Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

2. Projektbegleit-AK GROWA+ NRW 2021

Stickstoff-Deposition in Deutschland 2000-2015

Markus Geupel
Fachgebiet II 4.3
Luftreinhaltung & terrestrische Ökosysteme

Mit Unterstützung / Folien von:
TNO: Carlijn Hendriks, Martijn Schaap
Thünen: Andreas Schmitz

Gliederung

1 AUSGANGSLAGE
2 METHODIK
3 ERGEBNISSE
4 EVALUIERUNG
5 ANWENDUNG
6 AUSBLICK, NÄCHSTE SCHRITTE

Limitierendes Element: Eutrophierung durch Stickstoffeinträge

[1] Heiden auf sandigen Böden (Calluna-Heiden)
Foto ©: Maren Meyer-Grünefeldt

[2] Halbtrockenrasen auf karbonatischem Untergrund
Foto ©: Bundesamt für Naturschutz

[3] Birken-Eichenwald feuchter bis frischer Standorte
Foto ©: Fabian Wankmüller

[4] Sandtrockenrasen
Foto ©: Robin Schmidt

GEFÄHRDUNGSURSACHE

- Rote Liste Pflanzenarten, Standortveränderungen durch Nährstoffeinträge
- Rote Liste Biotoptypen, Standortveränderungen durch Nährstoffeinträge

Beispiele für gefährdete Biotoptypen: Halbtrockenrasen auf karbonatischem Untergrund

BfN (aus Umweltbundesamt (2011). Stickstoff - Zuviel des Guten? G. Schütze and M. Geupel. Dessau-Roßlau, Umweltbundesamt.)

Beschreibung

Sekundäres, durch extensive Bewirtschaftung entstandenes trockenes Grünland auf i.d.R. flach- bis mittelgründigen Standorten mit Schwerpunkt an südexponierten Hängen oder auf trockenen Kuppen. Besonders artenreich in den südwestdeutschen Kalkgebieten entwickelt, nach Norden deutliche Arten-Verarmung. Traditionelle Bewirtschaftung regional unterschiedlich, einmalige Mahd oder extensive Beweidung durch Schafe.

Pflanzensoziologische Einheiten	Rote Liste	Critical Load	Code	FFH	EUNIS
Trespen-Halbtrockenrasen *Bromion erecti Br.-Bl. & Moor 36* Kalkblaugras-Halbtrockenrasen *Seslerio-Mesobromion Oberd. 57*	Rote Liste Deutschland – stark gefährdet Schwer regenerierbar	15 – 25 ## (E1.26)	34.02.01	5130 *6110 *6210	E1.2

Limitierendes Element: Eutrophierung durch Stickstoffeinträge
Profiteure unter den Pflanzenarten

[1] Brennnessel (Urtica dioica)

Foto ©: Brennnessel at Burg Isenberg, Hattingen, Photo by Simplicius, 2004, GNU/FDL, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brennnessel.jpg

[2] Dichter (untypischer) Brombeerunterwuchs in Kiefernforst

Foto ©: Markus Geupel

[3] Dichter (untypischer) Holunderunterwuchs in Kiefernforst

Foto ©: Gerhard Hofmann, Eberswalde

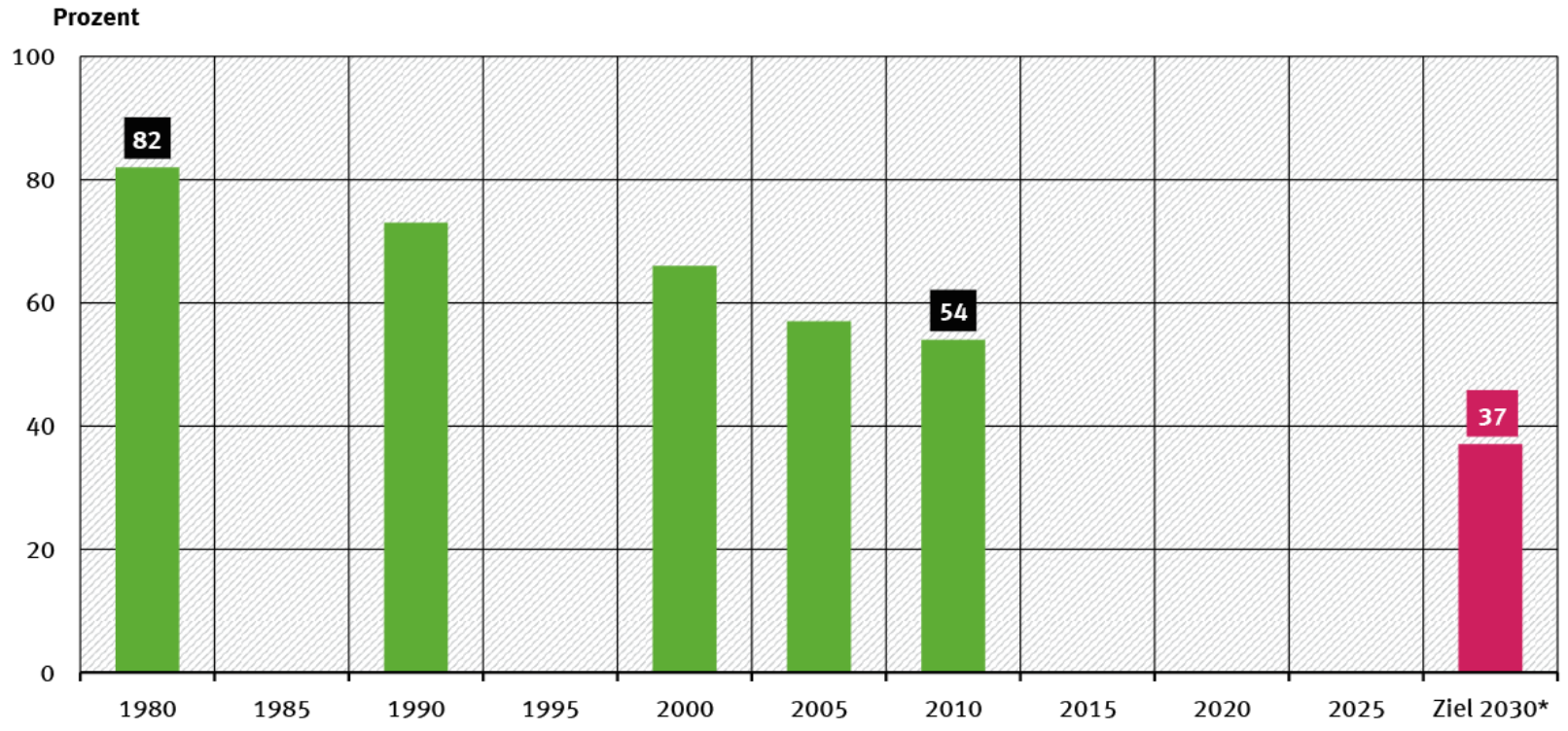
[4] Knoblauchsrauke

Foto ©: Knoblauchsrauke (Alliaria petiolata), Fotografin: Anke Hüper, Karlsruhe, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Knoblauchsrauke01.jpg

Indikator: Zeitreihe der Critical Loads Überschreitungen mit international modellierter Stickstoffdeposition von EMEP

Nachhaltigkeits- & Biodiversitätsstrategie der Bundesregierung

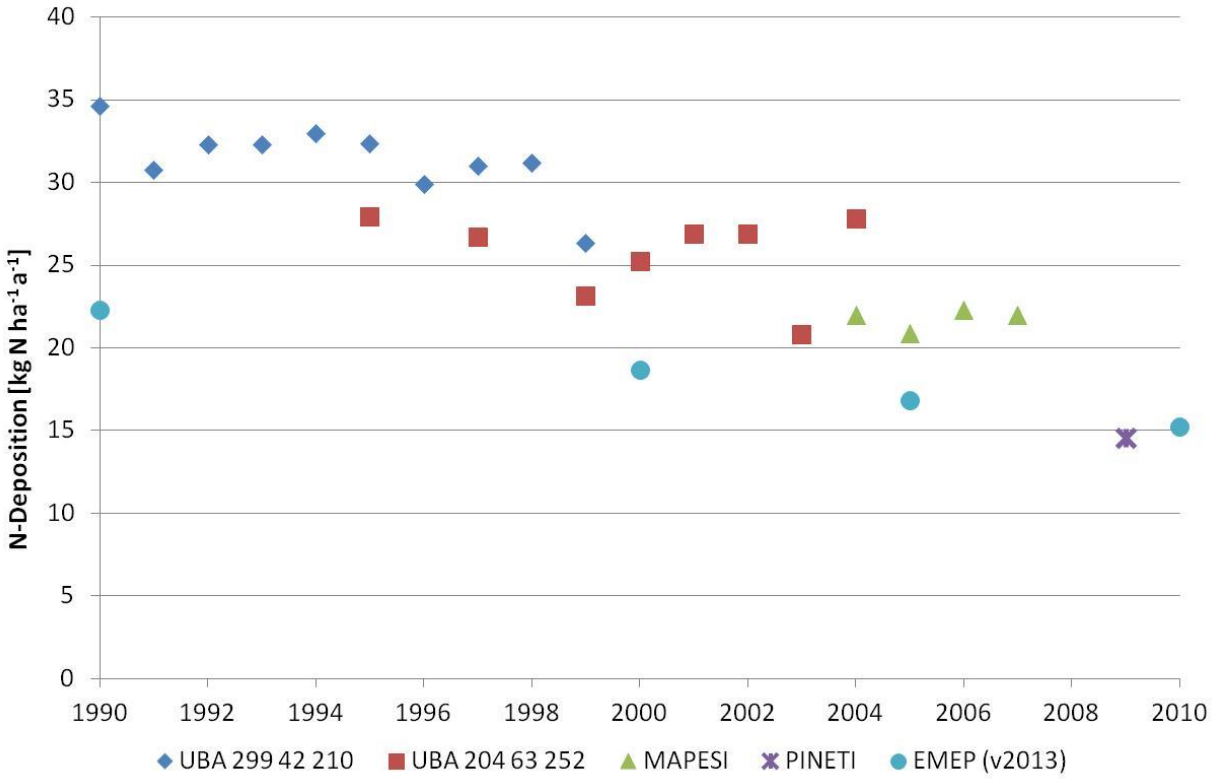
Anteil der Fläche empfindlicher Land-Ökosysteme mit Überschreitung der Belastungsgrenzen für Eutrophierung



* Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung: Der Anteil der Flächen, die von zu hohen Stickstoffeinträgen betroffen sind, soll zwischen 2005 und 2030 um 35 % sinken. Bei einem Wert von 57 % im Jahr 2005 ergibt sich für 2030 ein Zielwert von 37 %.

Quelle: Europäische Umweltagentur (EEA), Technical Report No.11, 2014

Bisher keine methodisch kontinuierliche Zeitreihe Deposition



Die Berechnungen wurden bisher in unabhängigen Forschungsvorhaben durchgeführt.

