Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien

Atmosphärische N-Einträge in naturnahe Ökosysteme

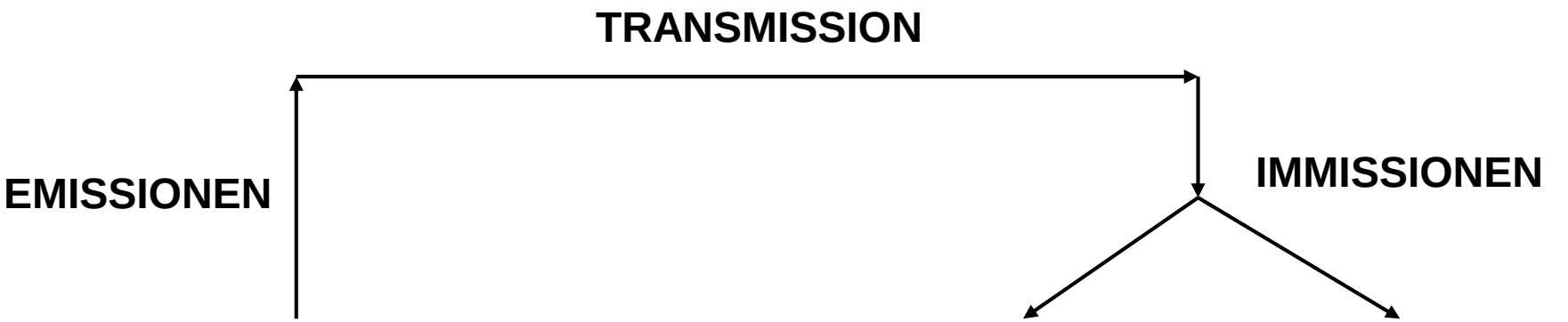
Situation in der Schweiz

Beat Achermann
BAFU, Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien, Sektion Luftqualität

20. Oktober 2016, Bern

Nationale Plattform Biodiversität in der Landwirtschaft

Emissionen, Ausbreitung und Immissionen von Luftschadstoffen



SCHADSTOFF-QUELLEN

- Energie
- Industrie
- Verkehr
- Haushalte
- Landwirtschaft

KONZENTRATION (LEVELS)

DEPOSITION (LOADS)

EMPFINDLICHE REZEPTOREN

CRITICAL LEVELS

SO_2, NO_x, O_3, NH_3
Feinstaub (PM)
Karzinogene

CRITICAL LOADS

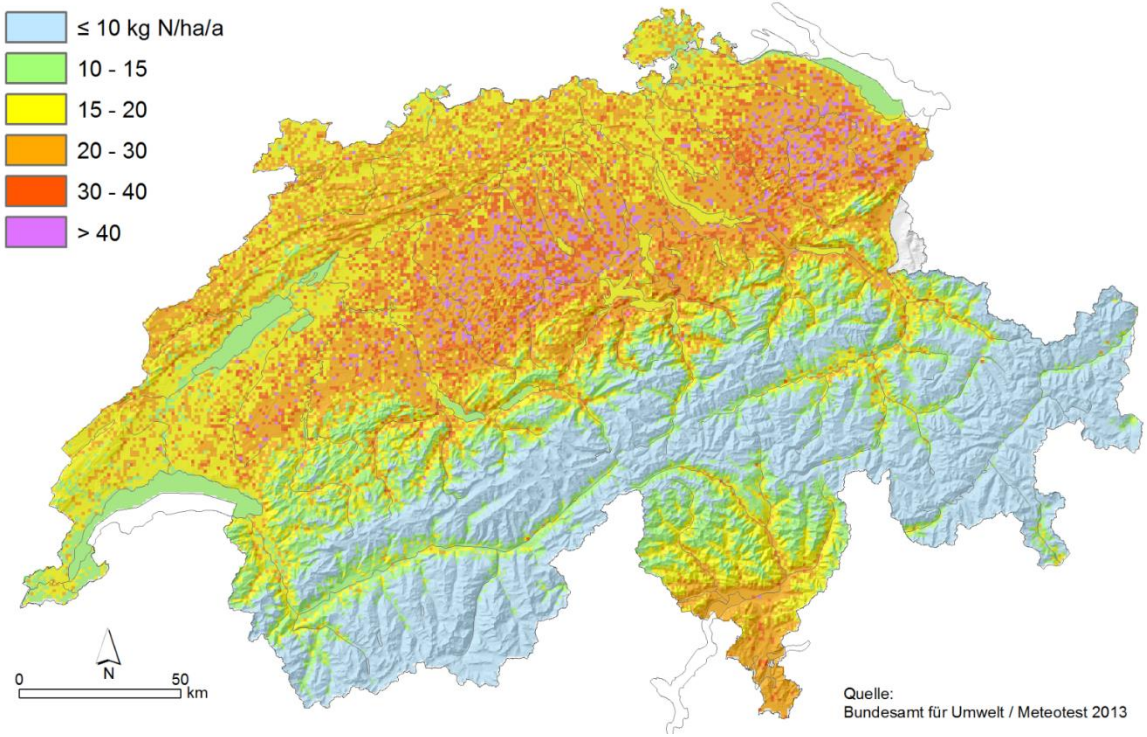
Versauerung (S, N)
Eutrophierung (N)
Schwermetalle
Persist. Organ. Verb.

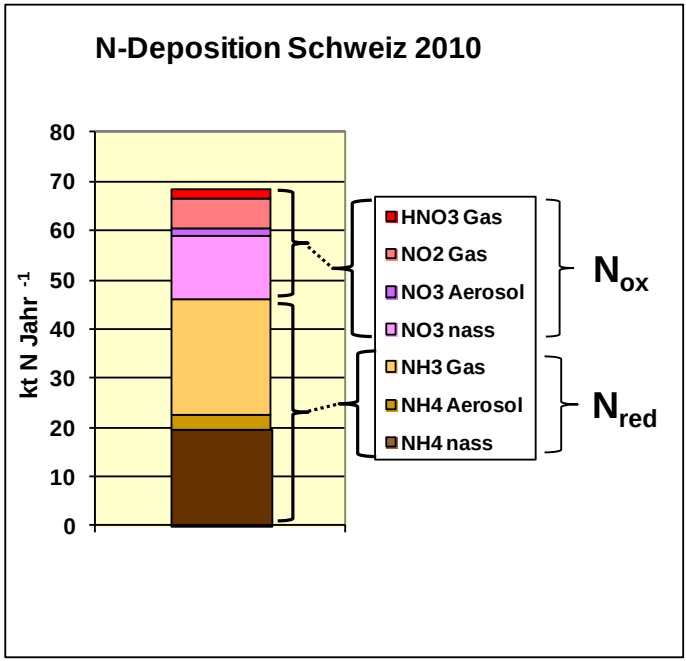
Critical Loads für Stickstoff für ausgewählte naturnahe Ökosysteme gemäss UNECE

