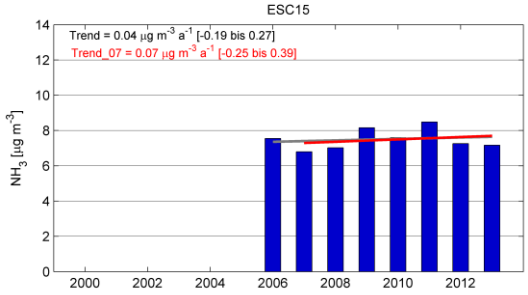

HOL04
NH3 [µg m-3]

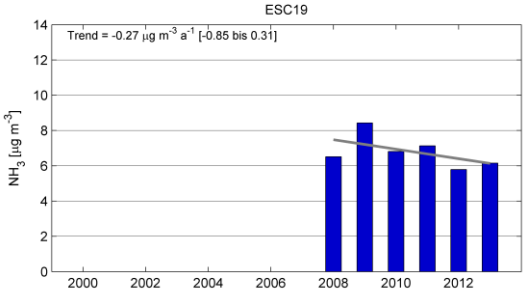

RO
Trend = -0.02 µg m-3 a-1 [-0.08 bis 0.04]
Trend_07 = -0.07 µg m-3 a-1 [-0.22 bis 0.08]
NH3 [µg m-3]

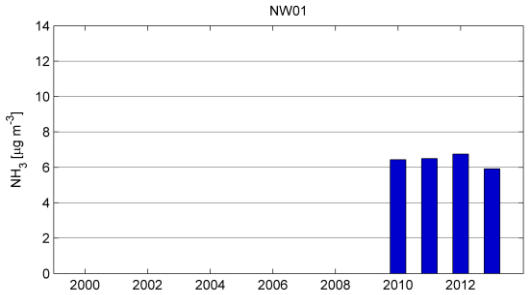

ESC07
Trend = 0.08 µg m-3 a-1 [-0.11 bis 0.26]
Trend_07 = 0.26 µg m-3 a-1 [-0.09 bis 0.60]
NH3 [µg m-3]

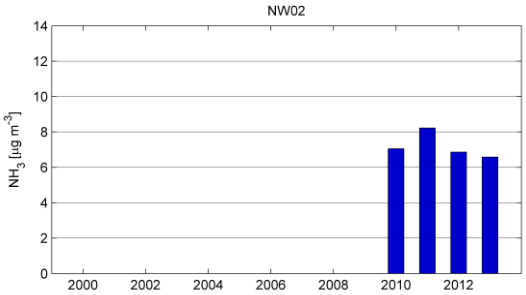

ESC08
Trend = -0.03 µg m-3 a-1 [-0.23 bis 0.16]
Trend_07 = -0.08 µg m-3 a-1 [-0.44 bis 0.28]
NH3 [µg m-3]

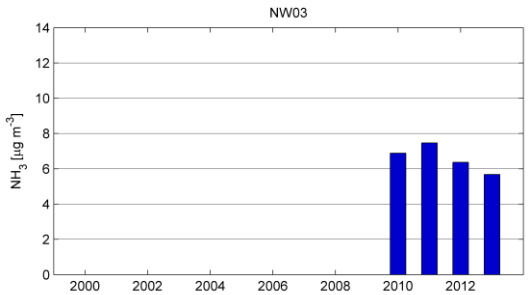

ESC14
Trend = 0.30 µg m-3 a-1 [-0.04 bis 0.64]
Trend_07 = 0.33 µg m-3 a-1 [-0.16 bis 0.81]
NH3 [µg m-3]

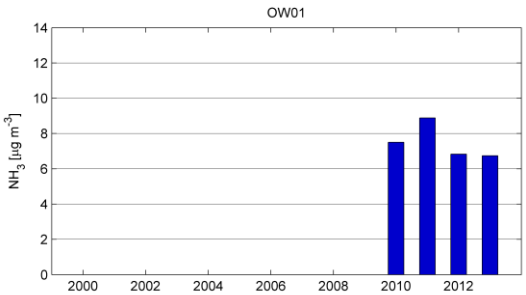

ESC15
Trend = 0.04 µg m-3 a-1 [-0.19 bis 0.27]
Trend_07 = 0.07 µg m-3 a-1 [-0.25 bis 0.39]
NH3 [µg m-3]

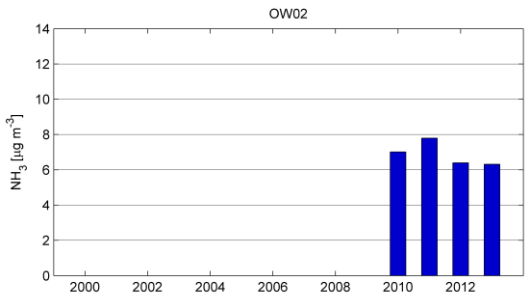

ESC19
Trend = -0.27 µg m-3 a-1 [-0.85 bis 0.31]
NH3 [µg m-3]

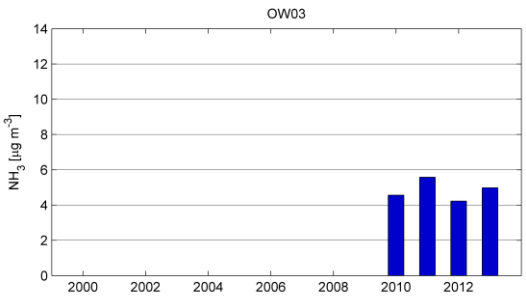

NW01
NH3 [µg m-3]

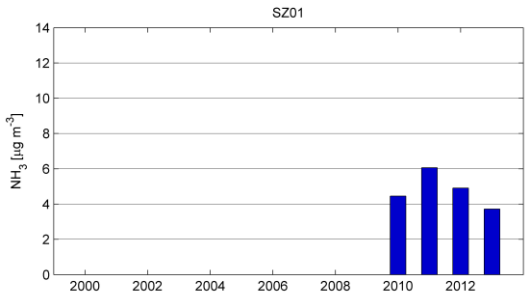

NW02
NH3 [µg m-3]

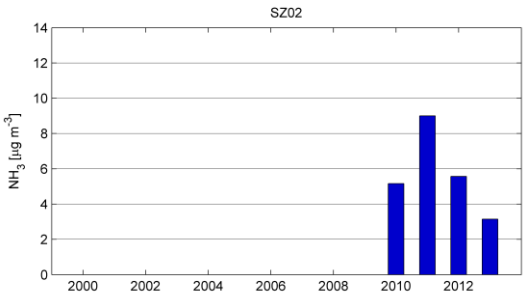

NW03
NH3 [µg m-3]

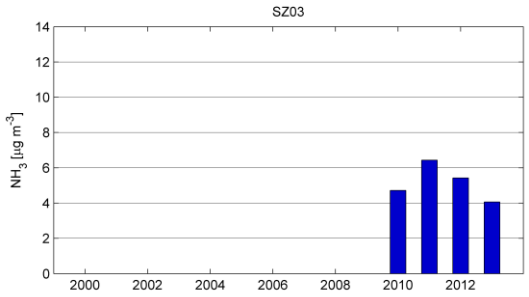

OW01
NH3 [µg m-3]

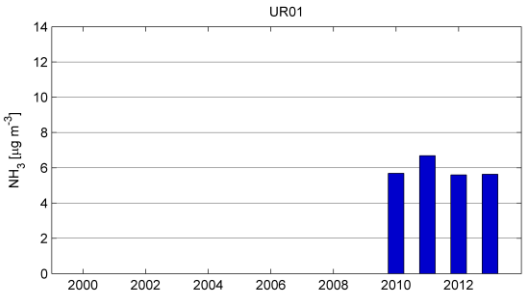

OW02
NH3 [µg m-3]

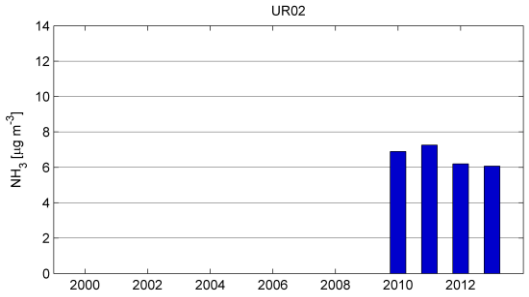

OW03
NH3 [µg m-3]