Verbesserungen konnten sukzessive integriert werden

Immer nur für Einzeljahre oder kurze Zeitreihen

Rückgerechnete (konsistente) EMEP-Zeitreihe zum Vergleich

Deutschlandweite Depositions-Modellierung mit LOTOS-EUROS

„Fortschreibung und Weiterentwicklung der Methode zur Erfassung und Bewertung der Einträge von versauernden und eutrophierenden Luftschadstoffen in terrestrische Ökosysteme“
FKZ 3714 64 2010, Laufzeit 03/15 – 10/17
PINETI - Projektreihe
PINETI-3, Pollutant INput an EcosysTem Impact

Projektdurchführung, herzlichen Dank!

TNO innovation for life | TrUmF | PINETI

Ergebnisse

- Zeitreihe 2000-2015
- Deposition NH_x, NO_y , N_{ges}
- Mittlerer Zeitpunkt („mittleres Bezugsjahr“) für Genehmigungsverfahren
- Immissionskarten

Vorstellung der Ergebnisse beim Fachgespräch am 24.10.2017 im UBA Dessau:
https://clous.uba.de/index.php/s/y37H6w6r2ADZigz

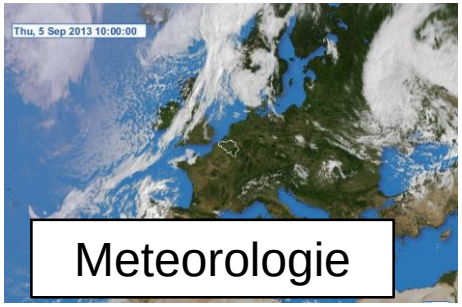
Grundlagen der UBA-Methodik

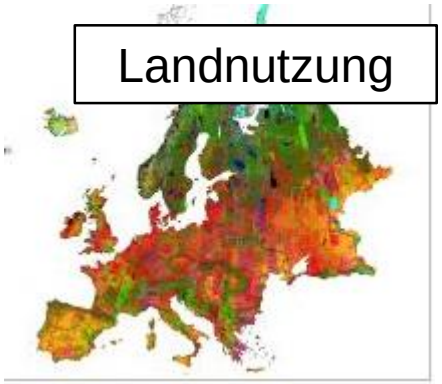
Depositionsfluss	Modellierung	Räumliche Auflösung	Anteil (2009)
Nass	Geostatistik mit Messwerten der nassen Deposition	1*1 km²	54 %
Trocken	Widerstands-Modell LOTOS-EUROS	7*7 km²	45%
Feucht	Wolkenwassereintrag (empirisches Verfahren)	7*7 km²	<1%
Gesamt	Geostatistische Anpassung der Rasterauflösung	1*1 km²	100 %

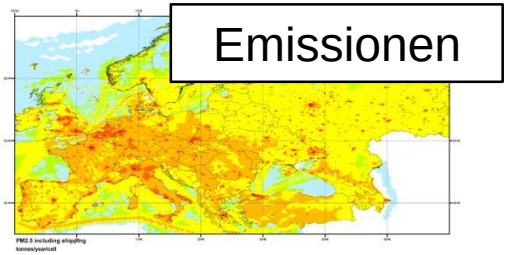
Die atmosphärische Deposition wird für die drei Eintragspfade separat ermittelt.

- Verfügbarkeit von Messwerten
- Prozesskenntnisse mit Hilfe von Modelle
- Modelle ermöglichen Szenarienrechnungen zur Definition von Minderungsstrategien

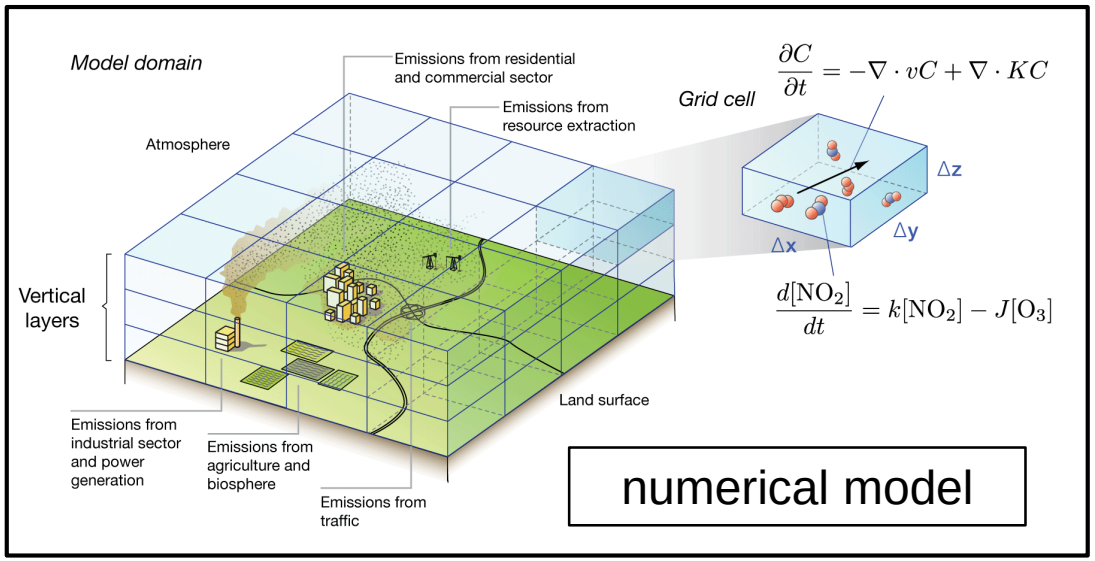
LOTOS-EUROS

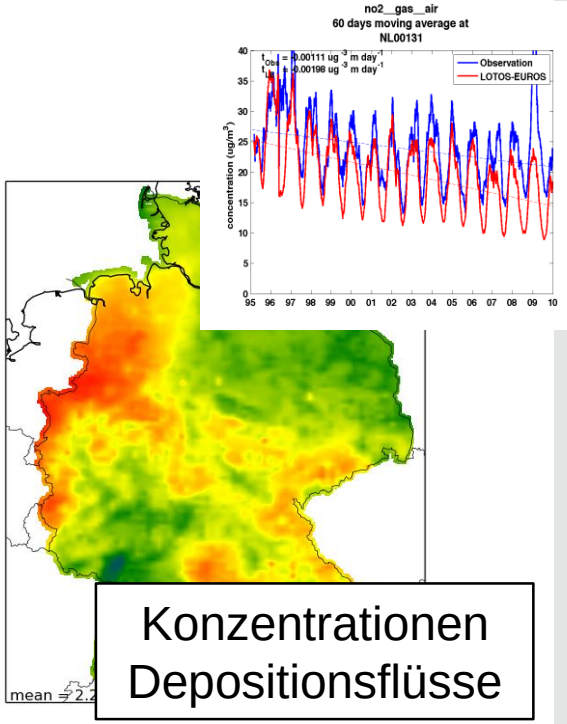

Thu, 5 Sep 2013 10:00:00
Meteorologie


Landnutzung


Emissionen

...


Model domain
Emissions from residential and commercial sector
Emissions from resource extraction
Atmosphere
Grid cell
$\frac{\partial C}{\partial t} = -\nabla \cdot vC + \nabla \cdot KC$
Δz
Δy
Δx
Vertical layers
$\frac{d[NO_2]}{dt} = k[NO_2] - J[O_3]$
Land surface
Emissions from industrial sector and power generation
Emissions from agriculture and biosphere
Emissions from traffic
numerical model

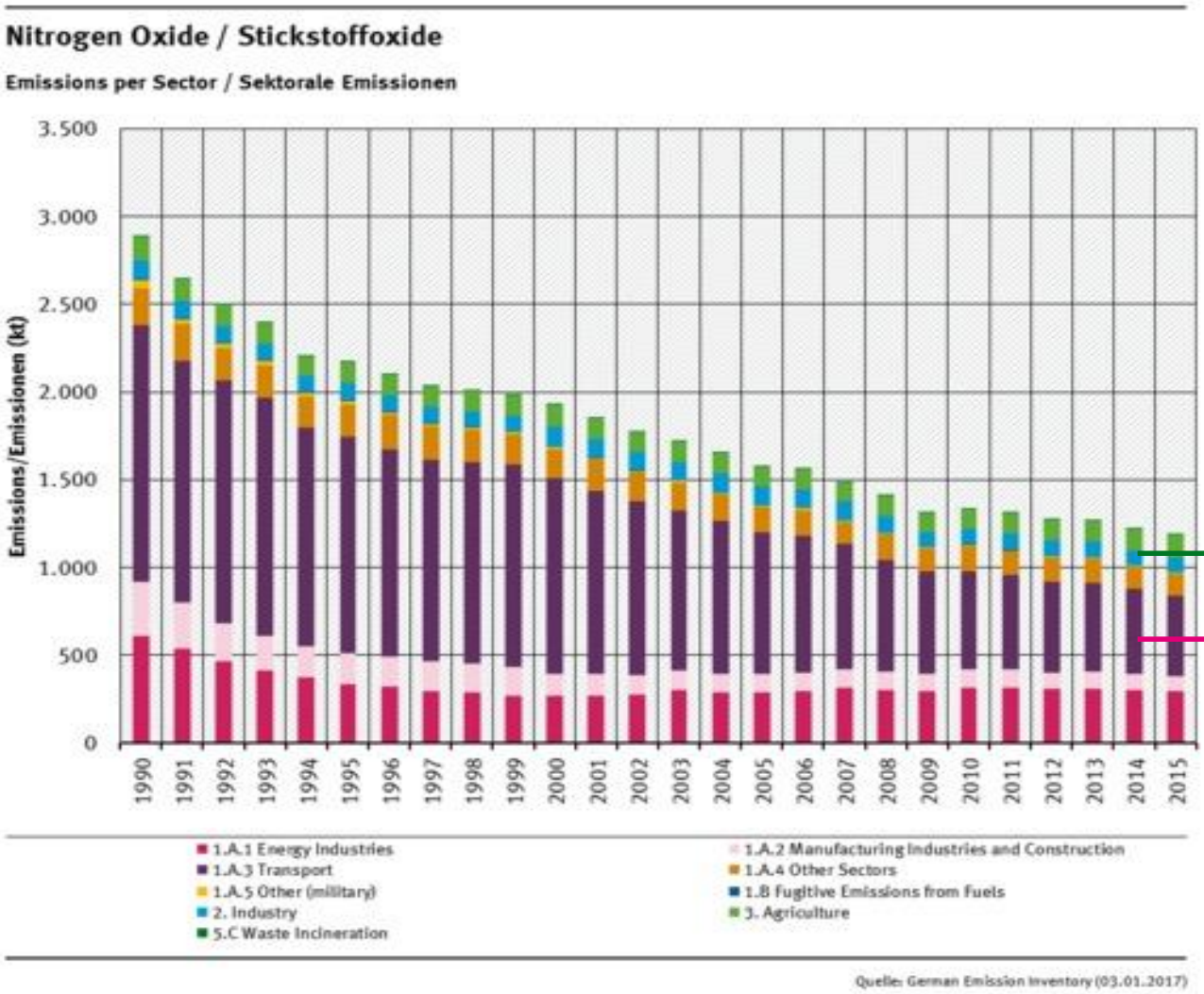

no2__gas__air
60 days moving average at
NL00131
Observation
LOTOS-EUROS
concentration (ug/m3)
mean = 2.2
Konzentrationen
Depositionsflüsse