Ökosystemtyp	Critical Load für Stickstoff (kg N ha^{-1} a^{-1})
Hochmoore	5 - 10
Flachmoore	10 - 15
Alpines/subalpines Grasland	5 - 10
(Sub)alpine Zwergstrauchheiden	5 - 15
Montane Heuwiesen	10 - 20
Laubwälder	10 - 20
Nadelwälder	5 - 15
Oligotrophe alpine Seen	3 - 5
Seichte oligotrophe Gewässer	3 - 10

Quelle: UNECE CLRTAP 2010
UNECE ICP Waters 2010

Atmosphärische Stickstoff-Deposition in der Schweiz 2010

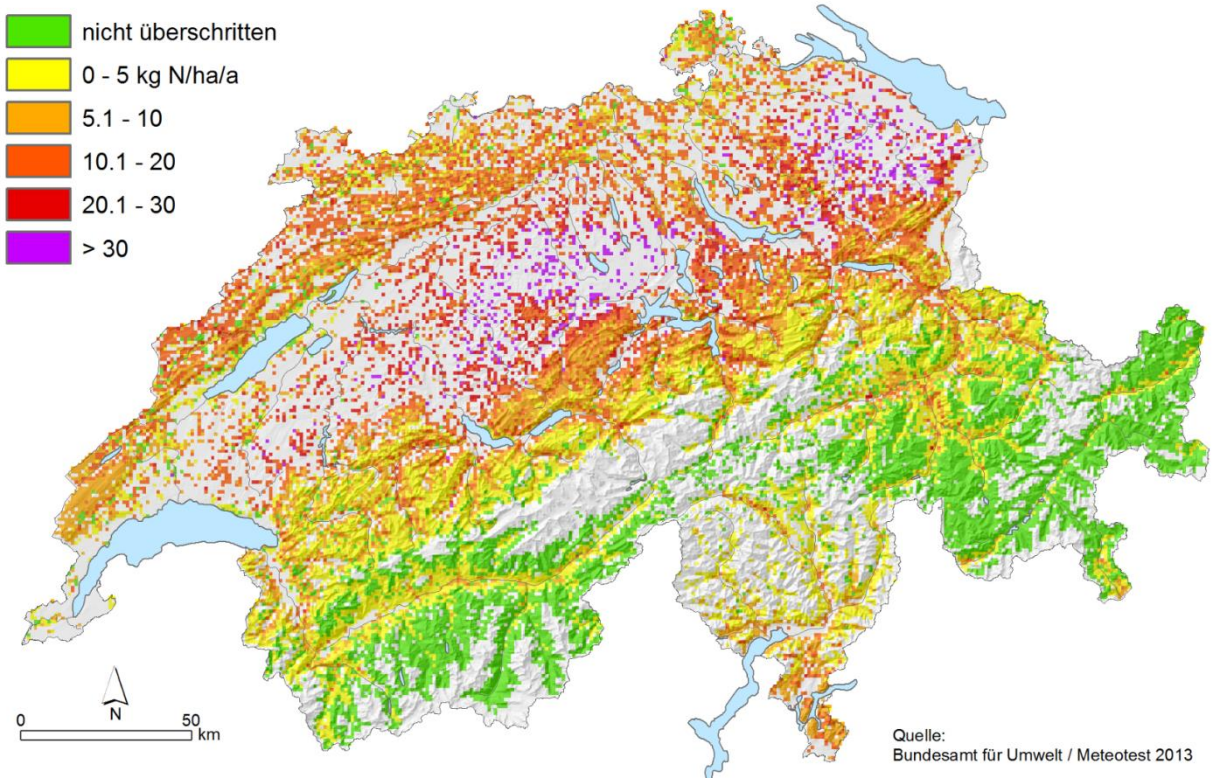




Berücksichtigte N-Verbindungen: - nasse Deposition von NO_3^-, NH_4^+
- trockene Deposition von Gasen NH_3, NO_2, HNO_3
- trockene Deposition von NO_3^-- und NH_4^+-haltigen Aerosolen

CH-Bilanz: rund 2/3 der Einträge stammen von Ammoniak-Emissionen (v.a. Landwirtschaft)
rund 1/3 der Einträge stammen von Stickoxid-Emissionen (Verkehr, Industrie, Haushalte)

Überschreitungen der Critical Loads für Stickstoff (CLN, kritische Belastungsgrenzen für naturnahe Ökosysteme gemäss UNECE)

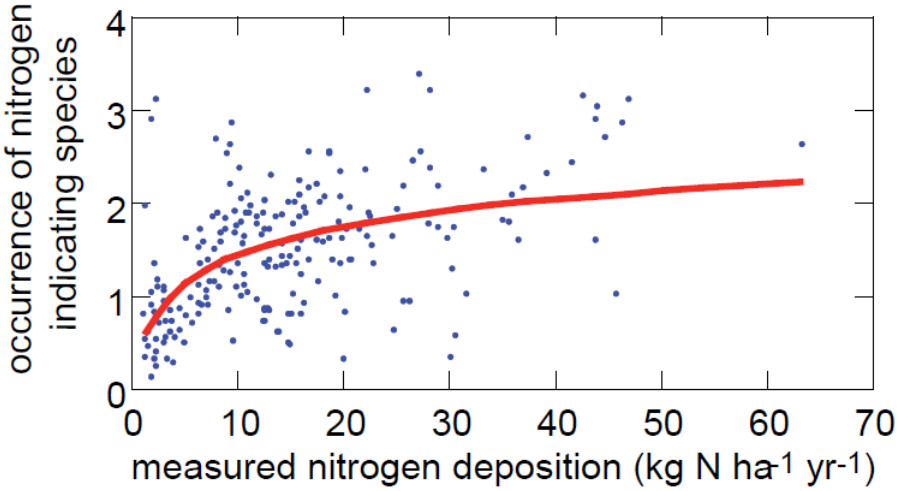


CLN-Überschreitungen 2010:

- **bei 95% der Waldflächen (LFI)**
- **bei 100% der Hochmoor-Flächen**
- **bei 84% der Flachmoor-Flächen**
- **bei 42% der Trockenwiesen und -weiden (TWW-Flächen)**