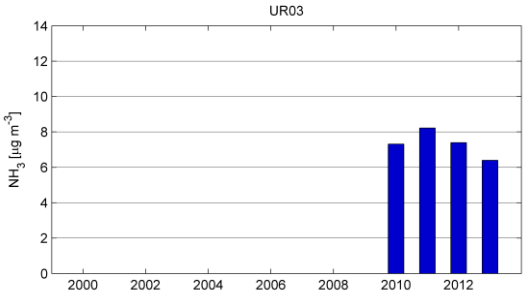

SZ01
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

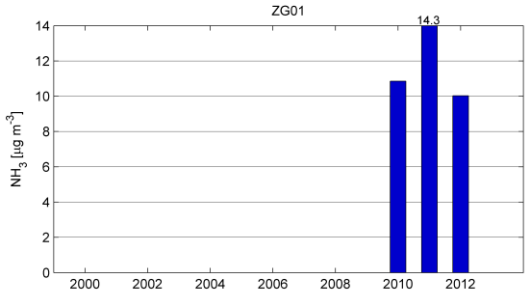

SZ02
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

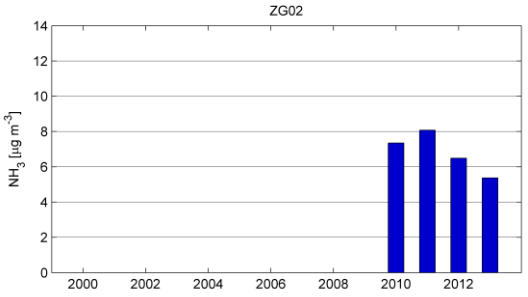

SZ03
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

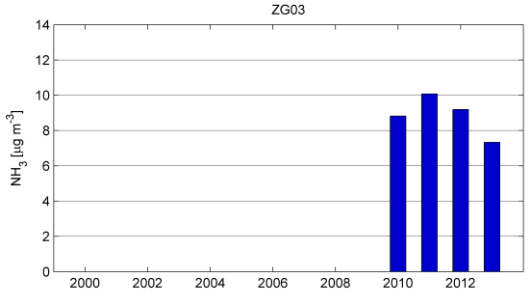

UR01
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

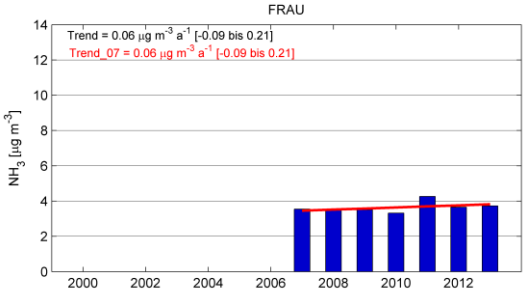

UR02
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

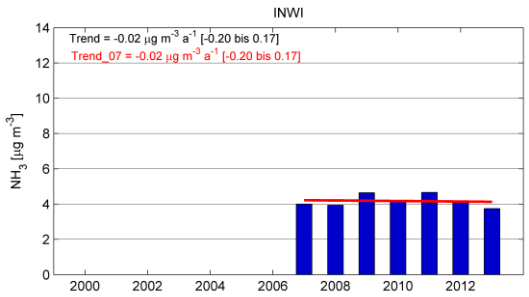

UR03
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

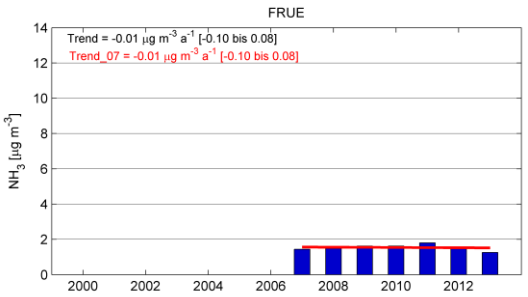

ZG01
14.3
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

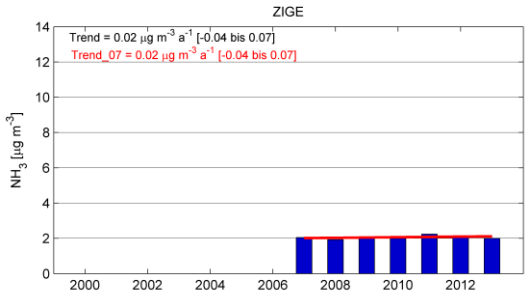

ZG02
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

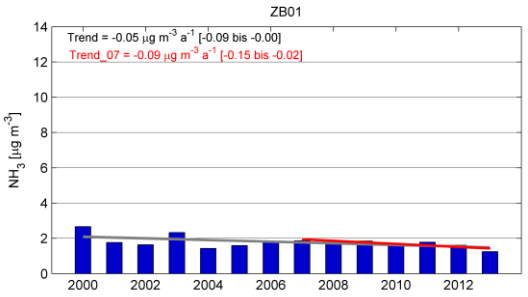

ZG03
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

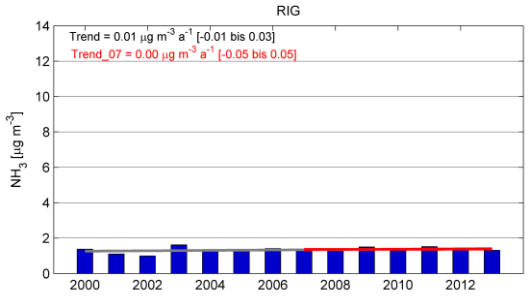

FRAU
Trend = 0.06 µg m-3 a-1 [-0.09 bis 0.21]
Trend_07 = 0.06 µg m-3 a-1 [-0.09 bis 0.21]
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012



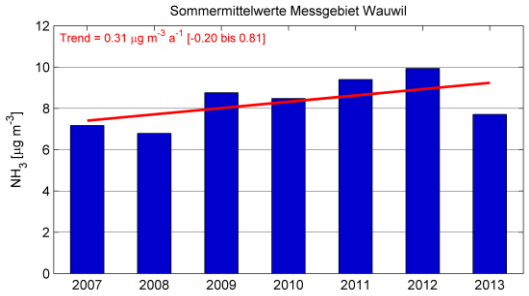


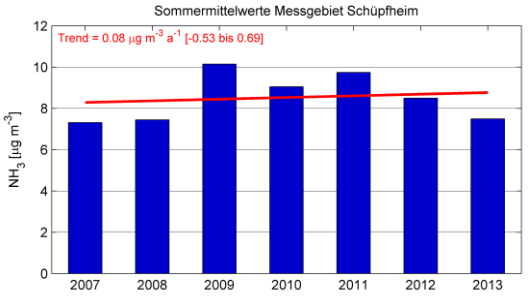


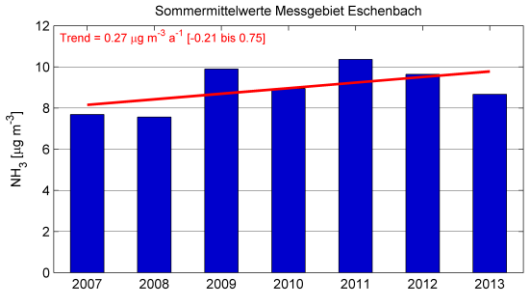


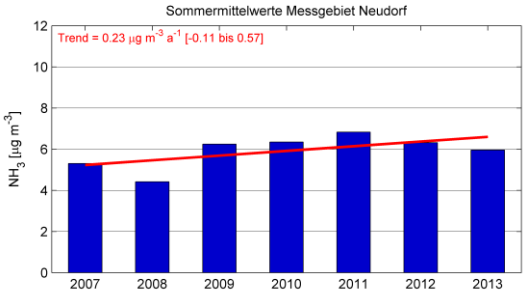


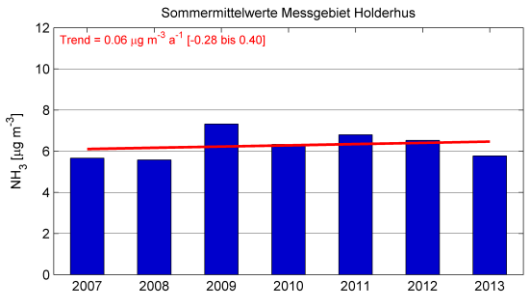
5.3.3 Trends der saisonale Mittel: Sommer (März – Sept.) nach Messgebieten

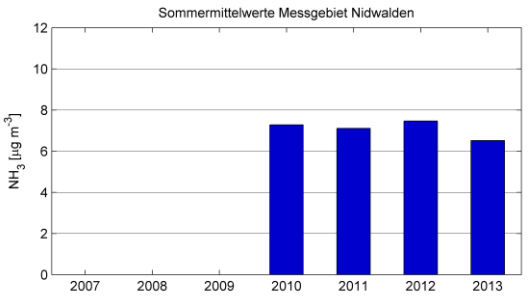


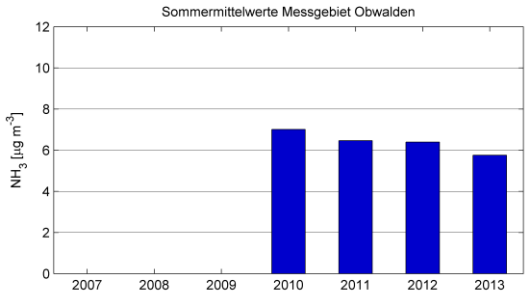


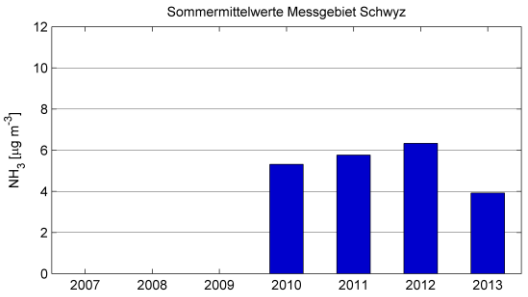


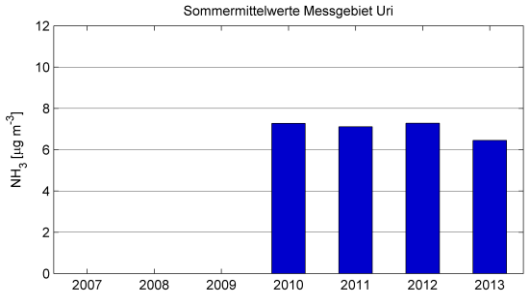


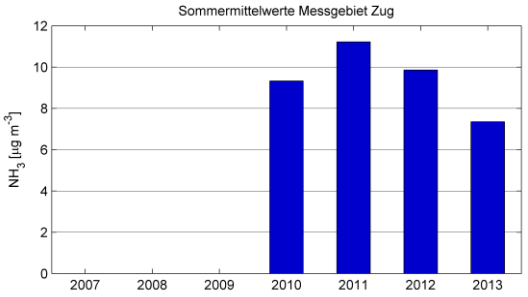




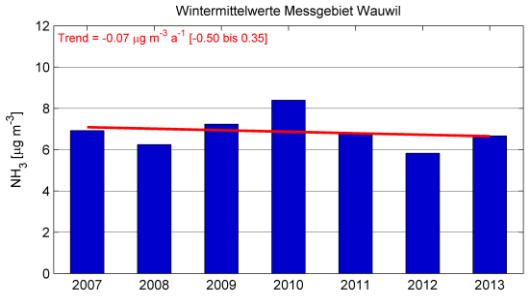


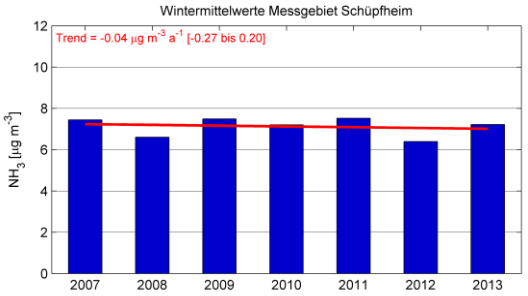


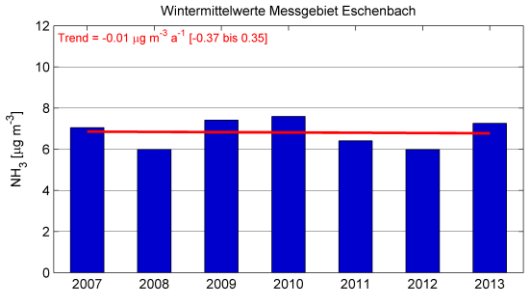


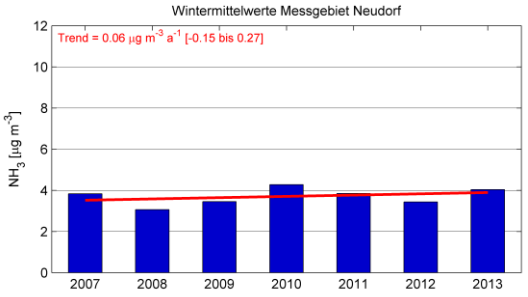


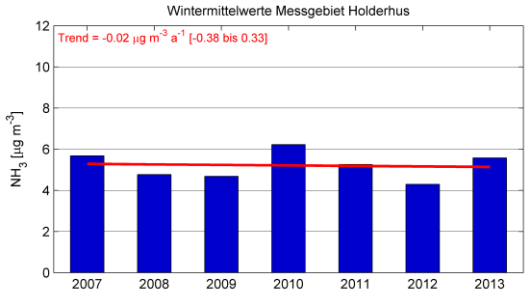
5.3.4 Trends der saisonale Mittel: Winter (Okt. – Feb.) nach Messgebieten