LOTOS-EUROS

Methodische Grundlagen, leicht verändert gegenüber PINETI-2

- ECMWF-Meteorologie, aktuelle Daten
- GRETA – Emissionen (Submission 2017); vorher PAREST-Emissionen
- TNO-MACC-III – Emissionen (2016)
- Jahresgang der Ammoniak-Emissionen
- Kompensationspunkt
- Einzelne Bug-fixes im LOTOS-EUROS Modell
- Rauigkeit von Agrarland im Winter nach unten angepasst
- www.lotos-euros.nl

Stickstoffoxidemissionen in Deutschland seit 1990

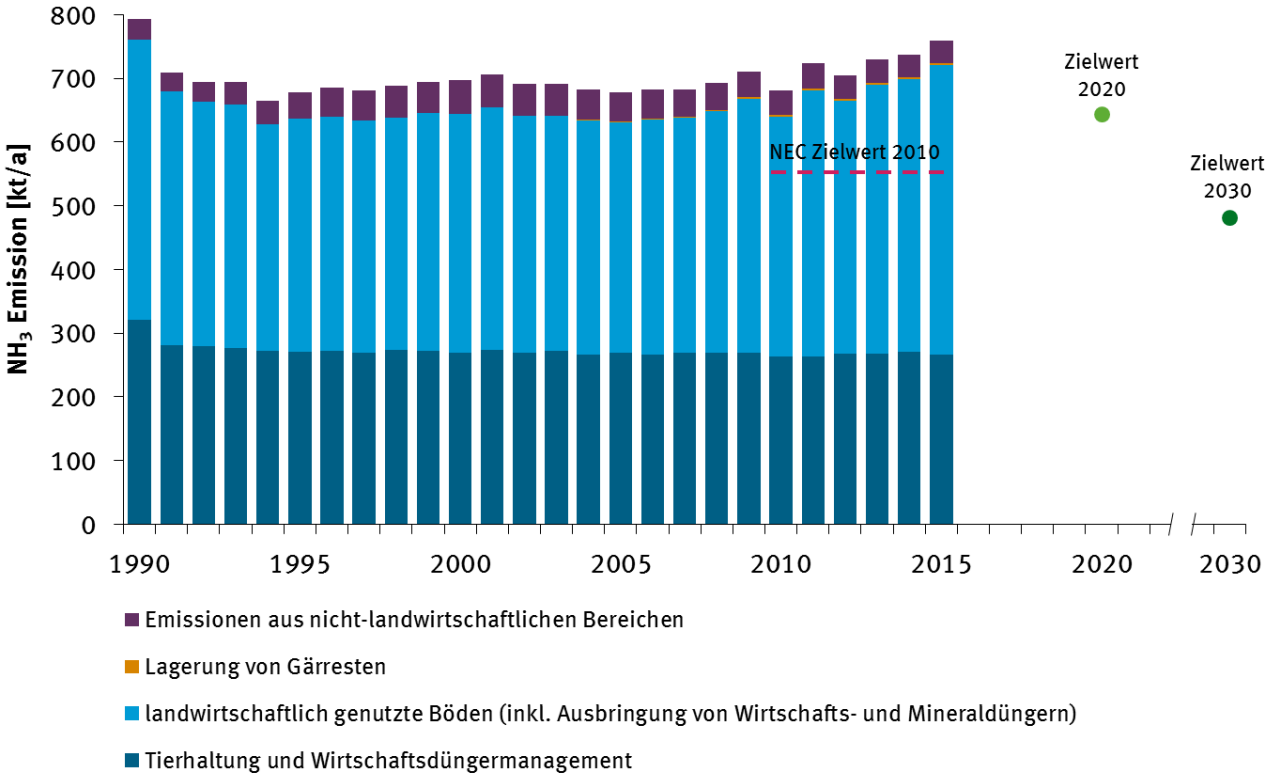


- 60 % Verminderung seit 1990
- 90 % Verbrennung von Brennstoffen
- Transportsektor (- 70 %) und Energieproduktion (-50%) sind die größten Emittenten

1051 kt seit 2010

- 65 % ab 2030 gegenüber 2005

Ammoniakemissionen in Deutschland seit 1990



- 759 kT im Jahr 2015
- 95 % entstehen in der Landwirtschaft
- Verringerung der Emissionen aus der Tierhaltung wegen Rückgang der Rinderbestände.
- Steigerung der Emissionen aus Mineraldüngung wegen Zunahme an Harnstoffdünger
- Ziel der NEC-Richtlinie (550 kt) wurde deutlich verfehlt.
- Neue Zielwerte aus NERC-Richtlinie sind relative Reduzierungsverpflichtungen:
  - 2020: 5% gegenüber 2005
  - 2030: 29% gegenüber 2005

Änderungen im Emissionsinventar

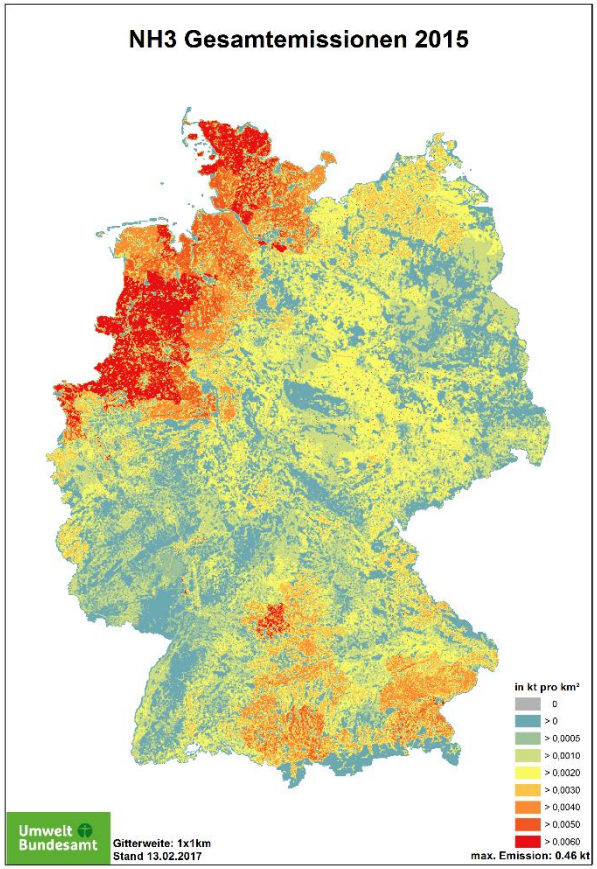
Submission 2015: Emissionsfaktors für Harnstoff → circa + 70 kt im Sektor „Mineraldüngerausbringung - 3Da1“

Submission 2016: Gärrestelagerung (3I) und –ausbringung (3Da2c) neu im Inventar → ca. + 52 kt

Submission 2017: Separate Erfassung der Wirtschaftsdüngerausbringung in 3Da2a (vorher in den Sektoren der Tierkategorien 3Bx erfasst)

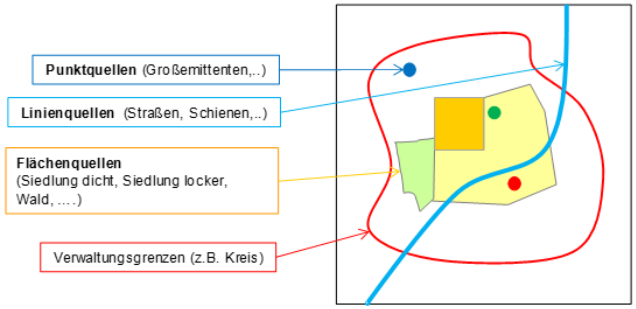
Submission 2018: Erneute Änderung des Emissionsfaktors für Harnstoff erwartet

Räumliche Verteilung der Emissionsjahreswerte nach Quellgruppen



GRETA –Gridding Emission Tool for ArcGIS

https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/arcgis-basierte-loesung-zur-detaillierten



Grundlagen-Daten

- ZSE-Emissionen
- PRTR-Emissionen
- Landkreis-Emissionen – Thünen Institut
- CORINE Landcover
- Beschäftigungsstatistiken
- Verkehrsdaten
- etc.

Verbesserung der räumlichen Struktur der Emissionen

Trockene Deposition

Widerstandsmodell:

R_a = atmosphärischer Widerstand
R_b = Grenzschichtwiderstand
R_c = Oberflächenwiderstand
V_d = Depositionsgeschwindigkeit

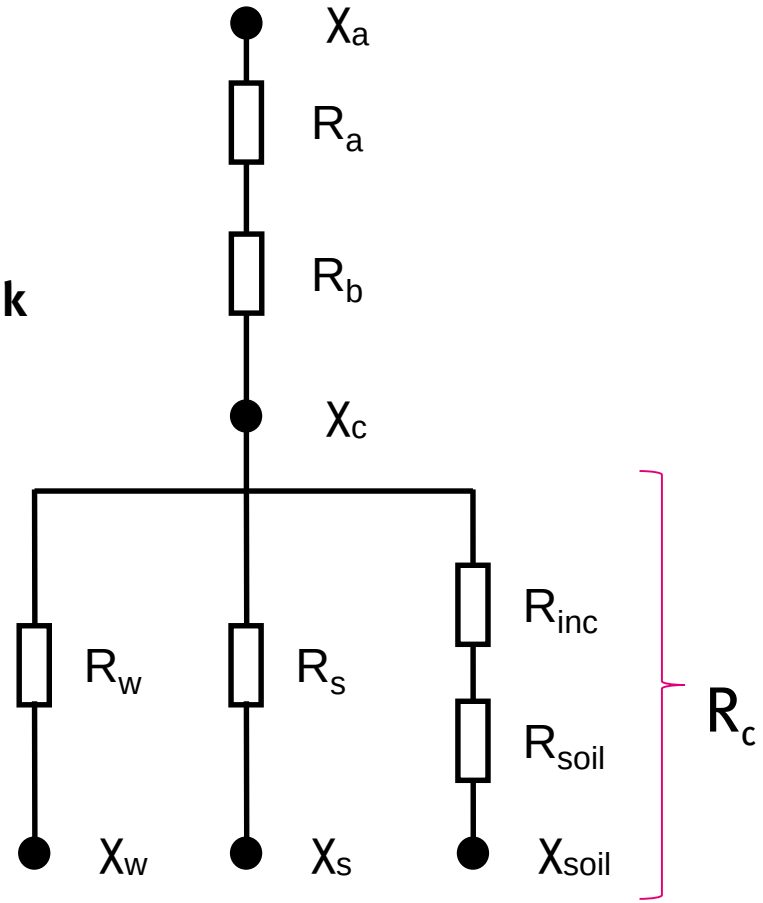
Stoff- und Landnutzungsabhängige Parametrik

$$V_d = \frac{1}{R_a + Rb + Rc}$$

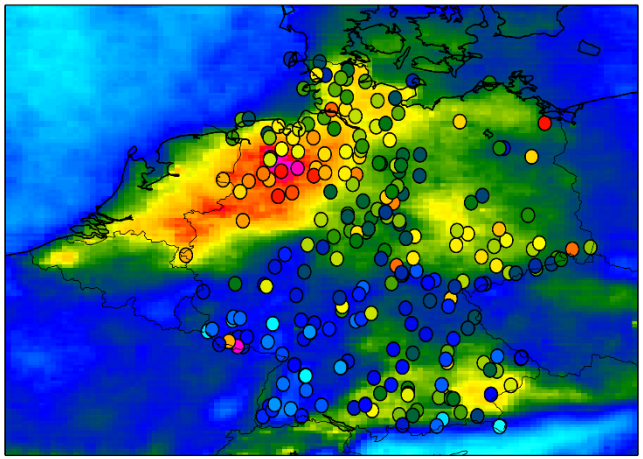
Depositionsfluss (F):