Auswirkungen der N-Einträge auf die Biodiversität bei Waldökosystemen

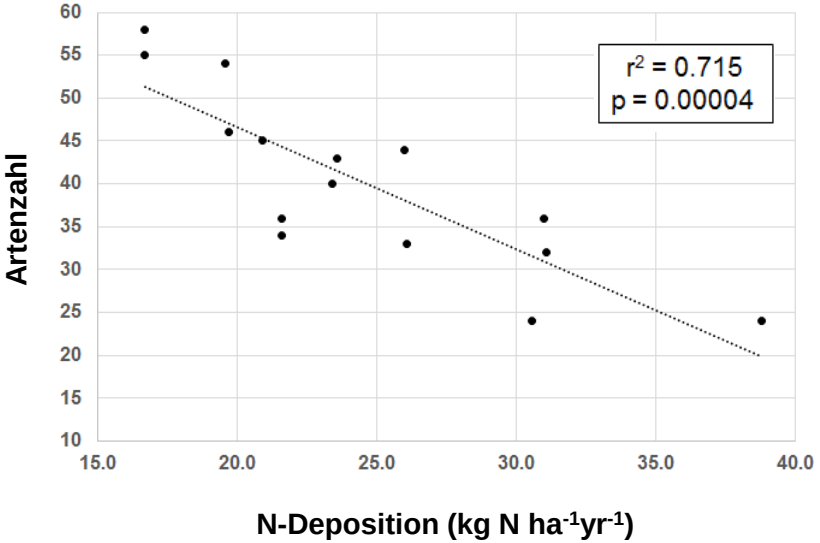
Zeigerpflanzen für Eutrophierung



Zunahme der Eutrophierungszeiger bei der Bodenvegetation von europäischen Wald-ökosystemen mit zunehmender N-Deposition

**(Quelle: UNECE ICP Forests 2006,
Methode: Detrended correspondence analysis DCA)**

Mycorrhiza im Wurzelraum

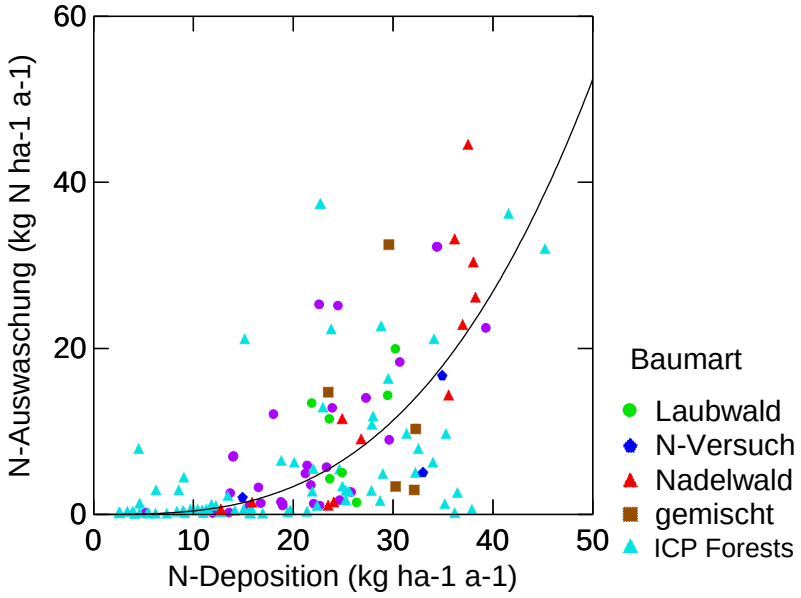


Abnahme der Artenzahl der Mycorrhiza-Pilze im Wurzelraum von CH-Waldböden mit zunehmender N-Deposition (Gradientenstudie)

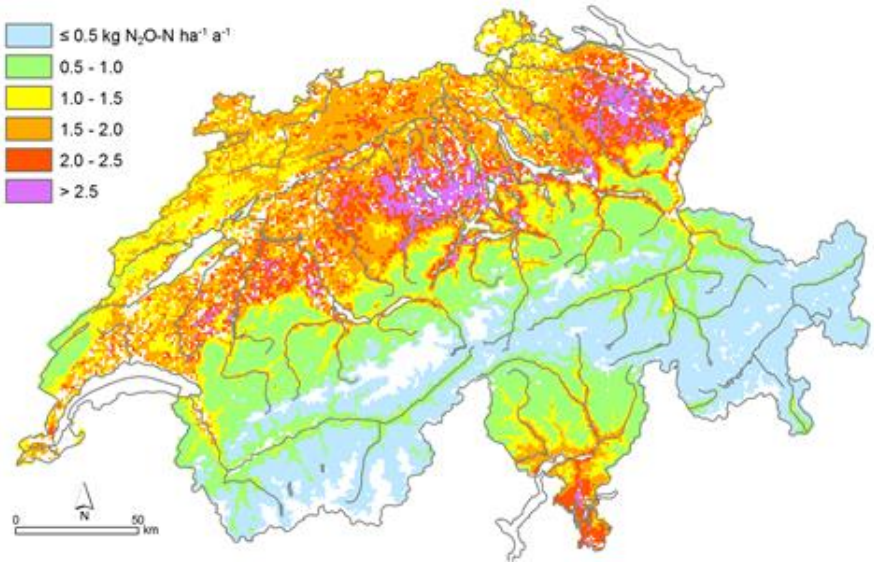
Quelle: de Witte 2015 (Institut für Angewandte Pflanzenbiologie IAP, Interkantonales Walddauer-beobachtungsprogramm, UNECE ICP Vegetation)

Stickstoff-Einträge bewirken Nitrat-Leaching und N_2O-Emissionen aus naturnahen Ökosystemen