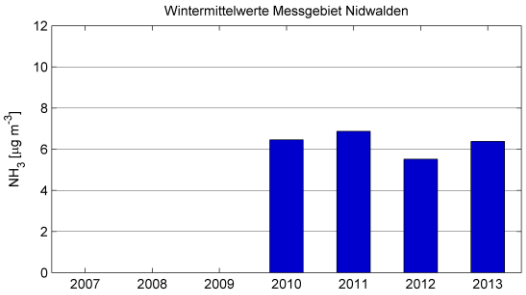


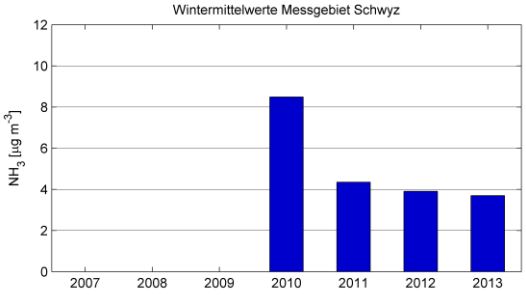


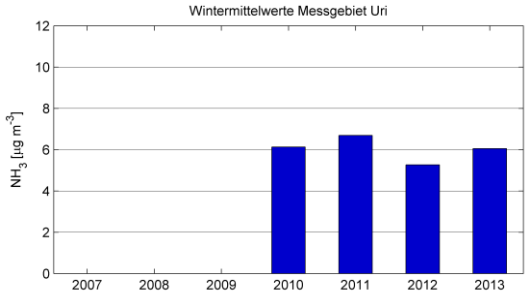


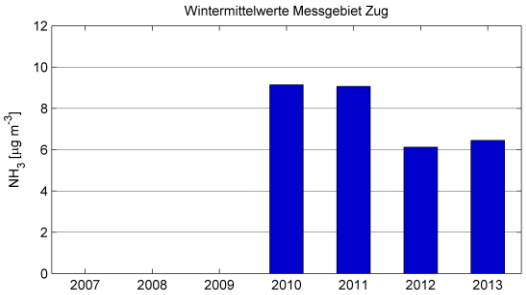




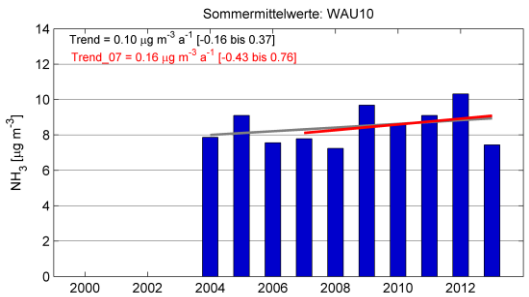


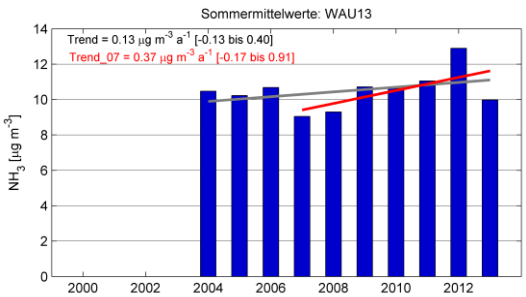


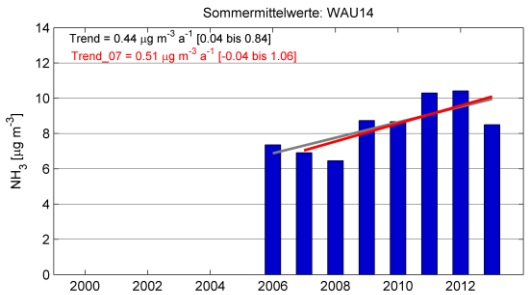


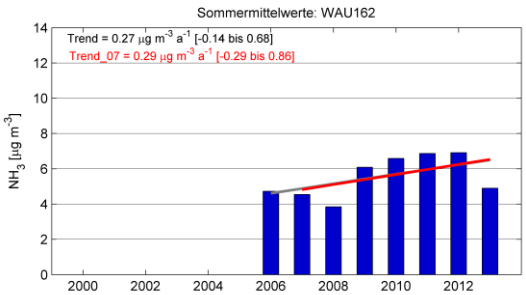


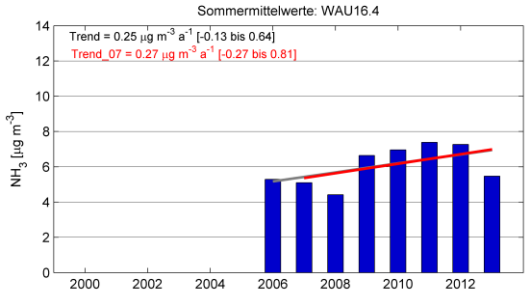
5.4 Trends der saisonale Mittel: Sommer (März – Sept.)

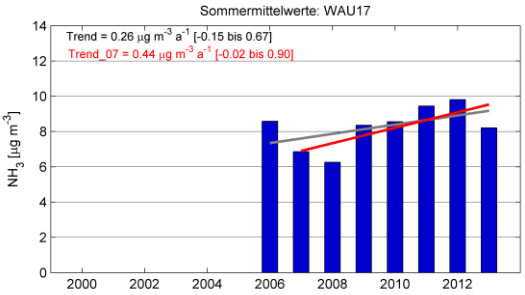


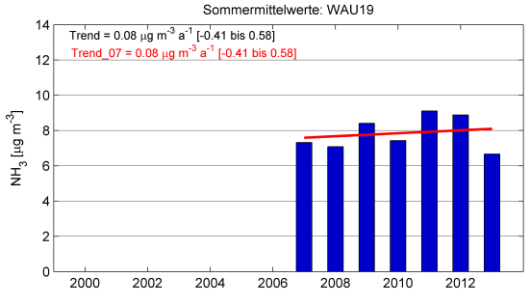


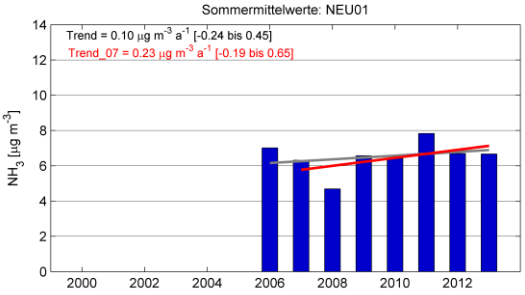


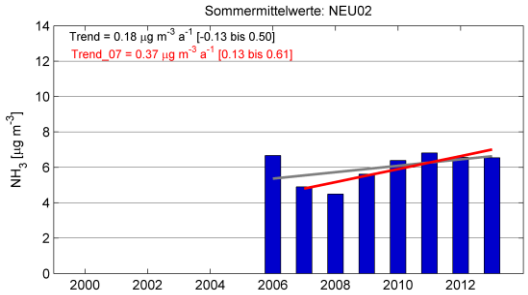


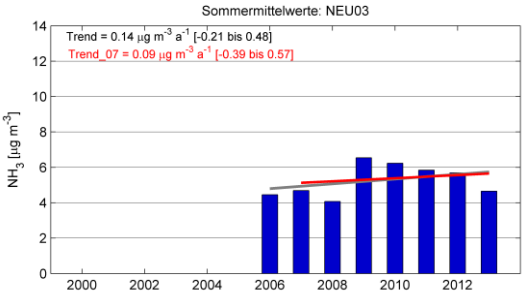

Sommermittelwerte: WAU16.4
Trend = 0.25 µg m-3 a-1 [-0.13 bis 0.64]
Trend_07 = 0.27 µg m-3 a-1 [-0.27 bis 0.81]
NH3 [µg m-3]

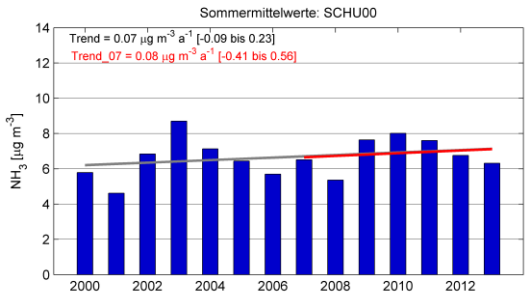

Sommermittelwerte: WAU17
Trend = 0.26 µg m-3 a-1 [-0.15 bis 0.67]
Trend_07 = 0.44 µg m-3 a-1 [-0.02 bis 0.90]
NH3 [µg m-3]

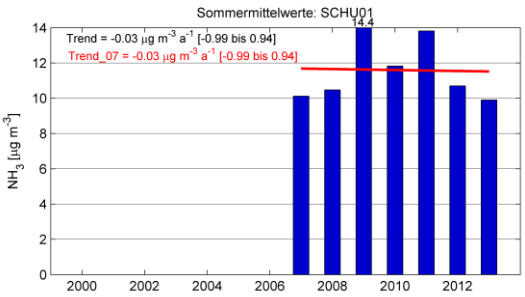

Sommermittelwerte: WAU19
Trend = 0.08 µg m-3 a-1 [-0.41 bis 0.58]
Trend_07 = 0.08 µg m-3 a-1 [-0.41 bis 0.58]
NH3 [µg m-3]

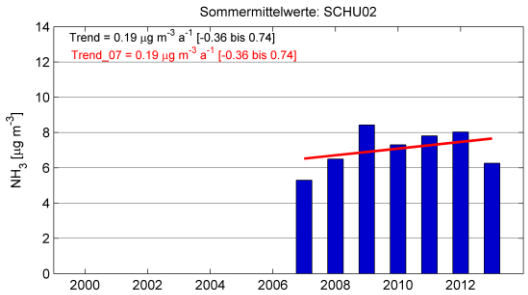

Sommermittelwerte: NEU01
Trend = 0.10 µg m-3 a-1 [-0.24 bis 0.45]
Trend_07 = 0.23 µg m-3 a-1 [-0.19 bis 0.65]
NH3 [µg m-3]

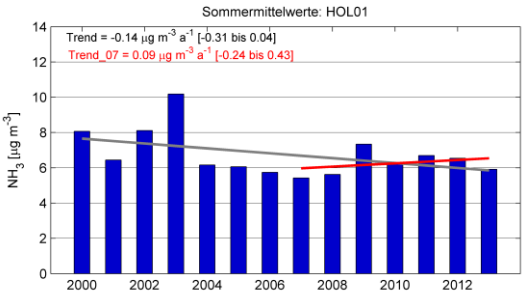

Sommermittelwerte: NEU02
Trend = 0.18 µg m-3 a-1 [-0.13 bis 0.50]
Trend_07 = 0.37 µg m-3 a-1 [0.13 bis 0.61]
NH3 [µg m-3]

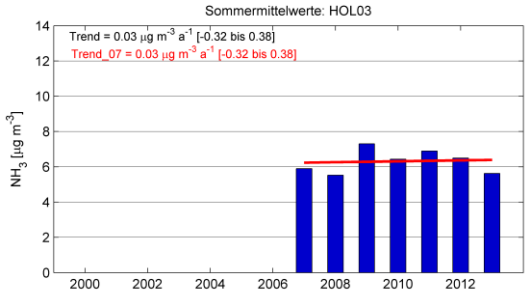

Sommermittelwerte: NEU03
Trend = 0.14 µg m-3 a-1 [-0.21 bis 0.48]
Trend_07 = 0.09 µg m-3 a-1 [-0.39 bis 0.57]
NH3 [µg m-3]