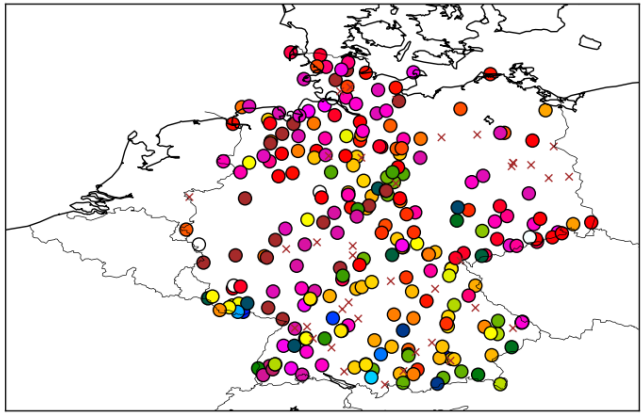
$$F = Vd * C_{atm}$$

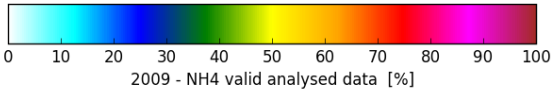
Depositionsmodul DEPAC 3.11



Nasse Deposition





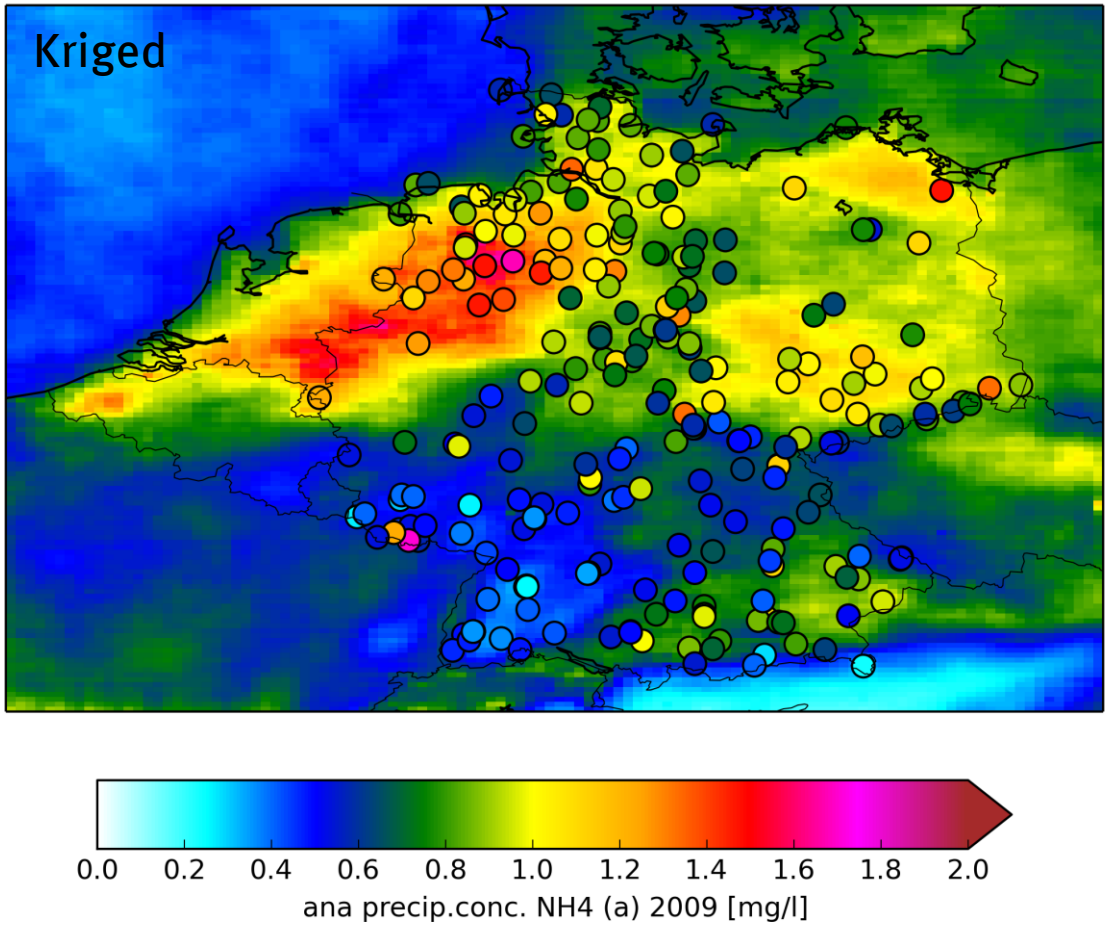


- Modellierte Konzentration im Niederschlag
- Residual Kriging mit gemessener Konzentration im Niederschlag
- Depositionsfluss mit DWD-Niederschlagsdaten

- Messdaten nasse Deposition
- Länderdaten → herzlichen Dank für die gute Zusammenarbeit
- Ca. 300 Stationen aus
  - Forstlichem Umweltmonitoring
  - Immissionsmessnetz
  - Hydrologischen Messnetz

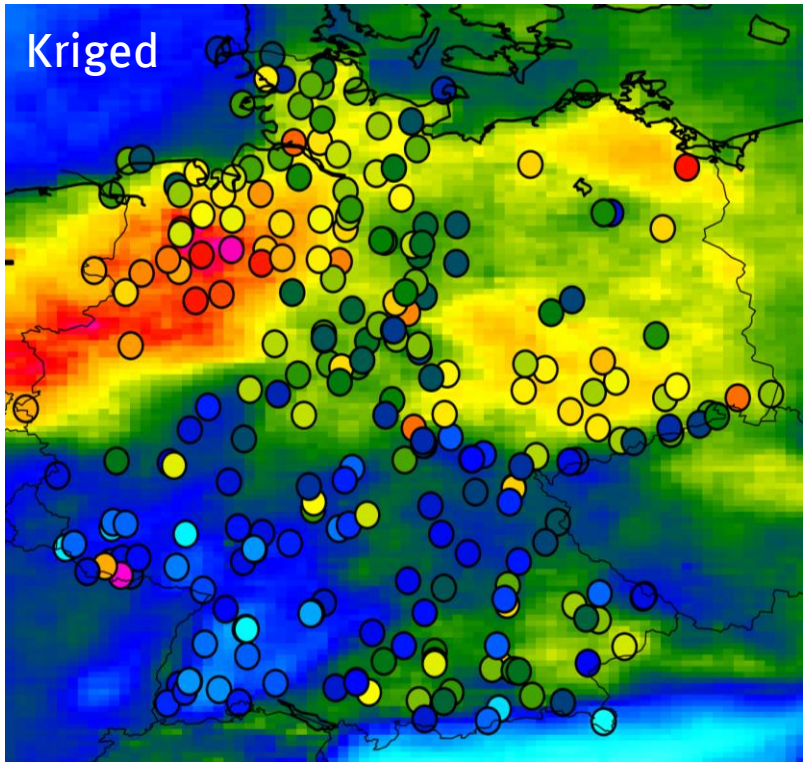
Nasse Deposition

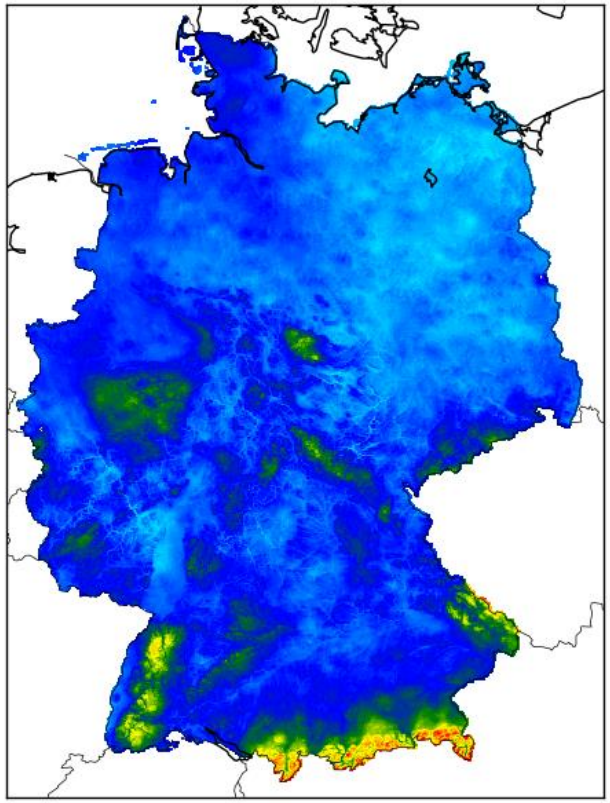
NH_4 Regenwasserkonzentrationen - Einfluss der Messdaten