Nitrat-Leaching aus Waldböden

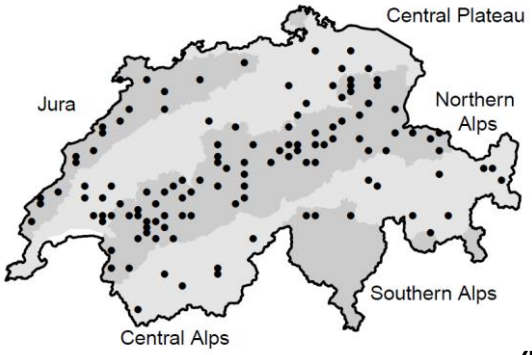


N_2O-Emissionen aus naturnahen Ökosystemen



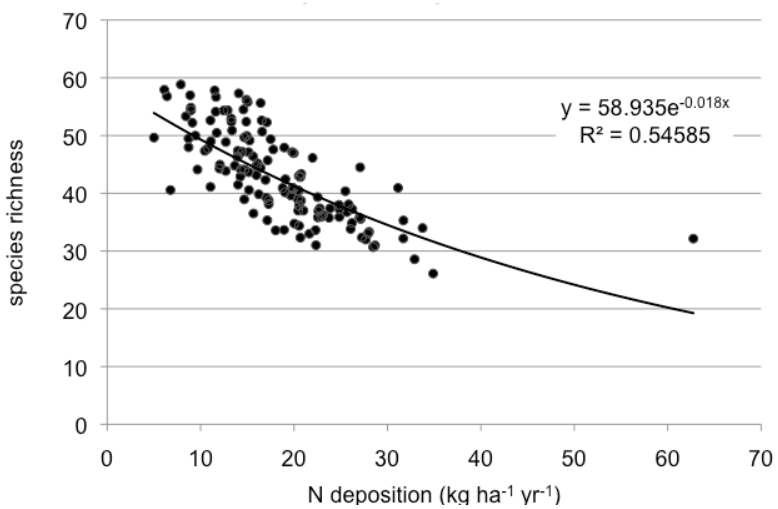
- **Daten zu Nitrat-Leaching von Messungen an schweizerischen und europäischen Standorten**
  (CH-Daten: Institut für angewandte Pflanzenbiologie; europäisches Programm: UNECE ICP Forests)
- **N-Leaching aus Schweizer Wäldern im Jahre 2010: 7.6 kt Nitrat-N**
- **Daten zu Lachgas (N_2O)-Emissionen von Berechnungen und Modellierungen (Bühlmann et al. 2015)**
- **Durch N-Deposition induzierte N_2O-Emissionen aus naturnahen Ökosystemen im Jahre 2010: 1.61 kt N_2O-N**
  (CH-Emissionen 2010 zum Vergleich: Landwirtschaft 5.12 kt N_2O-N; Energiesektor: 0.65 kt N_2O-N)

Auswirkungen der N-Einträge auf die Artenvielfalt bei montanen Heuwiesen (EUNIS E2.3)

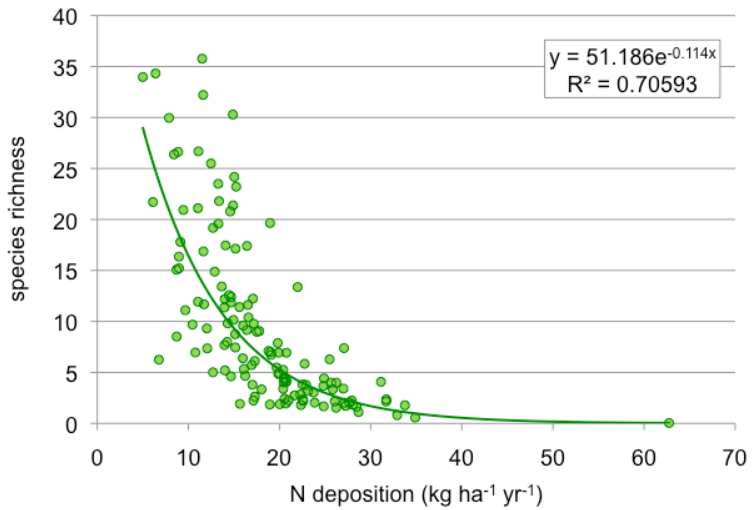


133 BDM Z9-Standorte

alle Arten
(höhere Pflanzen)



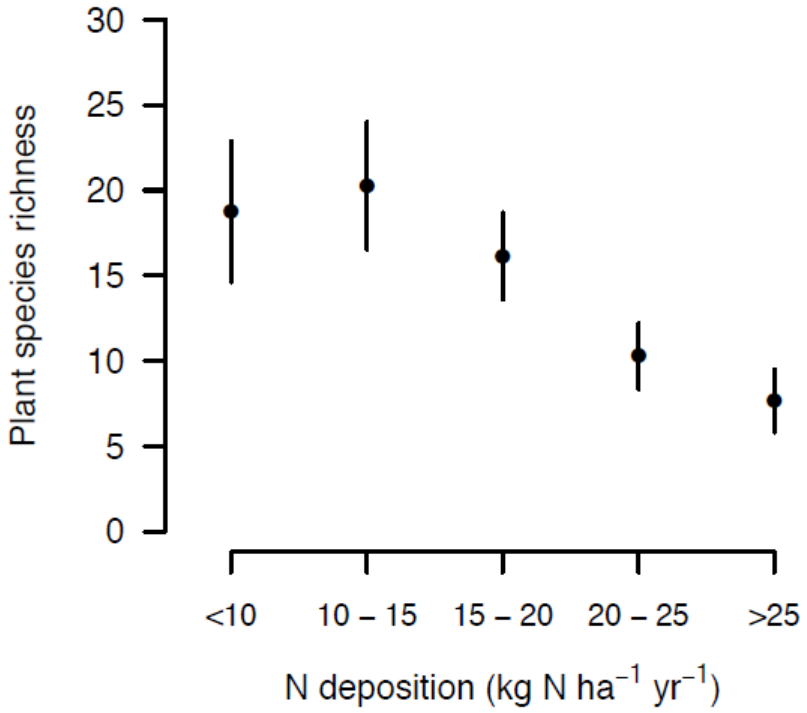
oligotrophe Arten
(höhere Pflanzen, Landolt Nährstoffzahl N 1 und 2)



Ergebnisse von Untersuchungen in der Schweiz (BDM-Daten, N-Depositionsdaten) mit einem «Generalized Additive Model (GAM)» unter Berücksichtigung von weiteren Einflussfaktoren (confounding variables) wie Höhe ü.M., Exposition, Hangneigung, Niederschlagsmenge, Landolt-Indikatorwert R für die Versauerung des Standorts, Landolt-Indikatorwert F für die Feuchtigkeit des Standorts.

Quellen: Roth et al 2013,
Achermann, Kohli, Roth, Rihm 2014

Auswirkungen der N-Deposition auf UZL-Arten in montanen Heuwiesen (EUNIS E2.3)



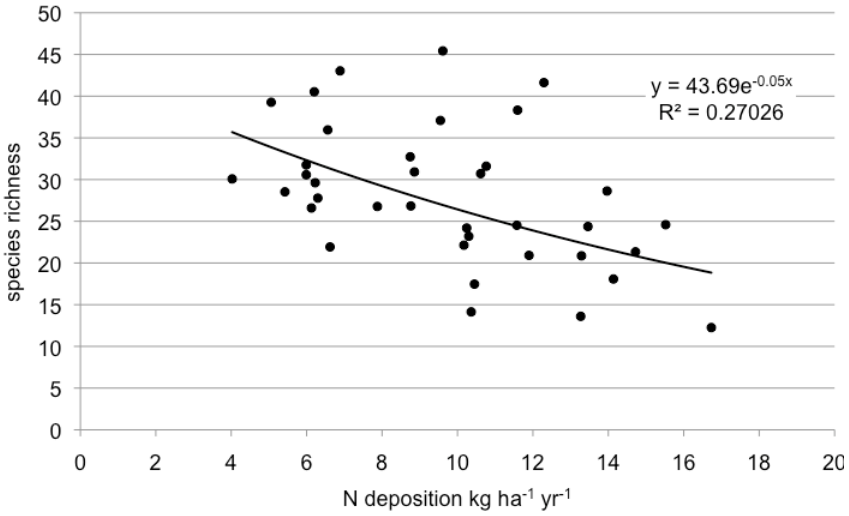
Ergebnisse von Untersuchungen in der Schweiz (BDM-Daten, N-Depositionsdaten) mit einem «Generalized Additive Model (GAM)» unter Berücksichtigung von weiteren Einflussfaktoren (confounding variables)