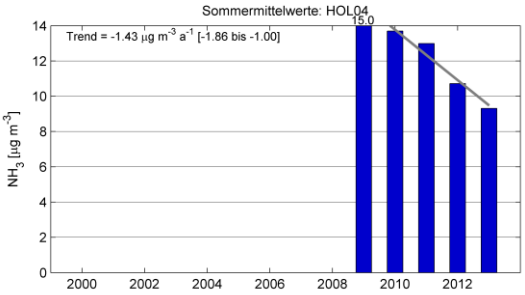

Sommermittelwerte: SCHU00
Trend = 0.07 µg m-3 a-1 [-0.09 bis 0.23]
Trend_07 = 0.08 µg m-3 a-1 [-0.41 bis 0.56]
NH3 [µg m-3]

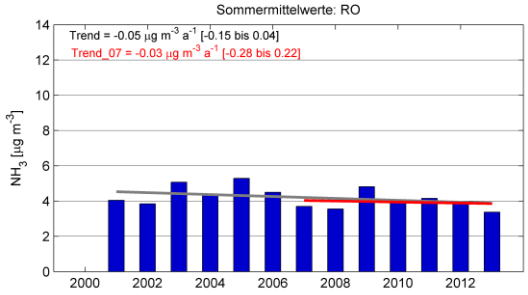

Sommermittelwerte: SCHU01
Trend = -0.03 µg m-3 a-1 [-0.99 bis 0.94]
Trend_07 = -0.03 µg m-3 a-1 [-0.99 bis 0.94]
NH3 [µg m-3]

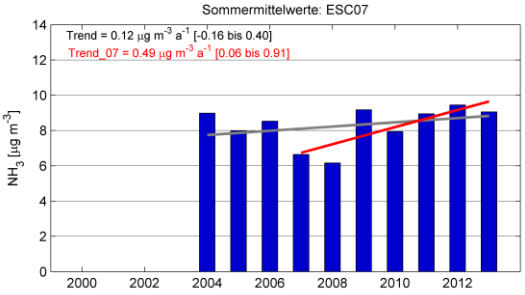

Sommermittelwerte: SCHU02
Trend = 0.19 µg m-3 a-1 [-0.36 bis 0.74]
Trend_07 = 0.19 µg m-3 a-1 [-0.36 bis 0.74]
NH3 [µg m-3]

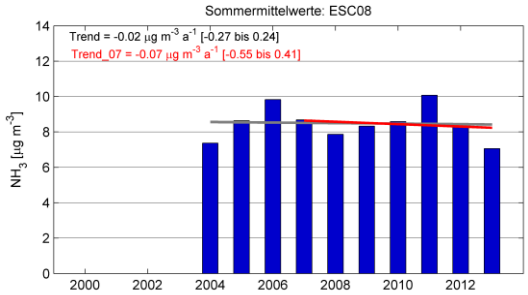

Sommermittelwerte: HOL01
Trend = -0.14 µg m-3 a-1 [-0.31 bis 0.04]
Trend_07 = 0.09 µg m-3 a-1 [-0.24 bis 0.43]
NH3 [µg m-3]

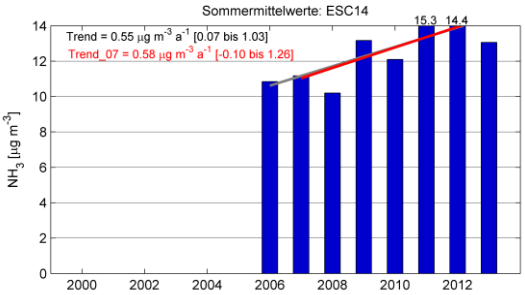

Sommermittelwerte: HOL03
Trend = 0.03 µg m-3 a-1 [-0.32 bis 0.38]
Trend_07 = 0.03 µg m-3 a-1 [-0.32 bis 0.38]
NH3 [µg m-3]

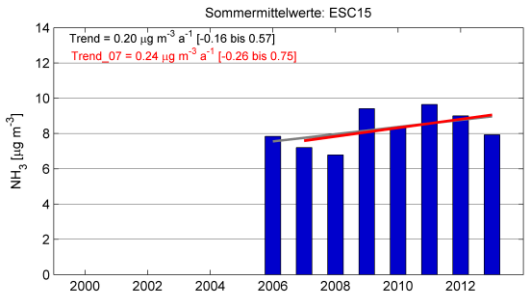

Sommermittelwerte: HOL04
Trend = -1.43 µg m-3 a-1 [-1.86 bis -1.00]
15.0
NH3 [µg m-3]

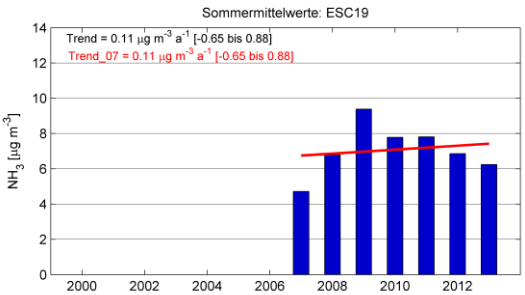

Sommermittelwerte: RO
Trend = -0.05 µg m-3 a-1 [-0.15 bis 0.04]
Trend_07 = -0.03 µg m-3 a-1 [-0.28 bis 0.22]
NH3 [µg m-3]

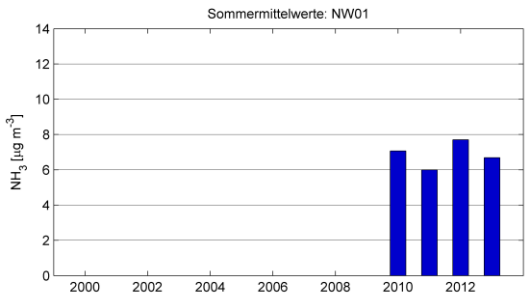

Sommermittelwerte: ESC07
Trend = 0.12 µg m-3 a-1 [-0.16 bis 0.40]
Trend_07 = 0.49 µg m-3 a-1 [0.06 bis 0.91]
NH3 [µg m-3]

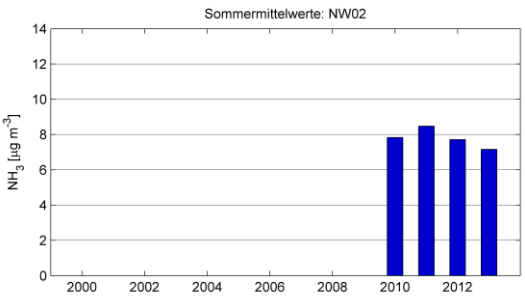

Sommermittelwerte: ESC08
Trend = -0.02 µg m-3 a-1 [-0.27 bis 0.24]
Trend_07 = -0.07 µg m-3 a-1 [-0.55 bis 0.41]
NH3 [µg m-3]

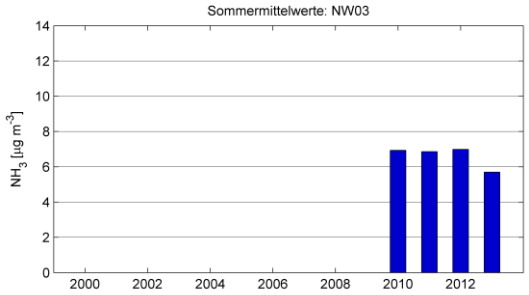

Sommermittelwerte: ESC14
Trend = 0.55 µg m-3 a-1 [0.07 bis 1.03]
Trend_07 = 0.58 µg m-3 a-1 [-0.10 bis 1.26]
15.3
14.4
NH3 [µg m-3]

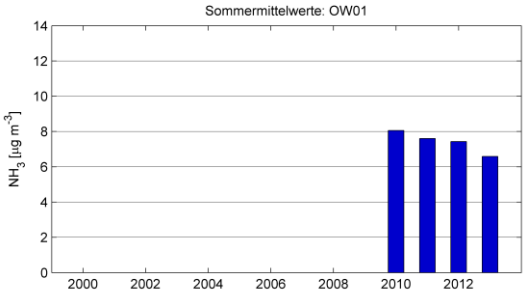

Sommermittelwerte: ESC15
Trend = 0.20 µg m-3 a-1 [-0.16 bis 0.57]
Trend_07 = 0.24 µg m-3 a-1 [-0.26 bis 0.75]
NH3 [µg m-3]

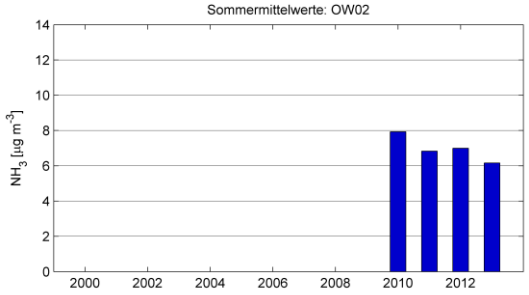

Sommermittelwerte: ESC19
Trend = 0.11 µg m-3 a-1 [-0.65 bis 0.88]
Trend_07 = 0.11 µg m-3 a-1 [-0.65 bis 0.88]
NH3 [µg m-3]

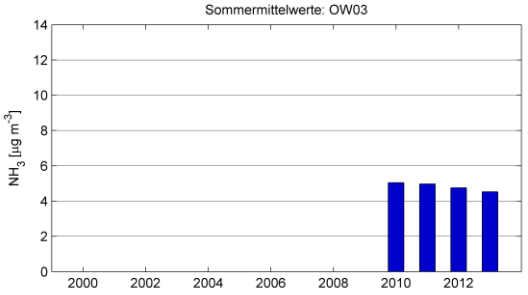

Sommermittelwerte: NW01
NH3 [µg m-3]

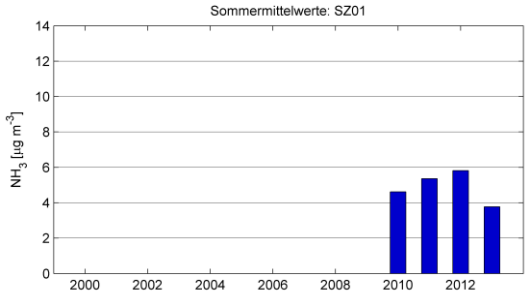

Sommermittelwerte: NW02
NH3 [µg m-3]