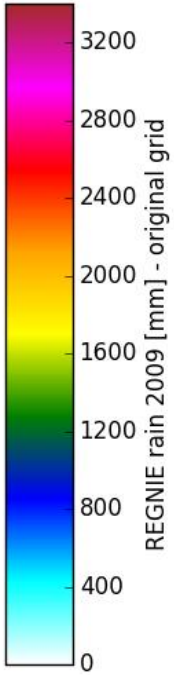


Nasse Deposition

Nasse Deposition = Wasserkonzentration * Niederschlag





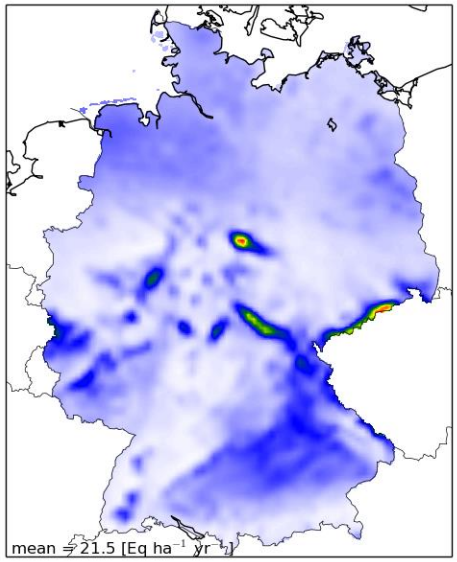


DWD-REGNIE 1x1 Km²

Feuchte Deposition

$$F_{feucht} = F_{wolkenwasser} * C_{ww}$$

DEPOSITION VON WOLKENWASSER



ANSATZ VON KATATA ET AL. (2009; 2011) ANHAND COSMO-EU DATEN

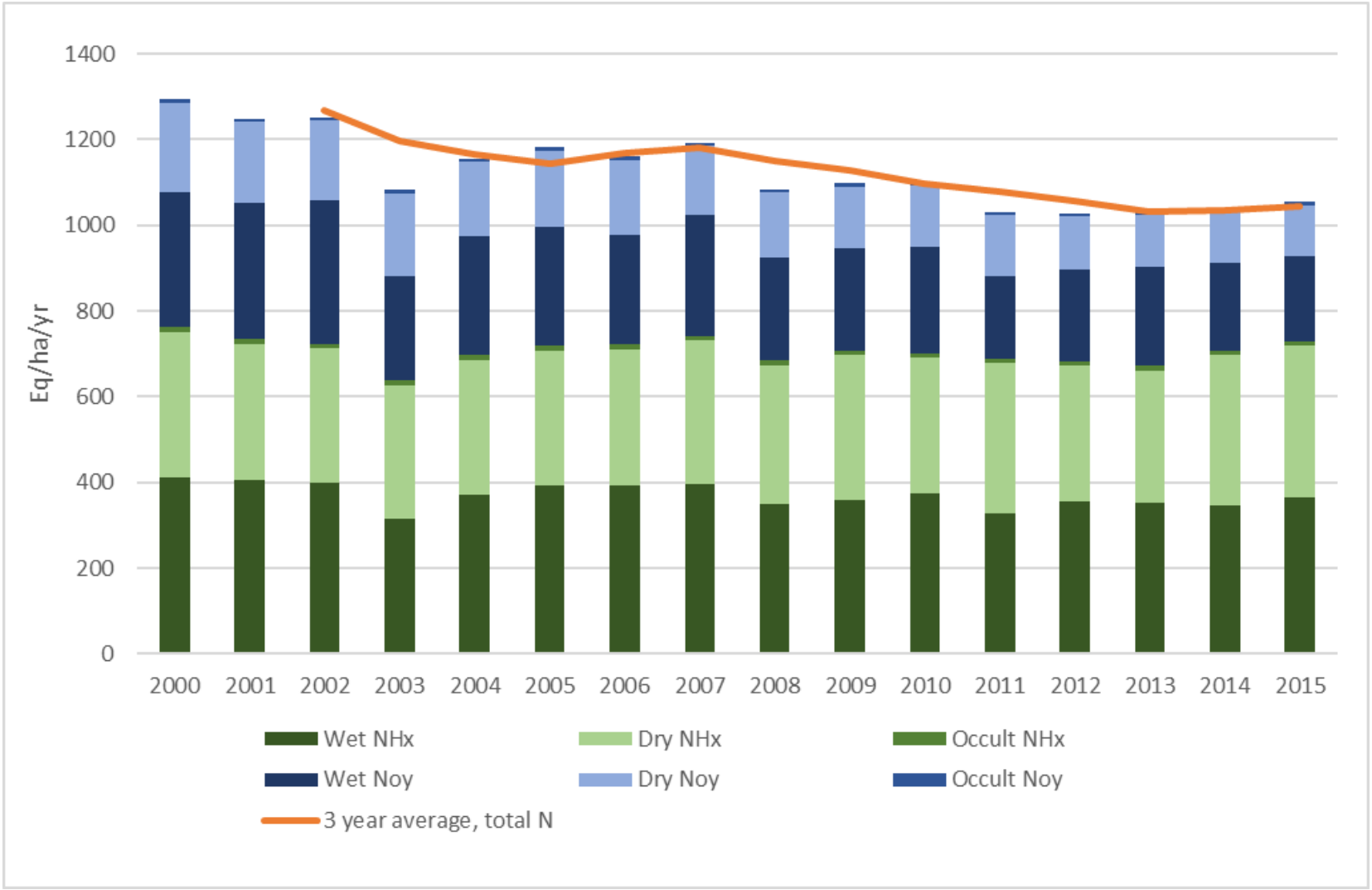
- abhängig vom Blattflächen-Index (LAI)
- für Wald-Landnutzungsklassen

SCHADSTOFFKONZENTRATION IM WOLKENWASSER

$$C_{ww} = C_{niederschlag} * EF$$

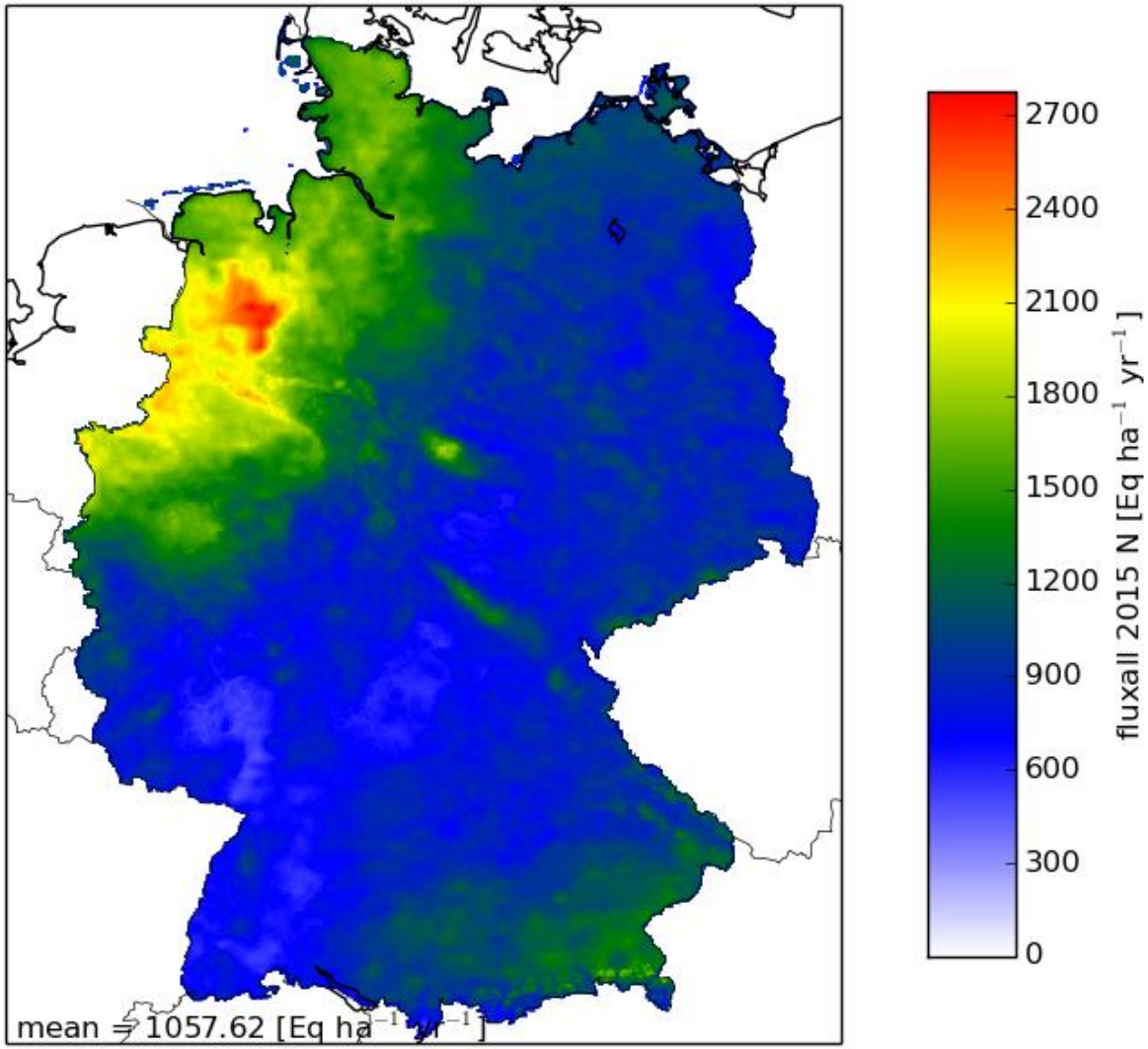
Species	Enrichment Factor (EF)
SO_4^{2-}	7.0
NO_3^-	8.6
NH_4^+	9.2

Modellierte Stickstoffdeposition PINETI-3 Projekt



Modellierte Stickstoffdeposition PINETI-3 Projekt - Landnutzungsmosaik

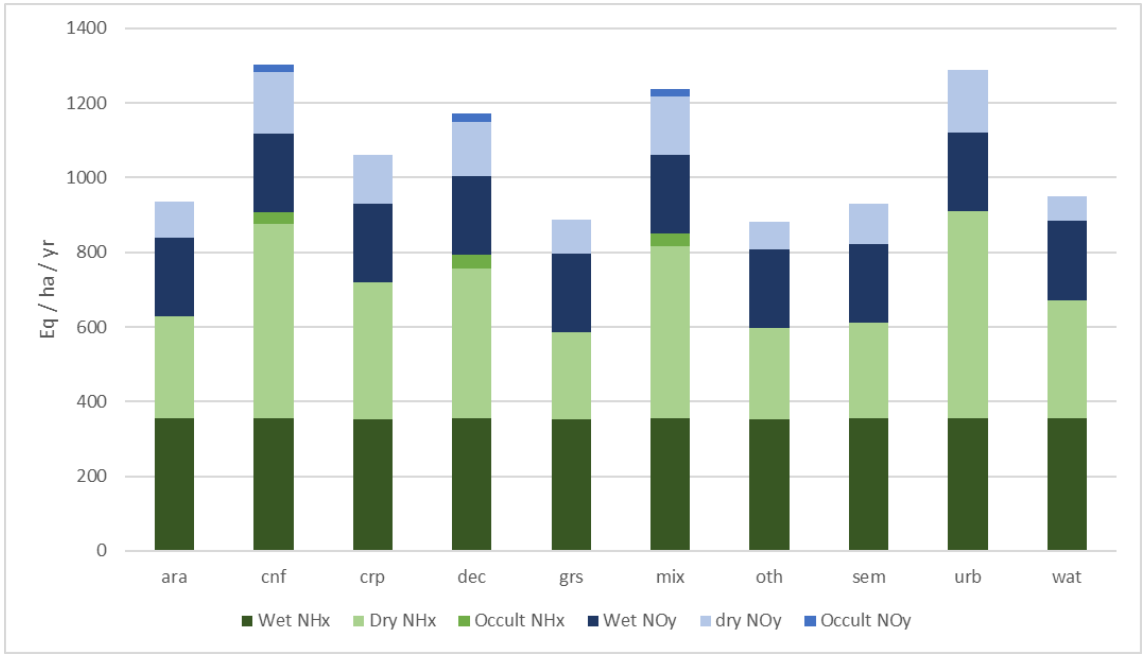
$NH_X = 2/3$
$NO_Y = 1/3$



Modellierte Stickstoffdeposition PINETI-3 Projekt - Landnutzungsabhängig

Landnutzungs-klasse	Englischer Name (Abkürzung)
Wiesen und Weiden	Grassland (grs)
Ackerland	Arable land (ara)
Mischwald	Mixed forest (mix)
Nadelwald	Coniferous forest (cnf)
Laubwald	Deciduous forest (dec)
Wasserflächen	Water (wat)
bebautes Gebiet	Urban area (urb)
semi-natürliche Vegetation	Semi-natural vegetation (sem)
Dünen und Felsfluren	Other (oth)
Dauerkulturen	Crops (crp)