Auswirkungen der N-Einträge auf die Artenvielfalt bei (sub)alpinen Heiden / Zwergstrauchheiden

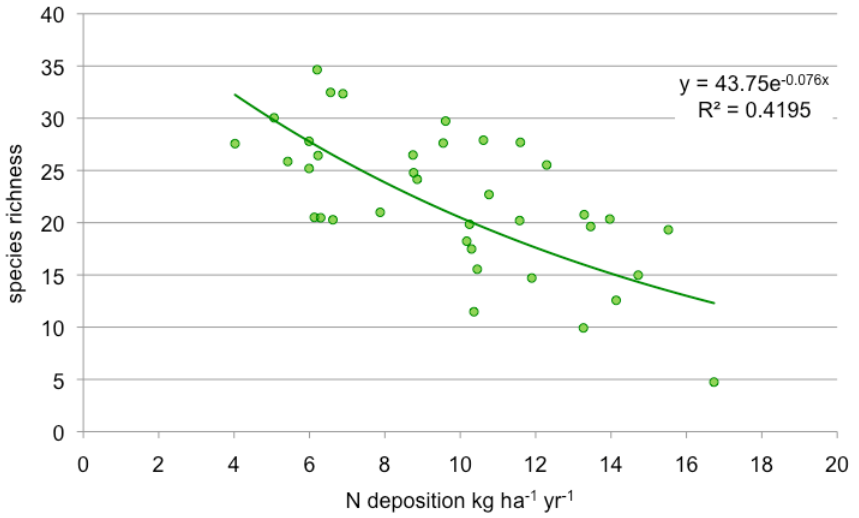
(EUNIS F2.2: u.a. Juniperion nanae, Loiseleurio-Vaccinion, Ericion)

37 BDM Z9-Standorte

alle Arten
(höhere Pflanzen)



oligotrophe Arten
(höhere Pflanzen, Landolt Nährstoffzahl N 1 und 2)



Ergebnisse von Untersuchungen in der Schweiz (BDM-Daten, N-Depositionsdaten) mit einem «Generalized Additive Model (GAM)» unter Berücksichtigung von weiteren Einflussfaktoren (confounding variables) wie Höhe ü.M., Exposition, Hangneigung, Niederschlagsmenge, Landolt-Indikatorwert R für die Versauerung des Standorts, Landolt-Indikatorwert F für die Feuchtigkeit des Standorts.

Quelle: Achermann, Kohli, Roth, Rihm 2014
(CCE Statusbericht 2014)

Untersuchung zu den Auswirkungen der N-Deposition auf ein Hochmoor in der Schweiz

Auswirkungen einer Stickstoffgabe von 30 kg N $ha^{-1}yr^{-1}$ über 3 Jahre auf das Vorkommen von *Sphagnum fallax* (Trügerisches Torfmoos) und *Polytrichum strictum* (Moor-Widertonmoos, Steifblättriges Frauenhaarmoos) bei einem Hochmoor in der Schweiz (La-Chaux-des-Breuleux, Jura)

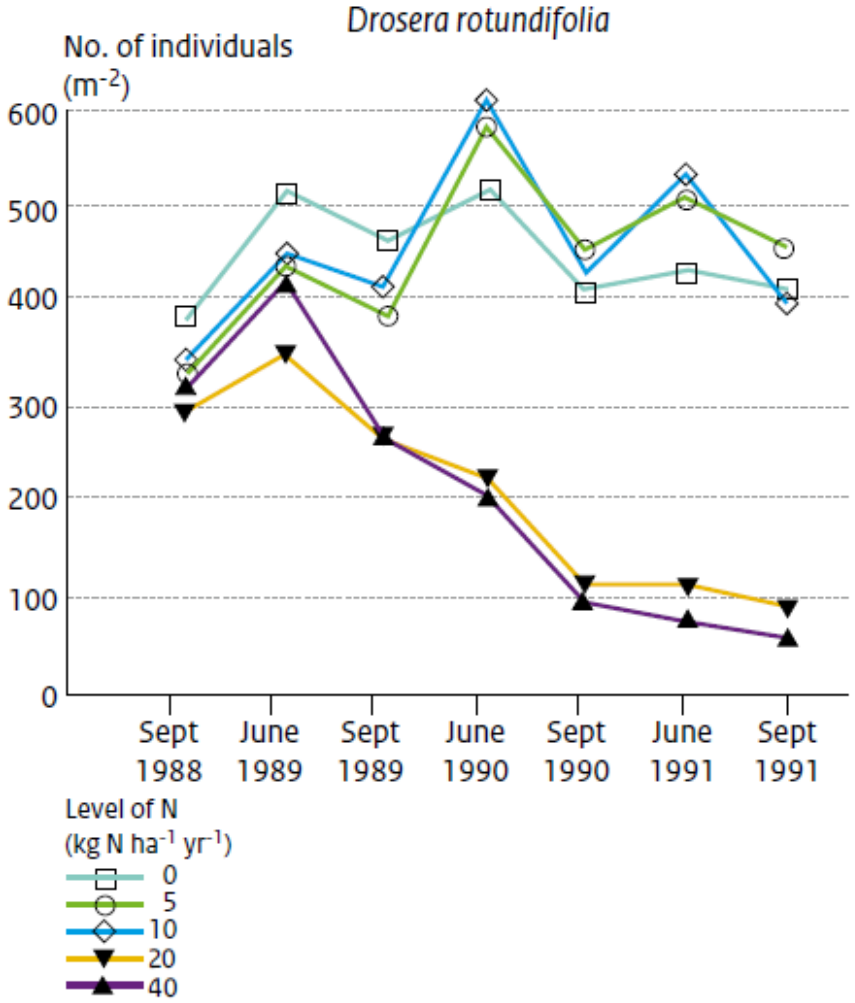
Wirkungsparameter	Auswirkung mit N-Gabe	Referenz ohne N-Gabe
Differenz Wuchshöhe (mm) *Polytrichum – Sphagnum*	 + 42%	 18 mm
Dichte (Anzahl m^{-2}) *Sphagnum* *Polytrichum*	 - 25% + 83%	 38’000 48’000
Deckungsgrad (% cover) *Sphagnum* *Polytrichum*	 - 24% + 46%	 86% 61%
Biomasse-Produktion (g m^{-2}) 1996-1998 *Sphagnum* *Polytrichum*	 - 48% + 74%	 539 g m^{-2} 535 g m^{-2}