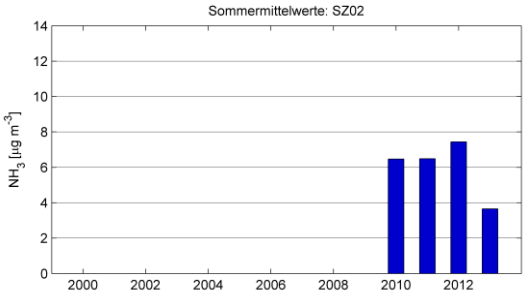

Sommermittelwerte: NW03
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

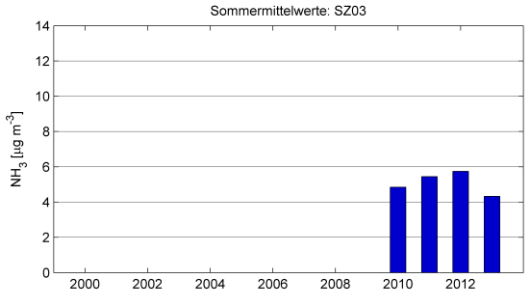

Sommermittelwerte: OW01
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

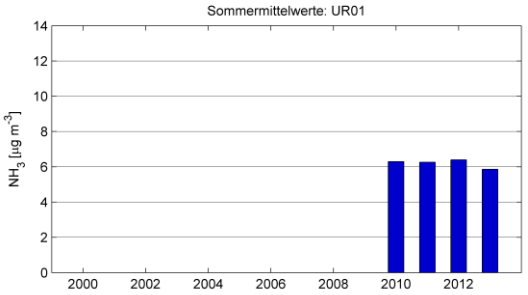

Sommermittelwerte: OW02
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

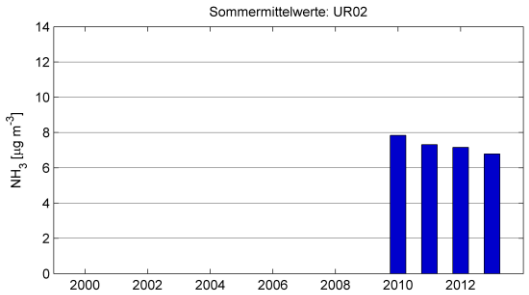

Sommermittelwerte: OW03
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

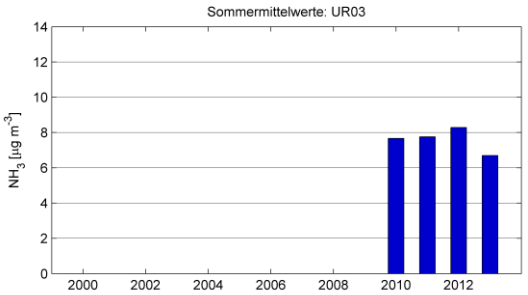

Sommermittelwerte: SZ01
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

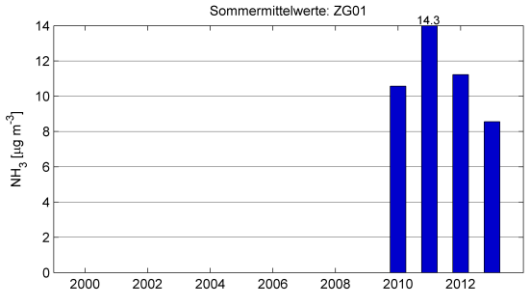

Sommermittelwerte: SZ02
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

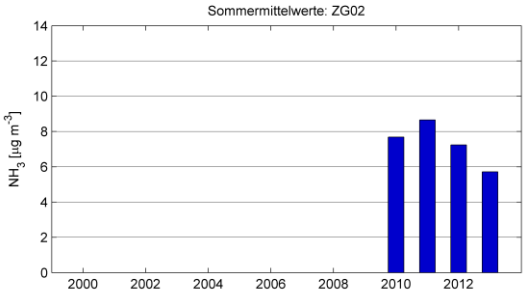

Sommermittelwerte: SZ03
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

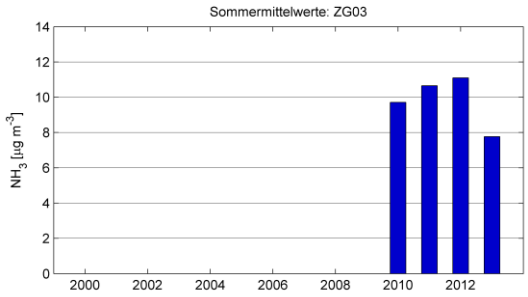

Sommermittelwerte: UR01
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

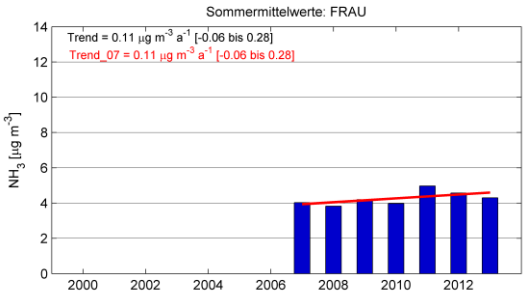

Sommermittelwerte: UR02
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

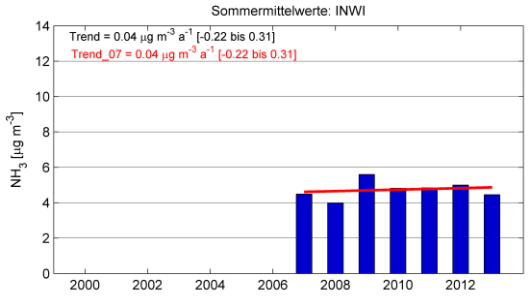

Sommermittelwerte: UR03
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

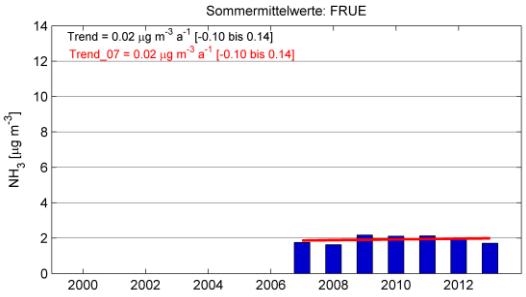

Sommermittelwerte: ZG01
14.3
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

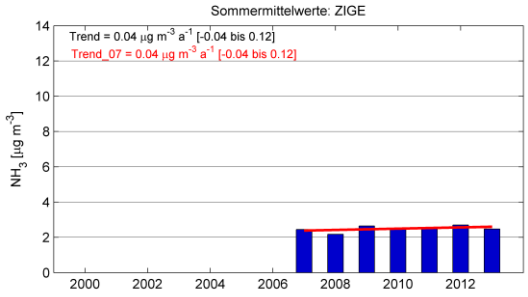

Sommermittelwerte: ZG02
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

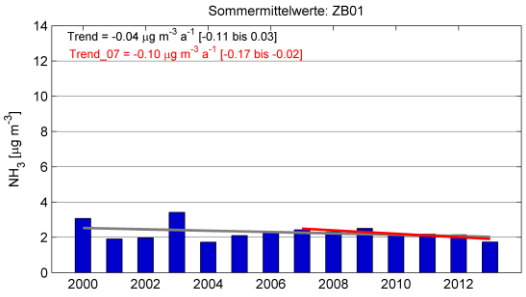

Sommermittelwerte: ZG03
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

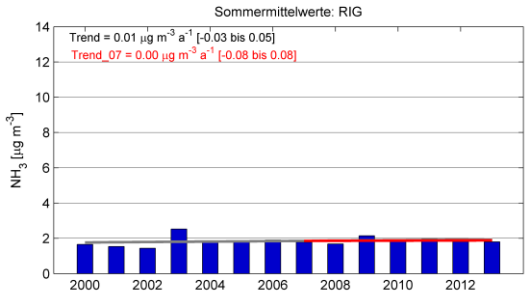

Sommermittelwerte: FRAU
Trend = 0.11 µg m-3 a-1 [-0.06 bis 0.28]
Trend_07 = 0.11 µg m-3 a-1 [-0.06 bis 0.28]
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012


Sommermittelwerte: INWI
Trend = 0.04 µg m-3 a-1 [-0.22 bis 0.31]
Trend_07 = 0.04 µg m-3 a-1 [-0.22 bis 0.31]
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

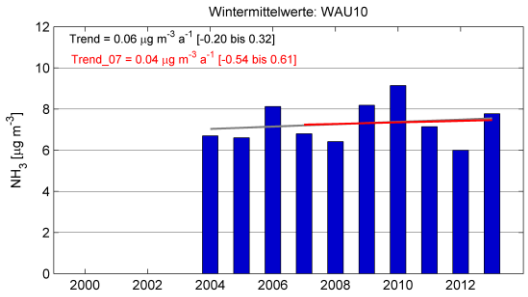

Sommermittelwerte: FRUE
Trend = 0.02 µg m-3 a-1 [-0.10 bis 0.14]
Trend_07 = 0.02 µg m-3 a-1 [-0.10 bis 0.14]
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

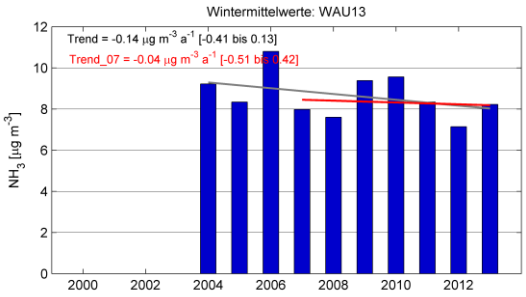

Sommermittelwerte: ZIGE
Trend = 0.04 µg m-3 a-1 [-0.04 bis 0.12]
Trend_07 = 0.04 µg m-3 a-1 [-0.04 bis 0.12]
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

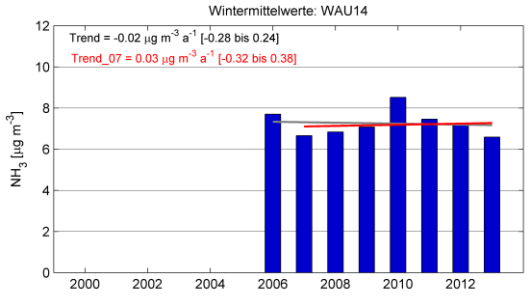

Sommermittelwerte: ZB01
Trend = -0.04 µg m-3 a-1 [-0.11 bis 0.03]
Trend_07 = -0.10 µg m-3 a-1 [-0.17 bis -0.02]
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

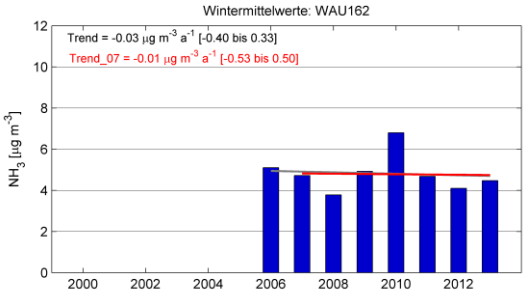

Sommermittelwerte: RIG
Trend = 0.01 µg m-3 a-1 [-0.03 bis 0.05]
Trend_07 = 0.00 µg m-3 a-1 [-0.08 bis 0.08]
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
14
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

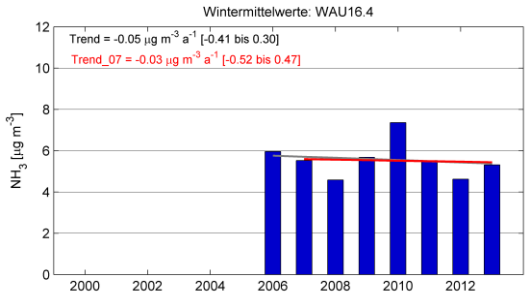
5.5 Trends der saisonale Mittel: Winter (Okt. – Feb.)