MITTELWERTE 2013-2015



- Unterschiede auf Grund unterschiedlicher Parametrik (trocken und feucht)
- Landnutzungsspezifische Datensätze verfügbar
- Zuordnung zur tatsächlichen Landnutzung möglich

Modellierte Stickstoffdeposition PINETI-3 Projekt - Rasterdatensätze

- Ergebnisse liegen als Rasterdatensätze vor
- Für alle Landnutzungsklassen
- Für alle Depositionspfade
- Für alle Schadstoffe
- Für alle Jahre

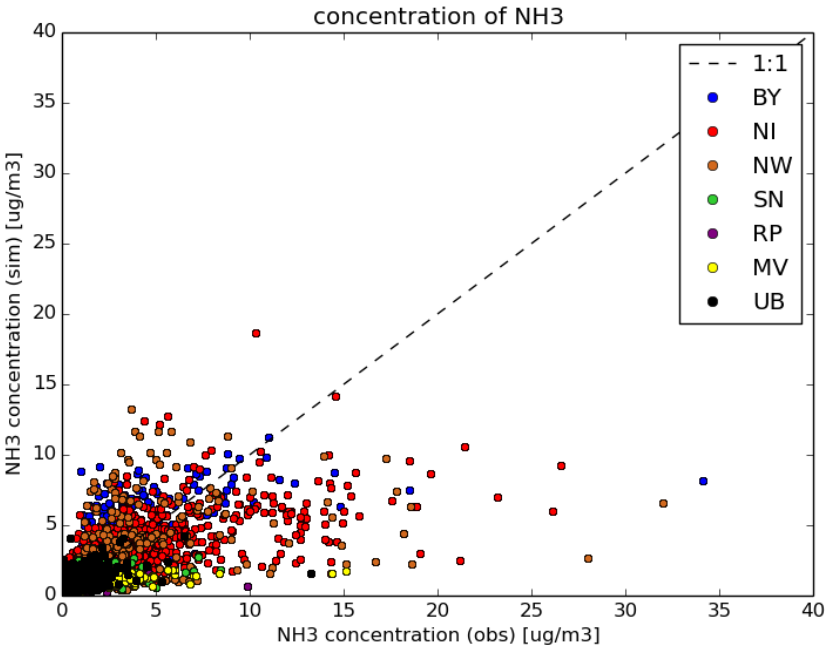
→ können beim UBA bestellt werden
→ Regionalspezifische GIS Auswertung durch Nutzer

Evaluierung gegen NH_3-Konzentrations-Messdaten (2002-2014)

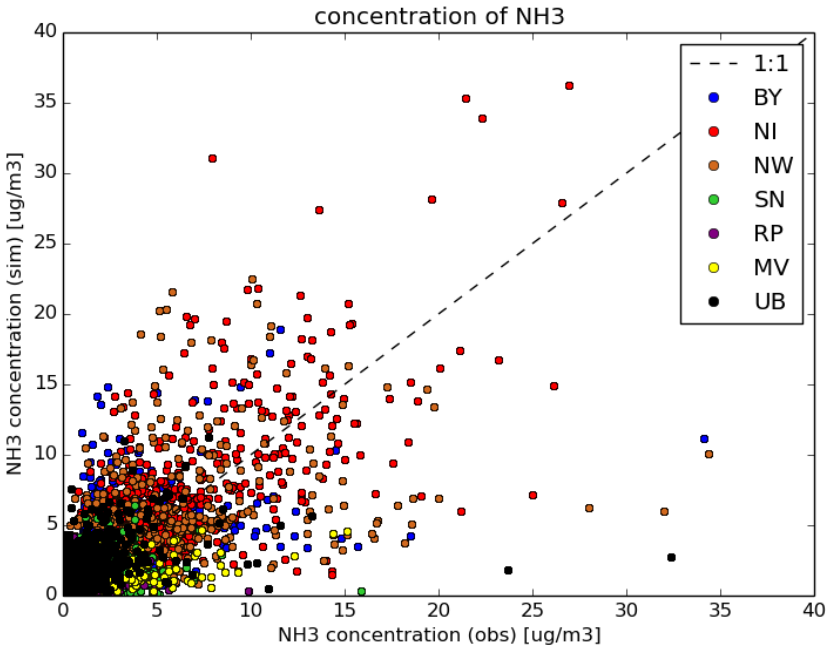
Jahresmittelwerte (Messdaten aus unterschiedlichen Messnetzen):

→ Die veränderte räumliche Struktur der Emissionen (GRETA) führt zu einer Verbesserung der Korrelation