Sphagnum fallax

Polytrichum strictum

Quelle: Mitchell et al. 2002

Untersuchung zu den Auswirkungen der N-Deposition auf Hochmoore in Schweden

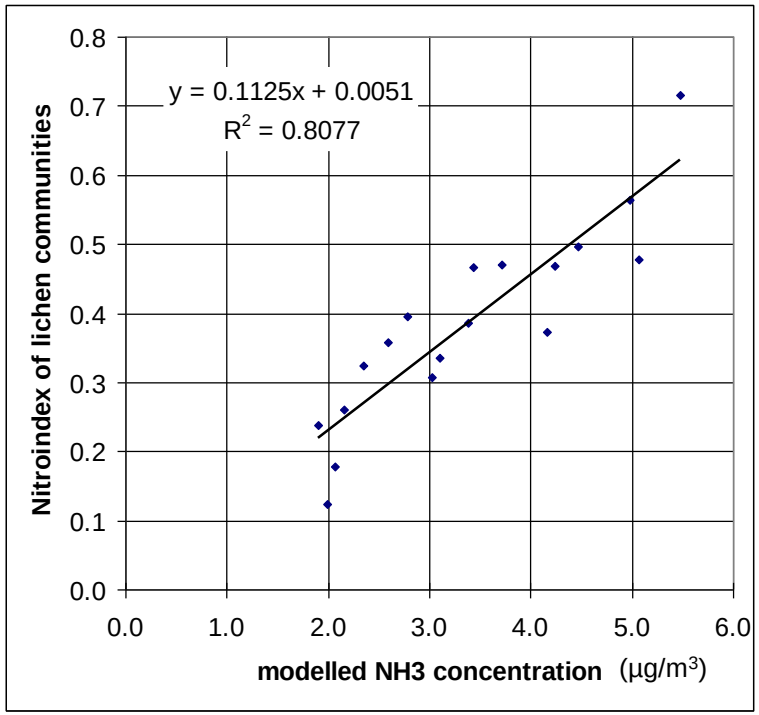


Stickstoffgaben über 4 Jahre und Auswirkungen auf das Vorkommen von *Drosera rotundifolia* (Rundblättriger Sonnentau) bei einem Hochmoor in Südschweden

Quelle: Redbo-Torstensson 1994

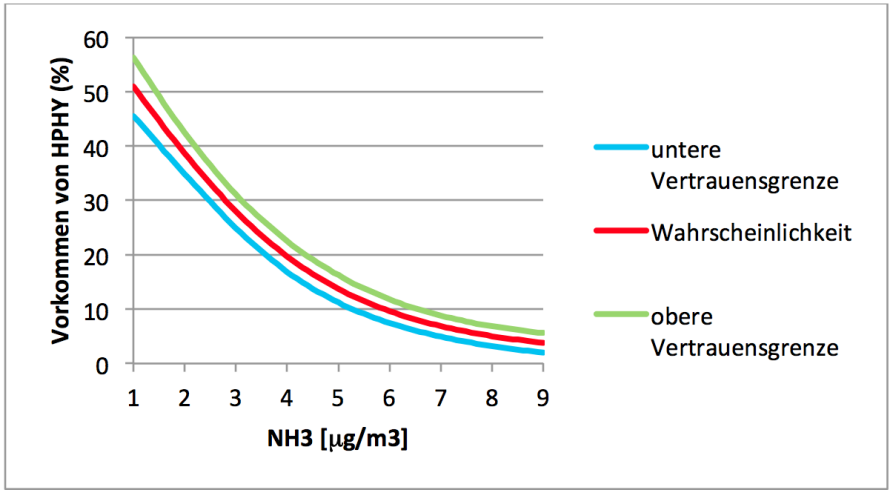
NH_3-Konzentration und Vorkommen von epiphytischen Flechtenarten in der Schweiz

Flechten-Nitroindex



Der Nitroindex besteht aus 4 anitrophilen und 5 nitrophilen Flechtenarten.
Höhere Nitroindex-Werte sind ein Indikator für stärkere Eutrophierung.