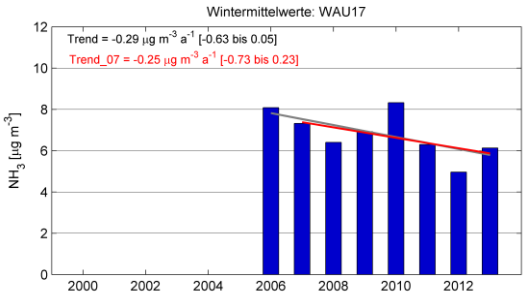


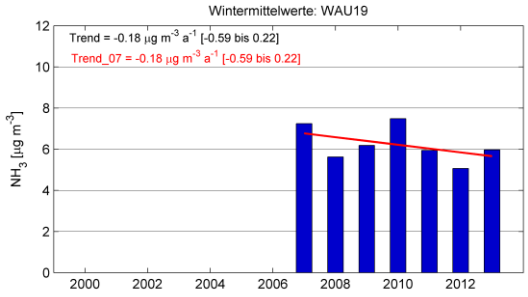


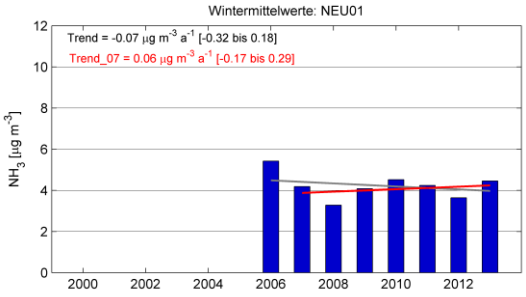


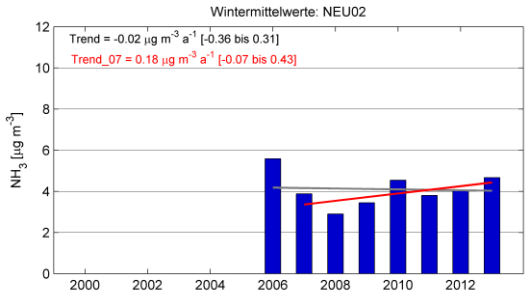


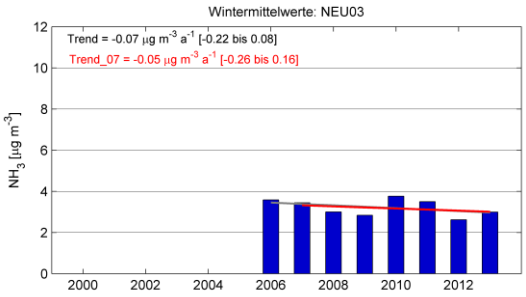


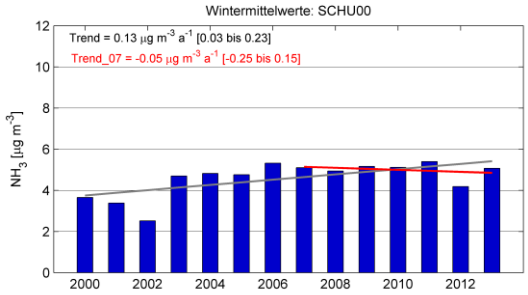


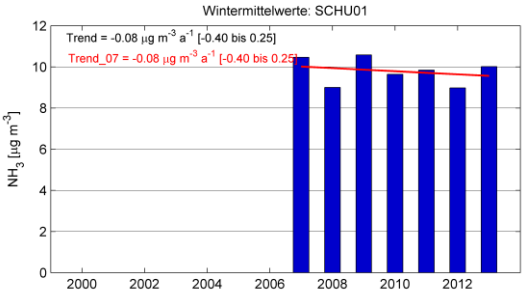


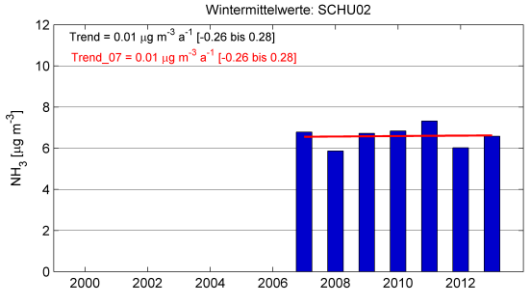


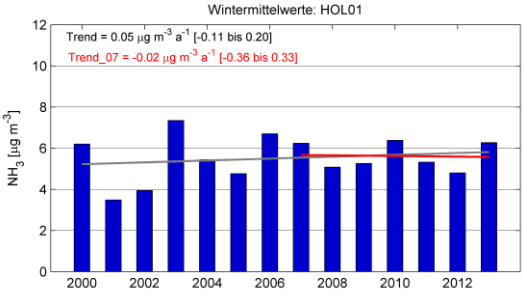


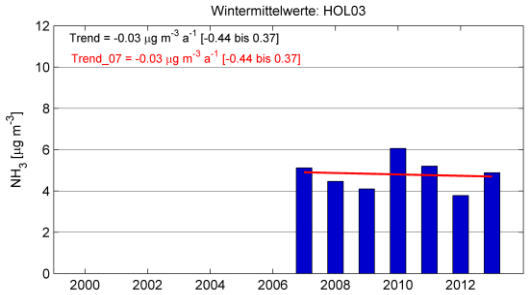


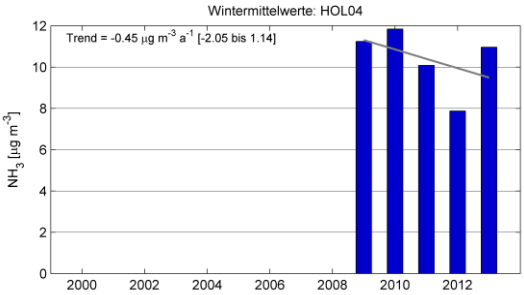

Wintermittelwerte: SCHU00
Trend = 0.13 µg m-3 a-1 [0.03 bis 0.23]
Trend_07 = -0.05 µg m-3 a-1 [-0.25 bis 0.15]
NH3 [µg m-3]

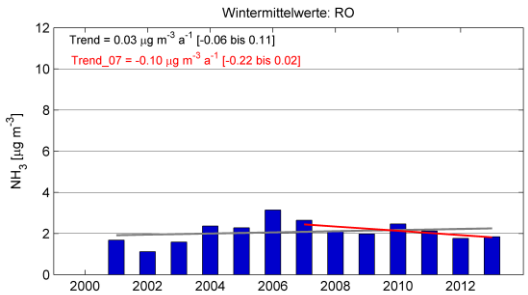

Wintermittelwerte: SCHU01
Trend = -0.08 µg m-3 a-1 [-0.40 bis 0.25]
Trend_07 = -0.08 µg m-3 a-1 [-0.40 bis 0.25]
NH3 [µg m-3]

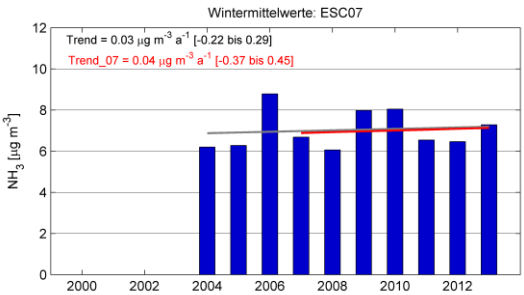

Wintermittelwerte: SCHU02
Trend = 0.01 µg m-3 a-1 [-0.26 bis 0.28]
Trend_07 = 0.01 µg m-3 a-1 [-0.26 bis 0.28]
NH3 [µg m-3]

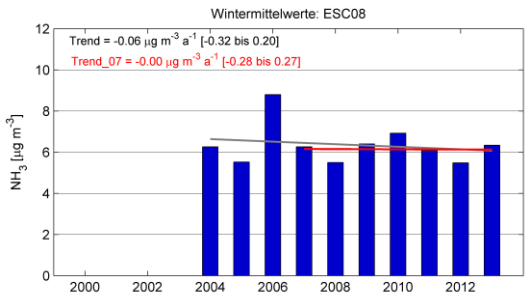

Wintermittelwerte: HOL01
Trend = 0.05 µg m-3 a-1 [-0.11 bis 0.20]
Trend_07 = -0.02 µg m-3 a-1 [-0.36 bis 0.33]
NH3 [µg m-3]

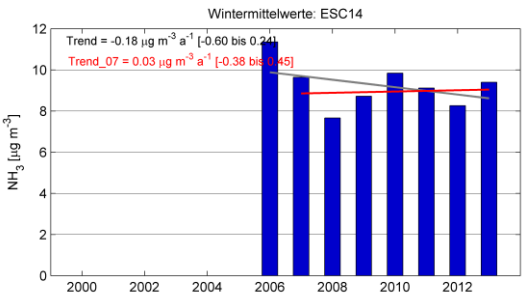

Wintermittelwerte: HOL03
Trend = -0.03 µg m-3 a-1 [-0.44 bis 0.37]
Trend_07 = -0.03 µg m-3 a-1 [-0.44 bis 0.37]
NH3 [µg m-3]

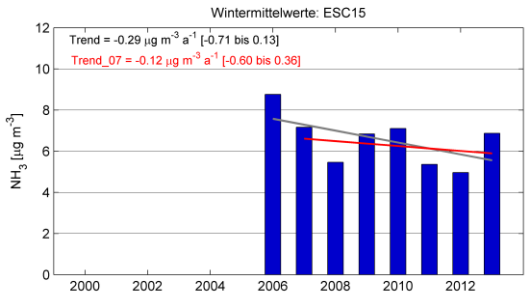

Wintermittelwerte: HOL04
Trend = -0.45 µg m-3 a-1 [-2.05 bis 1.14]
NH3 [µg m-3]

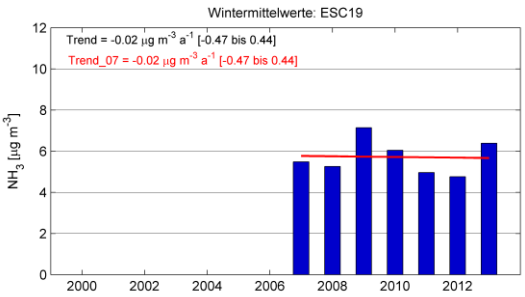

Wintermittelwerte: RO
Trend = 0.03 µg m-3 a-1 [-0.06 bis 0.11]
Trend_07 = -0.10 µg m-3 a-1 [-0.22 bis 0.02]
NH3 [µg m-3]

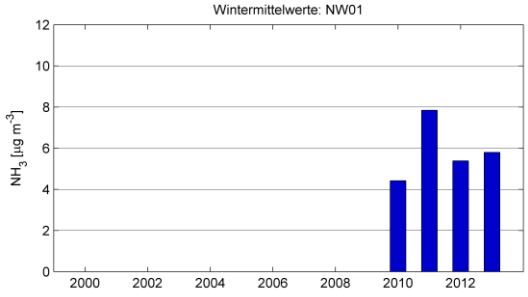

Wintermittelwerte: ESC07
Trend = 0.03 µg m-3 a-1 [-0.22 bis 0.29]
Trend_07 = 0.04 µg m-3 a-1 [-0.37 bis 0.45]
NH3 [µg m-3]

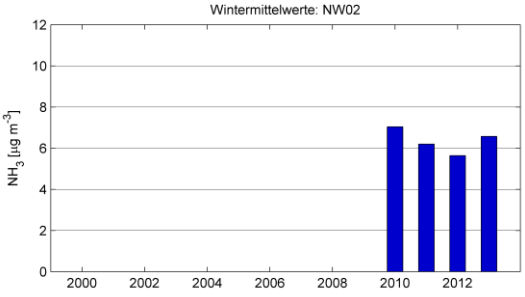

Wintermittelwerte: ESC08
Trend = -0.06 µg m-3 a-1 [-0.32 bis 0.20]
Trend_07 = -0.00 µg m-3 a-1 [-0.28 bis 0.27]
NH3 [µg m-3]