PINETI-2



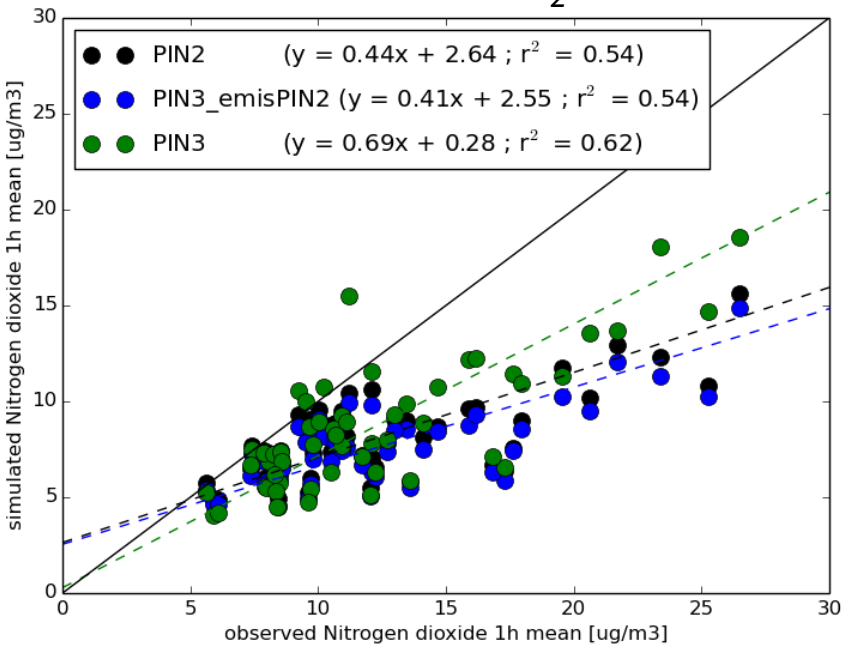
PINETI-3



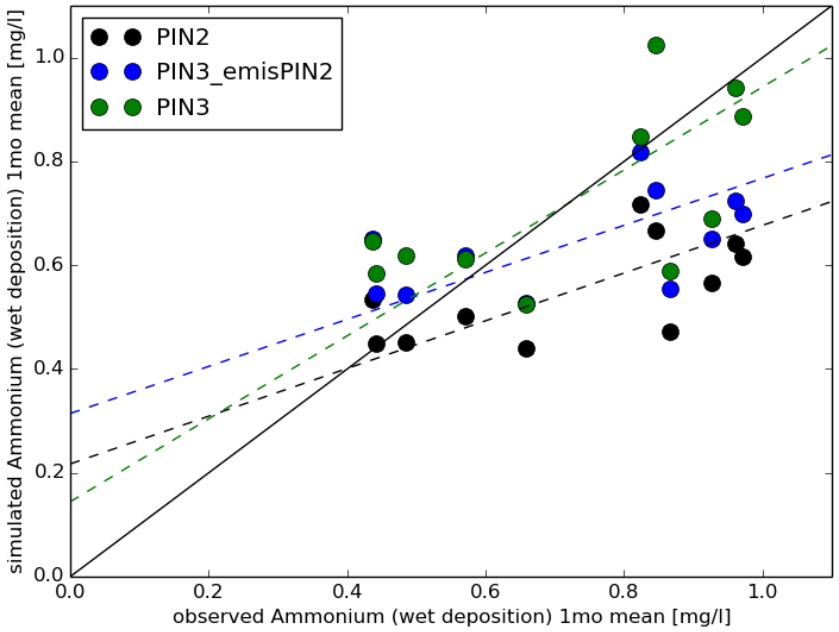
Evaluierung mit weiteren Messdaten

Verbesserung der Korrelation

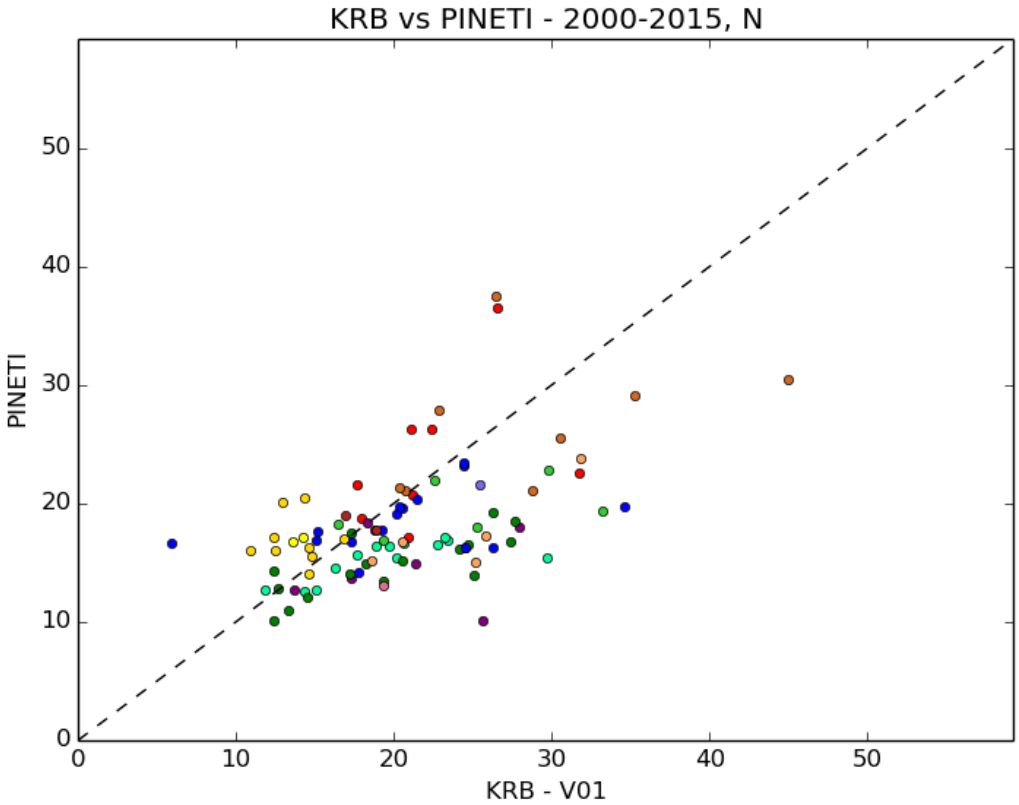
Stundenmittel NO_2

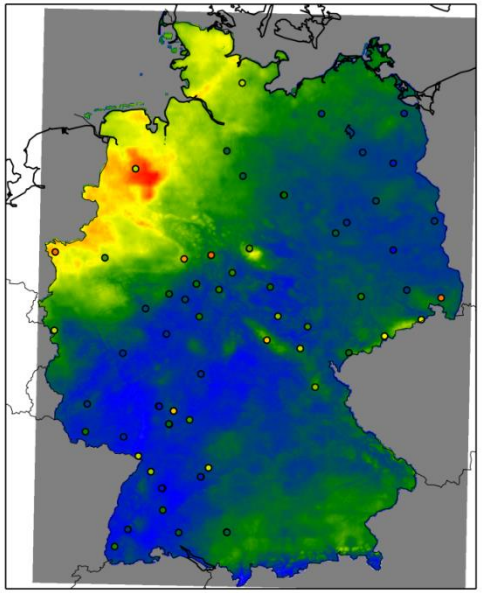


Monatsmittel NH_4^+



Evaluierung mit Kronenraumbilanzen



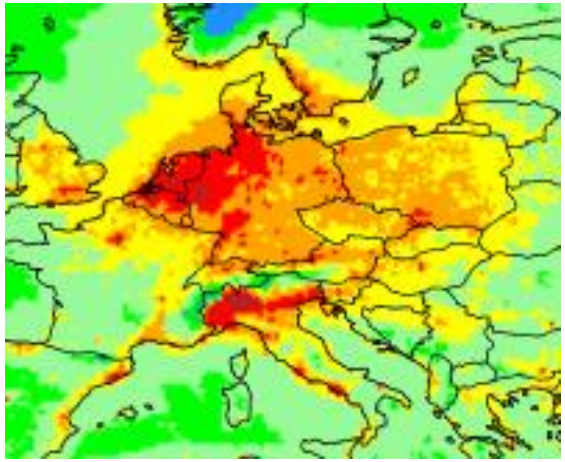


- Evaluierung durch das Thünen-Institut (Forstliches Umweltmonitoring)
- Methode V01: De Vries et al. (2001) *Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Europe* (ICPF TR 2001)
- ca. 55% der Flächen im Bereich von +-20%
- Unterschätzungen insbesondere auf stärker belasteten Flächen
- Mögliche Gründe für Abweichungen: KRB, PINETI, nicht-Repräsentativität der Flächen in der jeweiligen räumlichen Bezugseinheit

Vergleich mit EMEP-Modelldaten

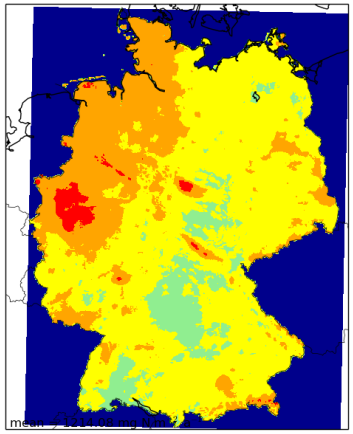
Sehr gute Übereinstimmung bei NH_X, weniger bei NO_Y

NOy



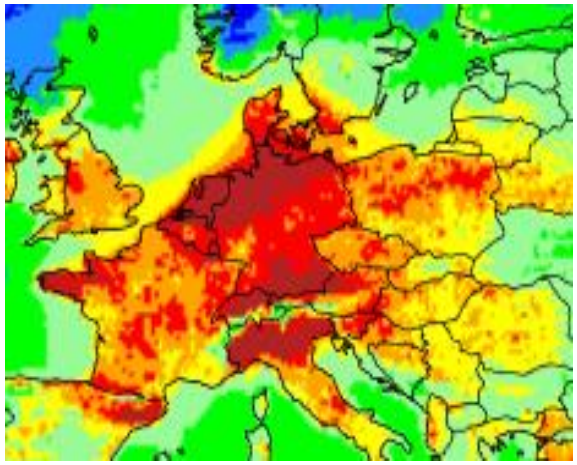
mg N / m²

1000
700
500
350
200
100
50

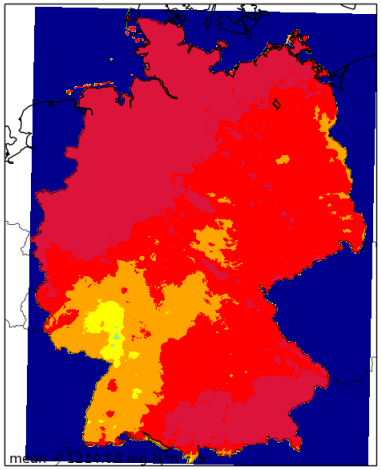


1500
1000
700
500
350
200
100
50
0
Deposition NOy 2015

NHx



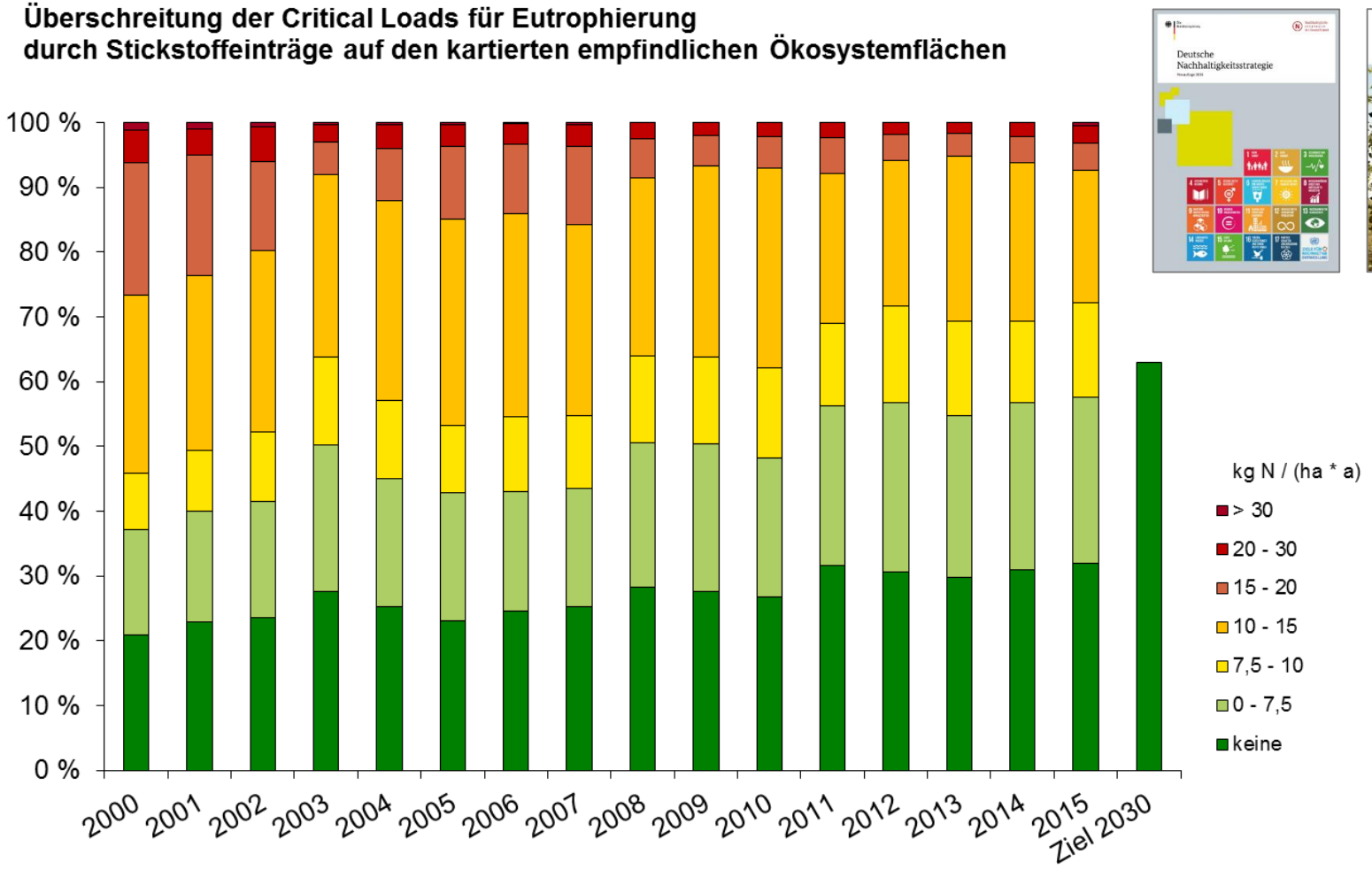
1000
700
500
350
200
100
50



1500
1000
700
500
350
200
100
50
0
Deposition NHx 2015

Anwendung Indikator Eutrophierung terrestrischer Ökosysteme

Nationale Zeitreihe für Nachhaltigkeitsstrategie & Biodiversitätsstrategie



UBA-Kartendienst Hintergrunddeposition Stickstoff

- **Bewertung lokale Belastung (TA Luft, FFH-VP)**
- **Input für weitere Forschungsfragestellungen**

Ausblick – Nächste Schritte

Projektergebnisse PINETI-3

- Fachlicher Abschluss des Projekt
- Veröffentlichung Abschlussbericht
- Sitzung Bund-Länder-Fachgespräch Stickstoffdeposition
- Aktualisierung Kartendienst

Stickstoffdeposition allgemein:

- Ziel 1: Bewertungsgrundlagen kontinuierlich verbessern
- Ziel 2: Kontinuierliche Verbesserung des Vollzugsinstrumentariums

Inhaltliche Wunschliste UBA:

- Fortschreibung der Zeitreihe
- Quantifizierung Doppelzählung (Punktquellen /Anlagen / Wirtschaftsdüngerausbringung)
- Kombination von großräumigen und lokalen Ausbreitungsrechnungen
- Räumliche und zeitliche Auflösung (Deposition / Emission)
- Szenarien, Rückrechnungen
- Kartendienst Erweiterung des Angebots

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit und die gute Zusammenarbeit mit unseren Projektpartnern