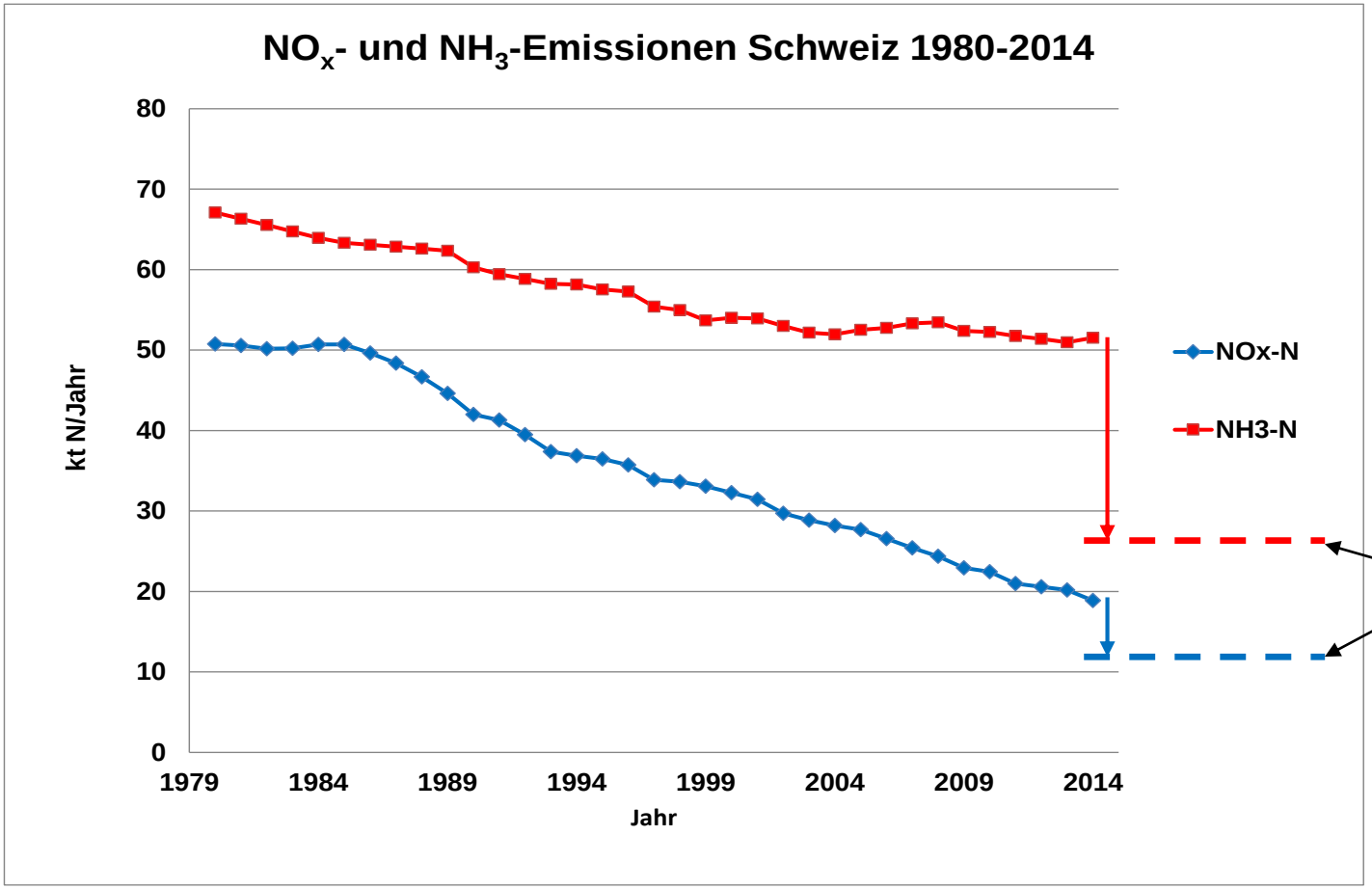
Hypogymnia physodes



Wahrscheinlichkeit des Vorkommens der typisch nitrophoben Flechte *Hypogymnia physodes* in % der Bäume, an denen die Flechte vorkommt, als Funktion der NH_3-Konzentration, unter Berücksichtigung weiterer Umwelteinflüsse.

Quellen: Rihm et al. 2009,
Urech et al. 2015
Flechtenmonitoring der Kantone

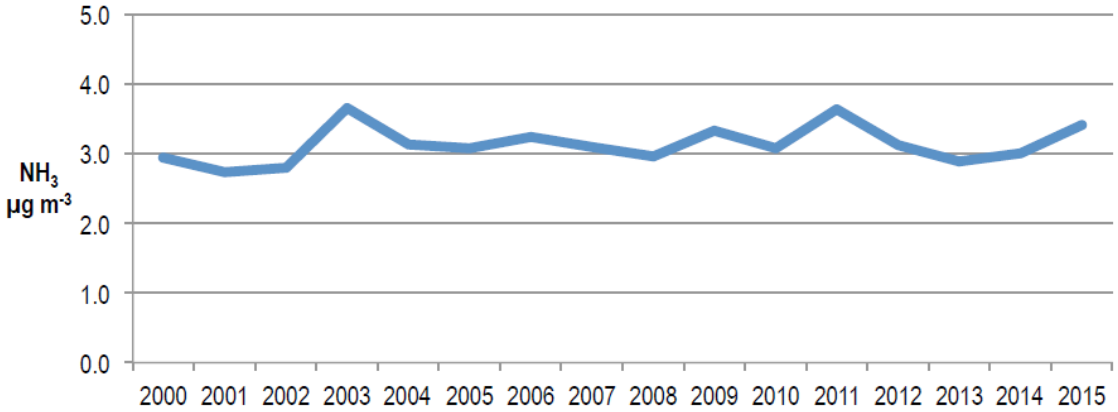
Entwicklung der Stickoxid- und Ammoniak-Emissionen in der Schweiz 1980-2014



LRK = Luftreinhalte-Konzept des Bundesrats von 2009

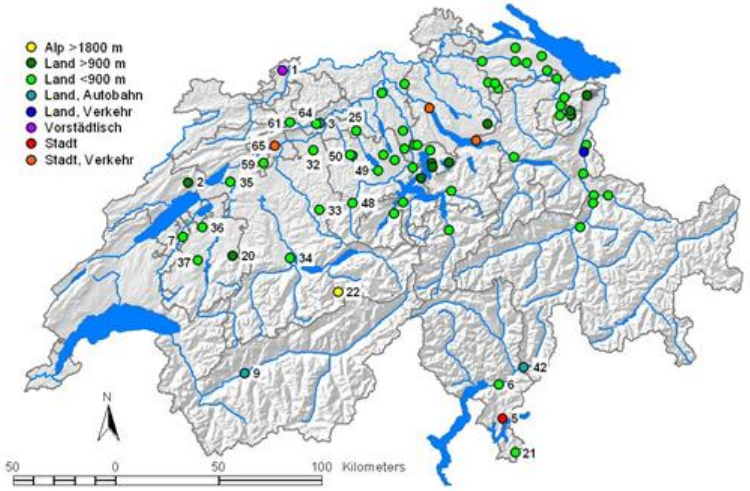
Verbleibender Handlungsbedarf bei Ammoniak ist heute deutlich grösser als bei Stickoxiden

NH_3-Immissionsmessungen bestätigen die Stagnation der NH_3-Emissionen seit 2000



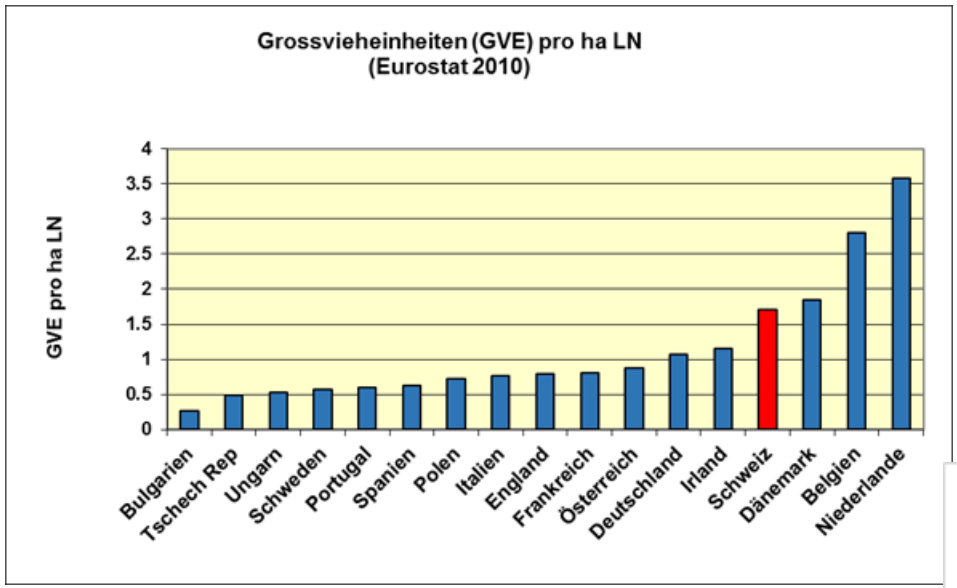
Mittelwert der Ammoniak-Konzentrationen von 16 Messstationen in der Schweiz, an denen seit 2000 durchgehend gemessen wird.