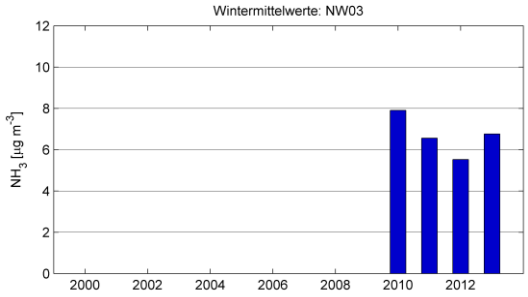

Wintermittelwerte: ESC14
Trend = -0.18 µg m-3 a-1 [-0.60 bis 0.24]
Trend_07 = 0.03 µg m-3 a-1 [-0.38 bis 0.45]
NH3 [µg m-3]

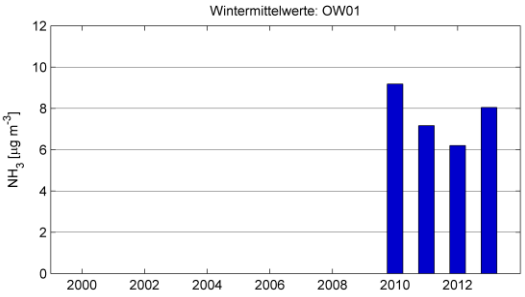

Wintermittelwerte: ESC15
Trend = -0.29 µg m-3 a-1 [-0.71 bis 0.13]
Trend_07 = -0.12 µg m-3 a-1 [-0.60 bis 0.36]
NH3 [µg m-3]

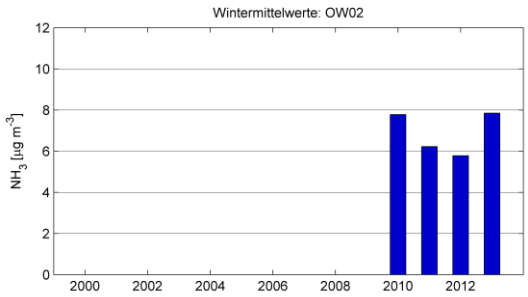

Wintermittelwerte: ESC19
Trend = -0.02 µg m-3 a-1 [-0.47 bis 0.44]
Trend_07 = -0.02 µg m-3 a-1 [-0.47 bis 0.44]
NH3 [µg m-3]

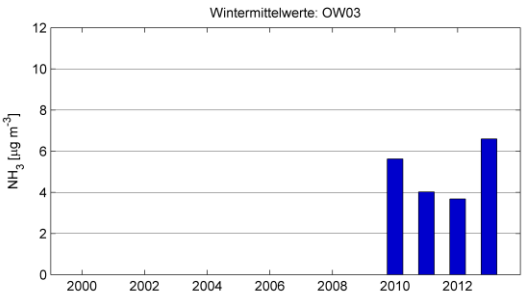

Wintermittelwerte: NW01
NH3 [µg m-3]

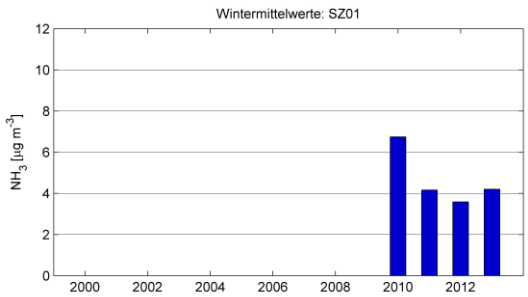

Wintermittelwerte: NW02
NH3 [µg m-3]

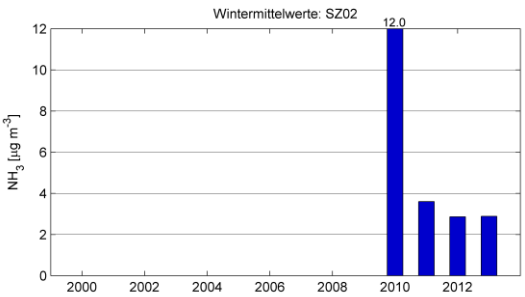

Wintermittelwerte: NW03
NH3 [µg m-3]

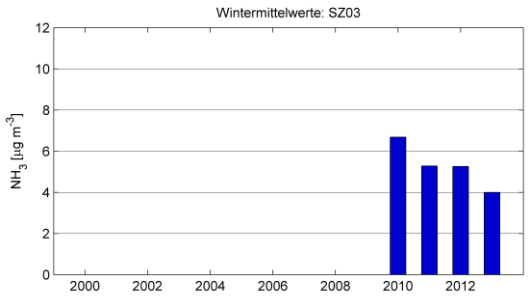

Wintermittelwerte: OW01
NH3 [µg m-3]

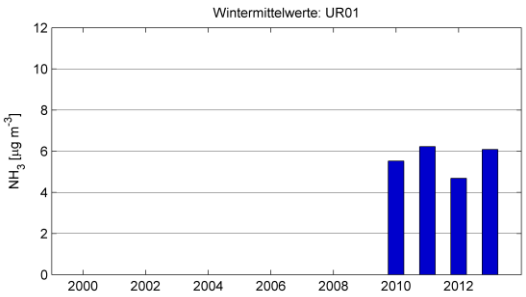

Wintermittelwerte: OW02
NH3 [µg m-3]

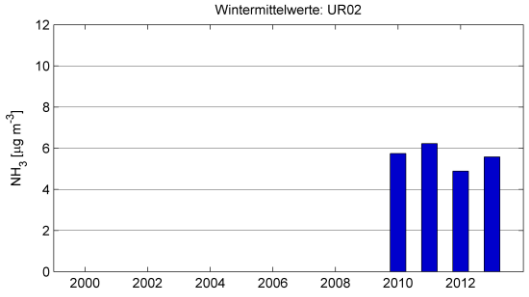

Wintermittelwerte: OW03
NH3 [µg m-3]

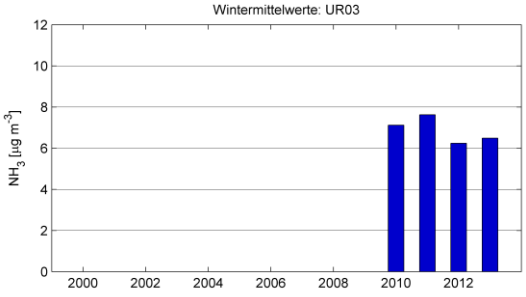

Wintermittelwerte: SZ01
NH3 [µg m-3]

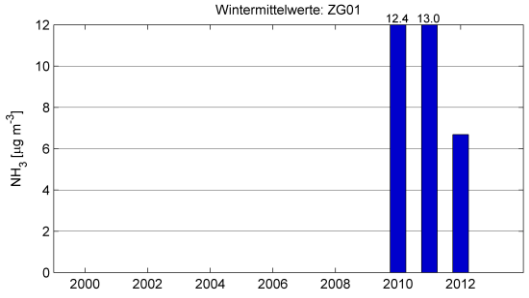

Wintermittelwerte: SZ02
12.0
NH3 [µg m-3]

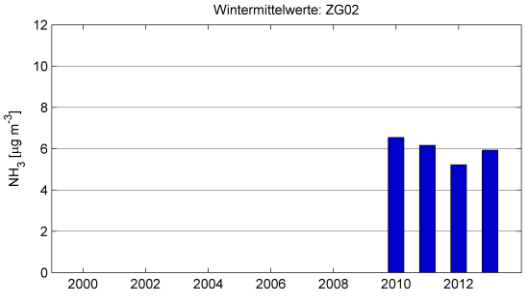

Wintermittelwerte: SZ03
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

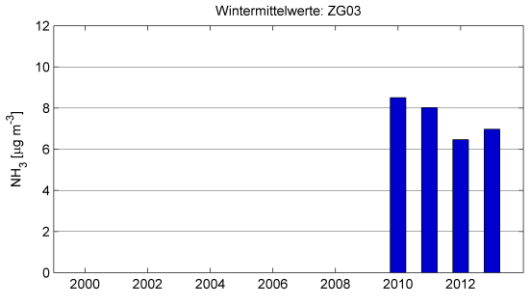

Wintermittelwerte: UR01
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

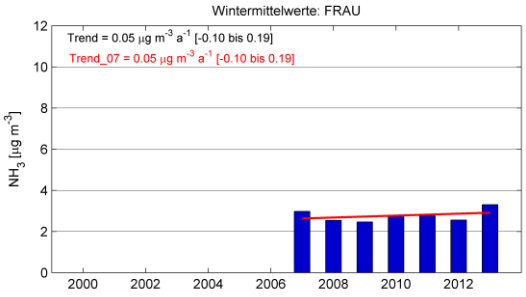

Wintermittelwerte: UR02
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

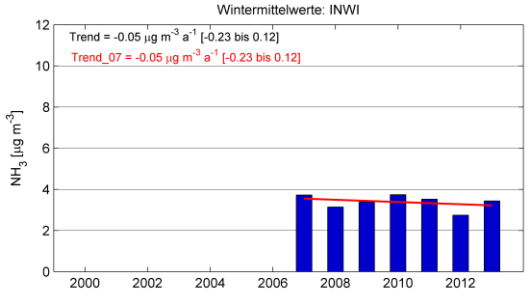

Wintermittelwerte: UR03
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

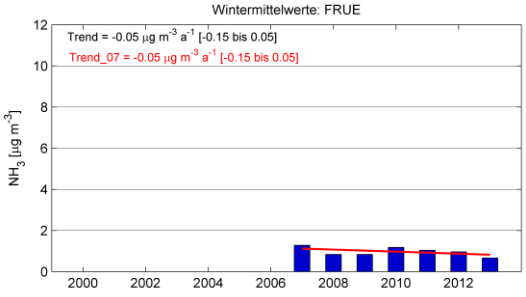

Wintermittelwerte: ZG01
12.4
13.0
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

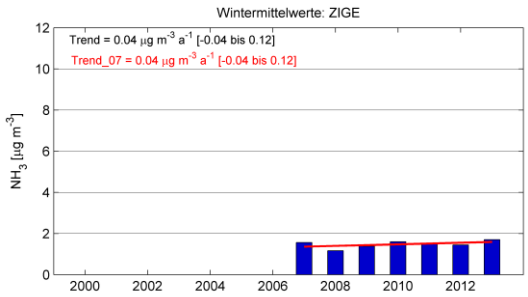

Wintermittelwerte: ZG02
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

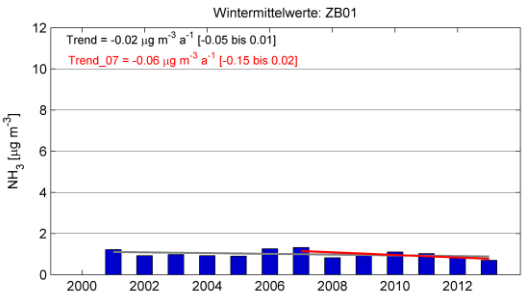

Wintermittelwerte: ZG03
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

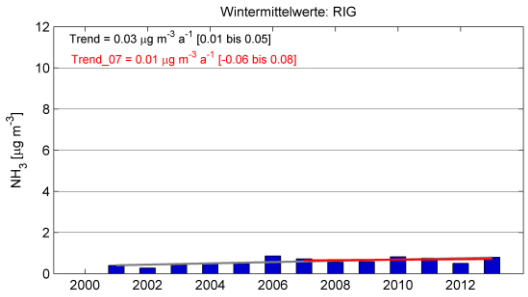

Wintermittelwerte: FRAU
Trend = 0.05 µg m-3 a-1 [-0.10 bis 0.19]
Trend_07 = 0.05 µg m-3 a-1 [-0.10 bis 0.19]
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012


Wintermittelwerte: INWI
Trend = -0.05 µg m-3 a-1 [-0.23 bis 0.12]
Trend_07 = -0.05 µg m-3 a-1 [-0.23 bis 0.12]
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

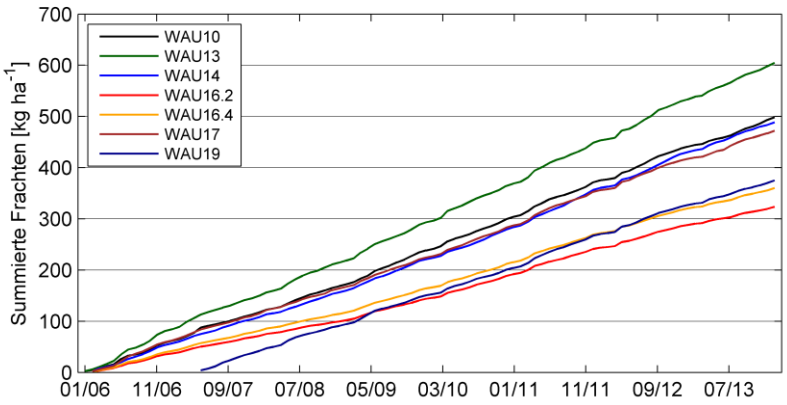

Wintermittelwerte: FRUE
Trend = -0.05 µg m-3 a-1 [-0.15 bis 0.05]
Trend_07 = -0.05 µg m-3 a-1 [-0.15 bis 0.05]
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

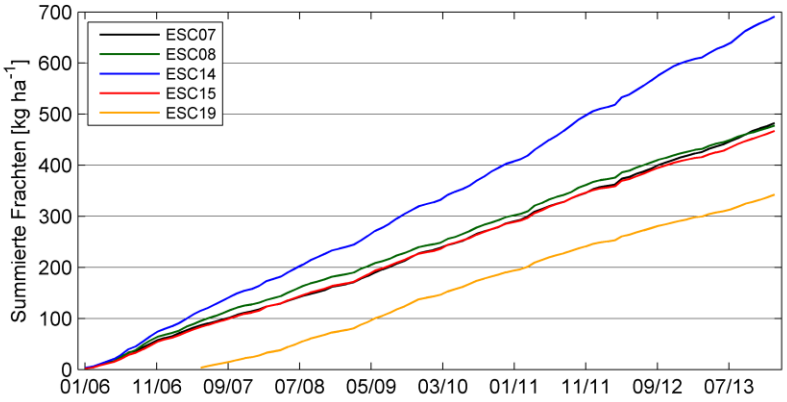

Wintermittelwerte: ZIGE
Trend = 0.04 µg m-3 a-1 [-0.04 bis 0.12]
Trend_07 = 0.04 µg m-3 a-1 [-0.04 bis 0.12]
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

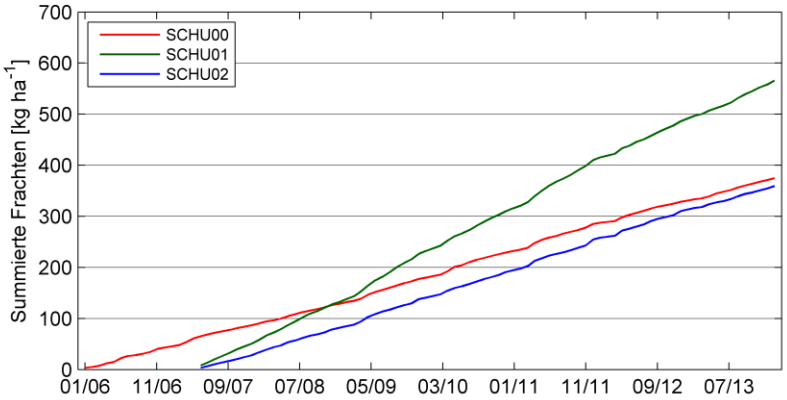

Wintermittelwerte: ZB01
Trend = -0.02 µg m-3 a-1 [-0.05 bis 0.01]
Trend_07 = -0.06 µg m-3 a-1 [-0.15 bis 0.02]
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

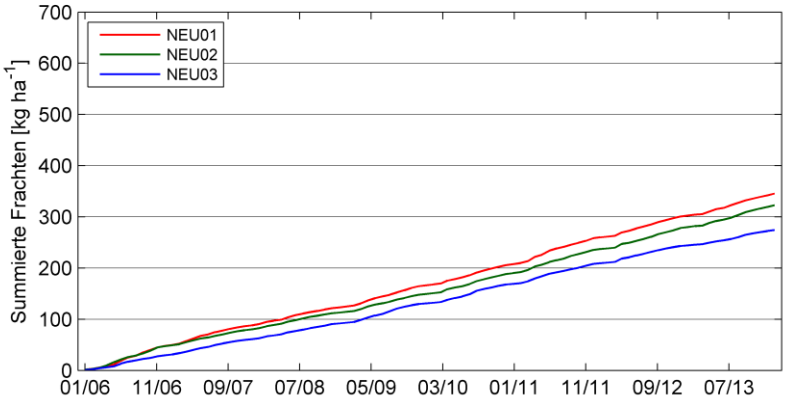

Wintermittelwerte: RIG
Trend = 0.03 µg m-3 a-1 [0.01 bis 0.05]
Trend_07 = 0.01 µg m-3 a-1 [-0.06 bis 0.08]
NH3 [µg m-3]
0
2
4
6
8
10
12
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012

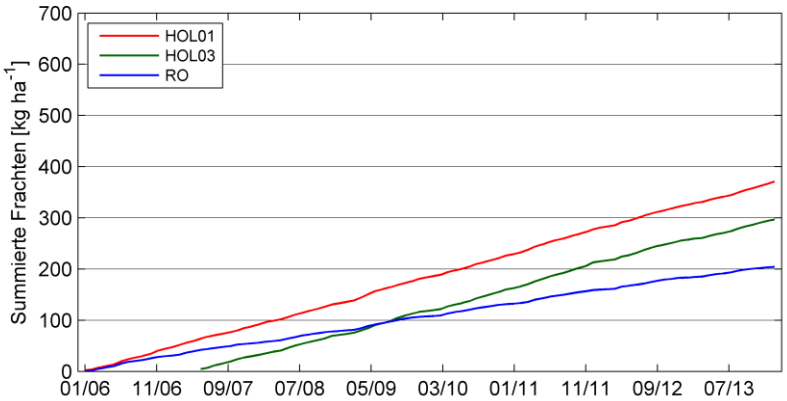
5.6 Frachten

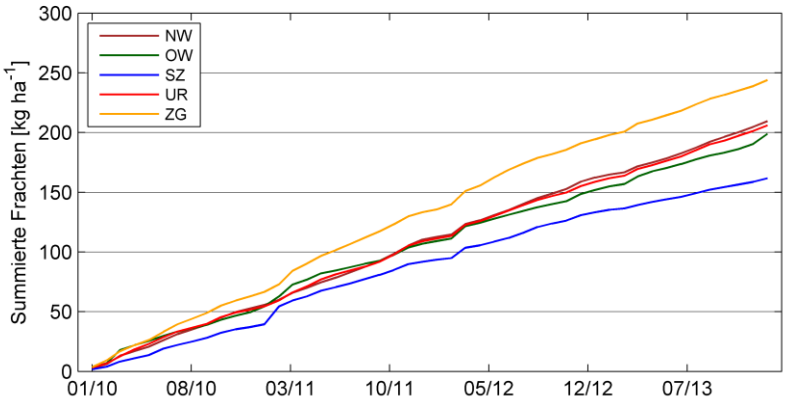

Summierte Frachten [kg ha-1]
WAU10
WAU13
WAU14
WAU16.2
WAU16.4
WAU17
WAU19
0
100
200
300
400
500
600
700
01/06
11/06
09/07
07/08
05/09
03/10
01/11
11/11
09/12
07/13

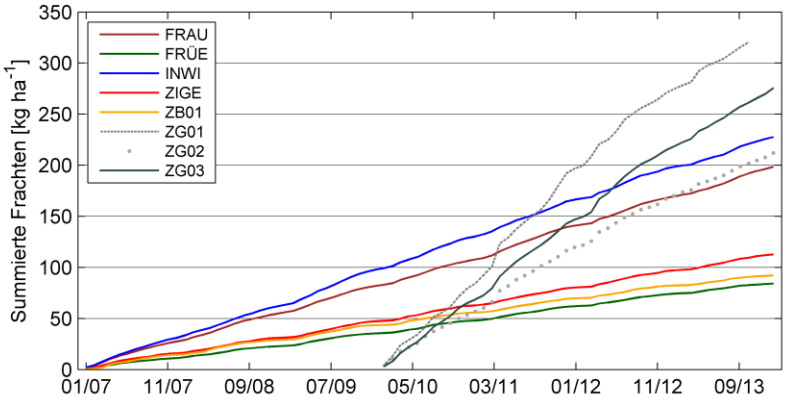

Summierte Frachten [kg ha-1]
ESC07
ESC08
ESC14
ESC15
ESC19
0
100
200
300
400
500
600
700
01/06
11/06
09/07
07/08
05/09
03/10
01/11
11/11
09/12
07/13


SCHU00
SCHU01
SCHU02
Summierte Frachten [kg ha-1]
0
100
200
300
400
500
600
700
01/06
11/06
09/07
07/08
05/09
03/10
01/11
11/11
09/12
07/13


NEU01
NEU02
NEU03
Summierte Frachten [kg ha-1]
0
100
200
300
400
500
600
700
01/06
11/06
09/07
07/08
05/09
03/10
01/11
11/11
09/12
07/13


HOL01
HOL03
RO
Summierte Frachten [kg ha-1]
0
100
200
300
400
500
600
700
01/06
11/06
09/07
07/08
05/09
03/10
01/11
11/11
09/12
07/13


NW
OW
SZ
UR
ZG
Summierte Frachten [kg ha-1]
0
50
100
150
200
250
300
01/10
08/10
03/11
10/11
05/12
12/12
07/13


FRAU
FRÜE
INWI
ZIGE
ZB01
ZG01
ZG02
ZG03
Summierte Frachten [kg ha-1]
350
300
250
200
150
100
50
0
01/07
11/07
09/08
07/09
05/10
03/11
01/12
11/12
09/13