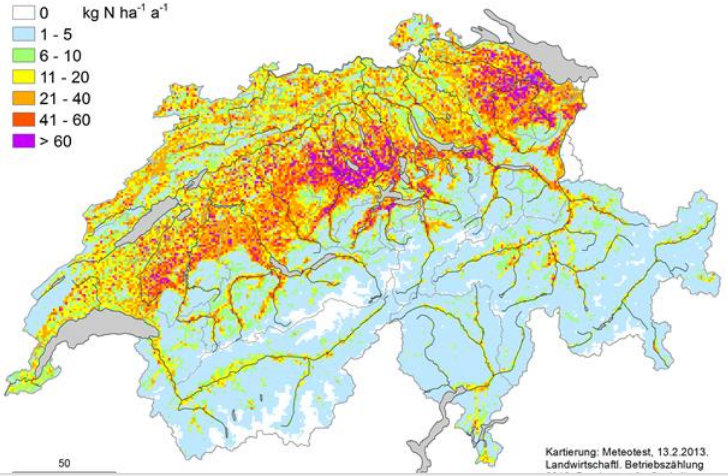
Charakteristik der 16 Standorte:
1 alpiner Standort > 1800 m ü.M.
4 ländliche Standorte > 900 m ü.M.
8 ländliche Standorte < 900 m ü.M.
1 ländlicher Standort nahe der Autobahn
1 vorstädtischer Standort; 1 städtischer Standort



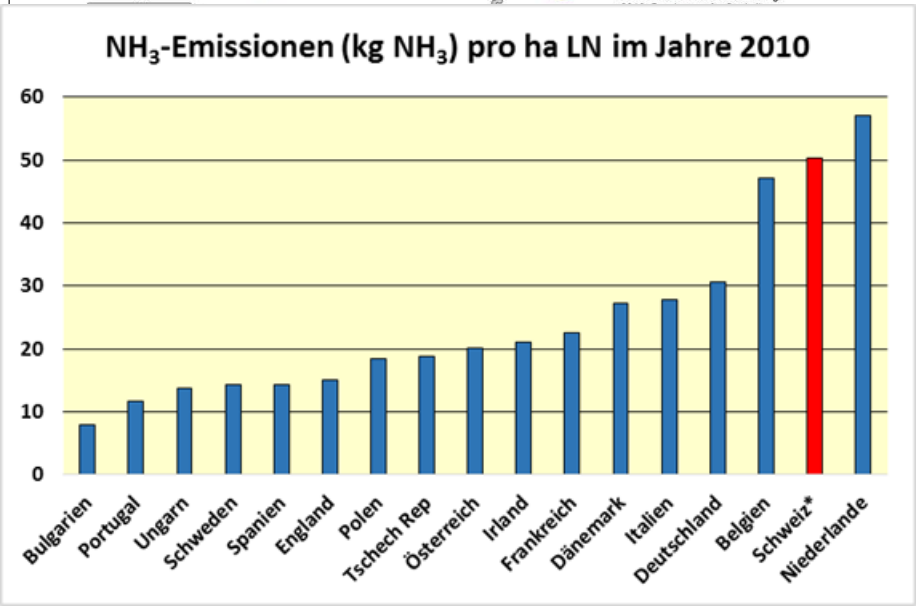
Quelle: fub 2016

Nutztierdichte und Ammoniak-Emissionen der Landwirtschaft im internationalen Vergleich





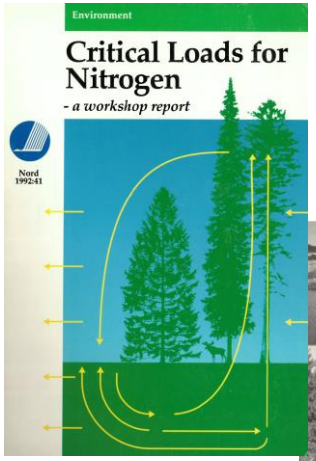
LN = Landwirtschaftliche Nutzfläche
*** Schweiz: 25% der Sömmerungsweideflächen als LN gezählt**



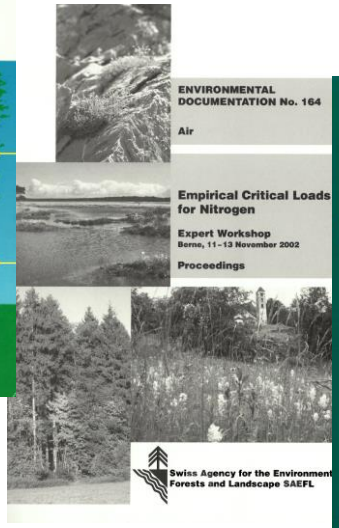
Die Landwirtschaft der Schweiz hat trotz vergleichbar hoher Tierdichte wie Dänemark deutlich höhere flächenbezogene Ammoniak-Emissionen.
In Dänemark sind die verfügbaren technischen Massnahmen zur Emissionsminderung viel stärker umgesetzt als in der Schweiz.

Quellen: Eurostat und BFS 2015
BAFU/Meteotest 2013

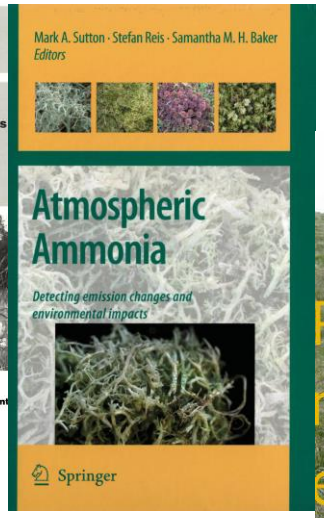
Dokumentation zur Problematik der hohen atmosphärischen N-Einträge (UNECE, EU)



1992

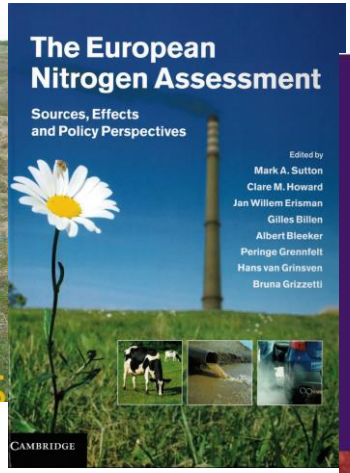


2002

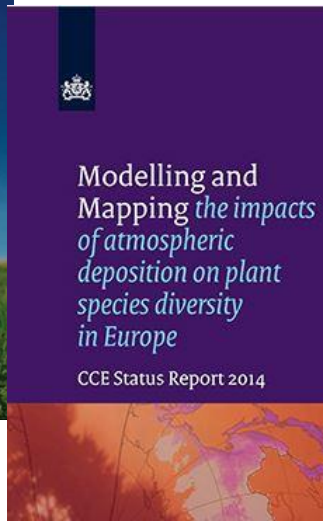


2006

2010



2011



2014