PINETI

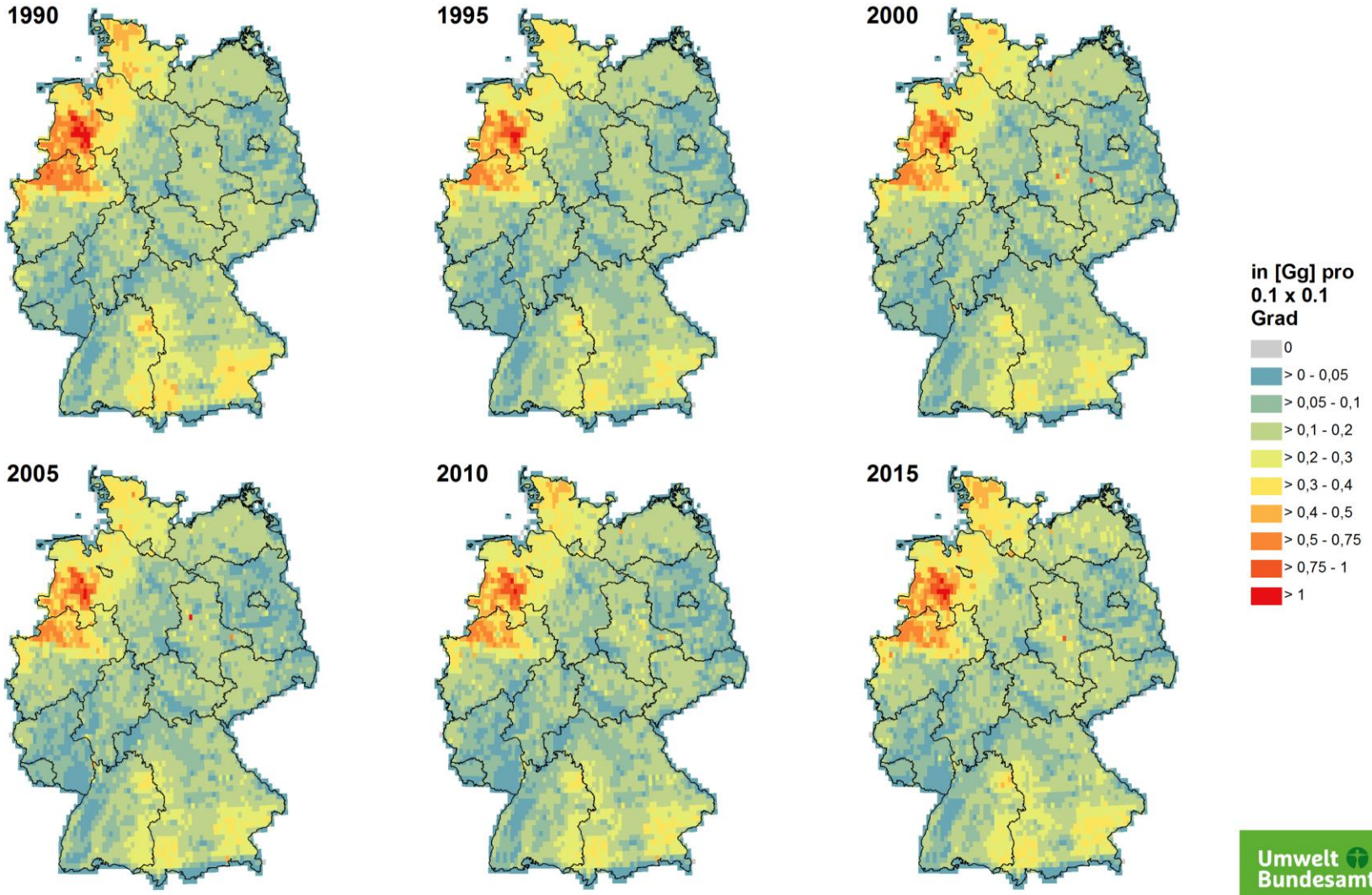
Markus Geupel
markus.geupel@uba.de

Foto © Thomas Scheuschner

Vergleich mit Einzelmessungen

kg N / ha / yr	total N monitored at station	total N MAPESI 2007	total N PINETI-2 2009	total N PINETI-3 2009
Forellenbach (coniferous forest)	13-15	37	19	20
Neuglobsow (coniferous forest)	9.5	18	12	14
Bourtanger Moor (semi-natural)	25 (16-35)	38	20	20

Emissionsentwicklung 1990 – 2015: Berichterstattung an EMEP

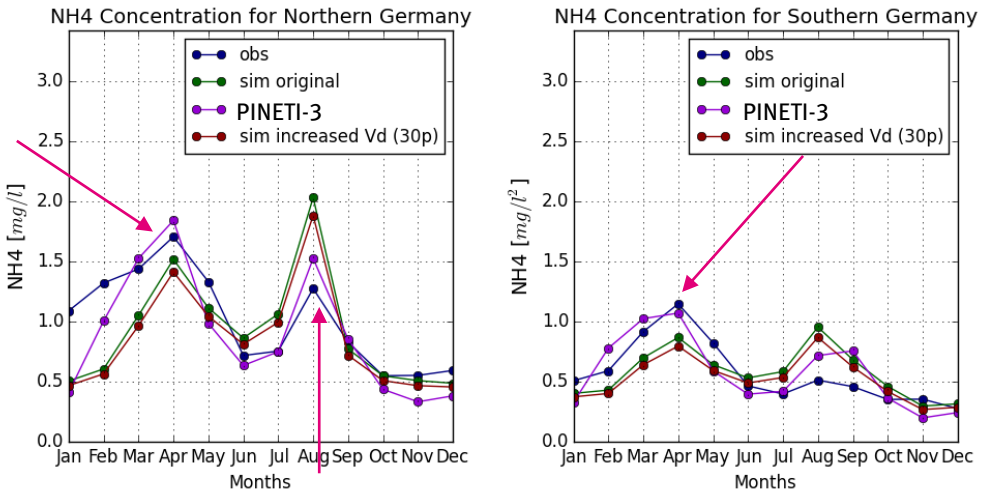


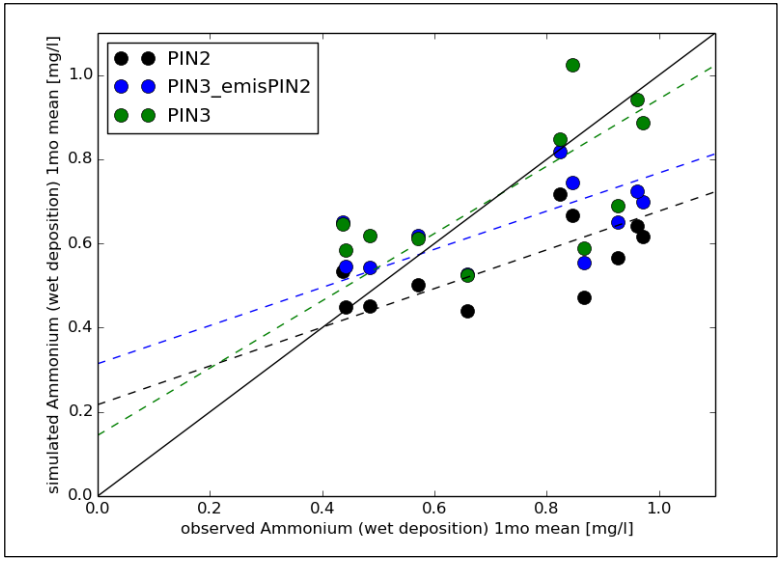
Umwelt Bundesamt

Modellierung mit LOTOS-EUROS im PINETI-3 Projekt

Evaluierung mit Monatsmittelwerten der NH_4-Konz. in der nassen Deposition

Übereinstimmung mit nassen Depositionsdaten ist besser mit dem neuen Jahresgang der NH_3-Emissionen





Verbesserung der Korrelation

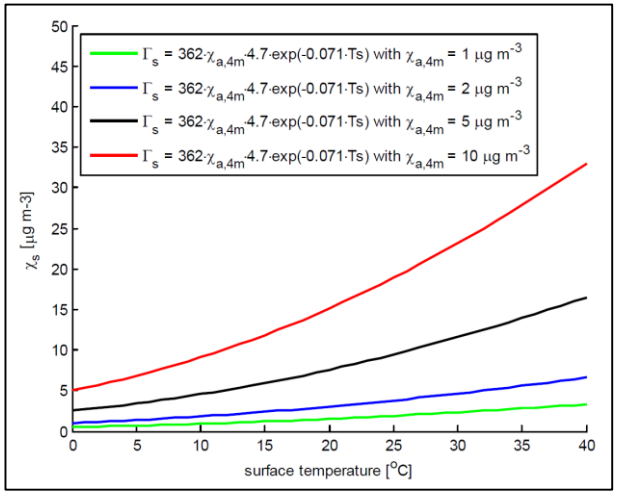
Parametrisierung in LOTOS-EUROS

SEIT PINETI² VERWENDET LOTOS-EUROS PARAMETRISIERUNGEN DES KOMPENSATIONSPUNKTES

Für die Pfade Austausch zwischen Atmosphäre und a) Stomata, b) Blattoberfläche, c) Boden Parametrisierung in allen Landnutzungsklassen einheitlich (basierend auf Flussmessungen)

Kompensationspunkt (C_{surf}) Abhängig von der Temperatur und der NH_3-Konzentration der Atmosphäre (bei Stomata zusätzlich von der NH_3-Konzentration in der Pflanze)

Je höher die NH3-Belastung, desto höher der Kompensationspunkt

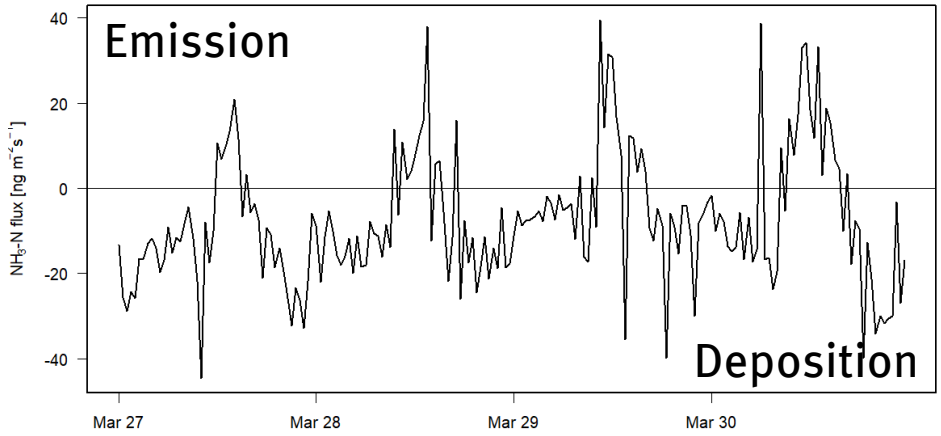


Wichink Kruit, R. J., et al. (2010). "Modeling the surface-atmosphere exchange of ammonia." Atmospheric Environment 44(7): 945-957

Wichink Kruit, R. J., et al. (2012). "Modeling the distribution of ammonia across Europe including bi-directional surface-atmosphere exchange." Biogeosciences 9(12): 5261-5277.

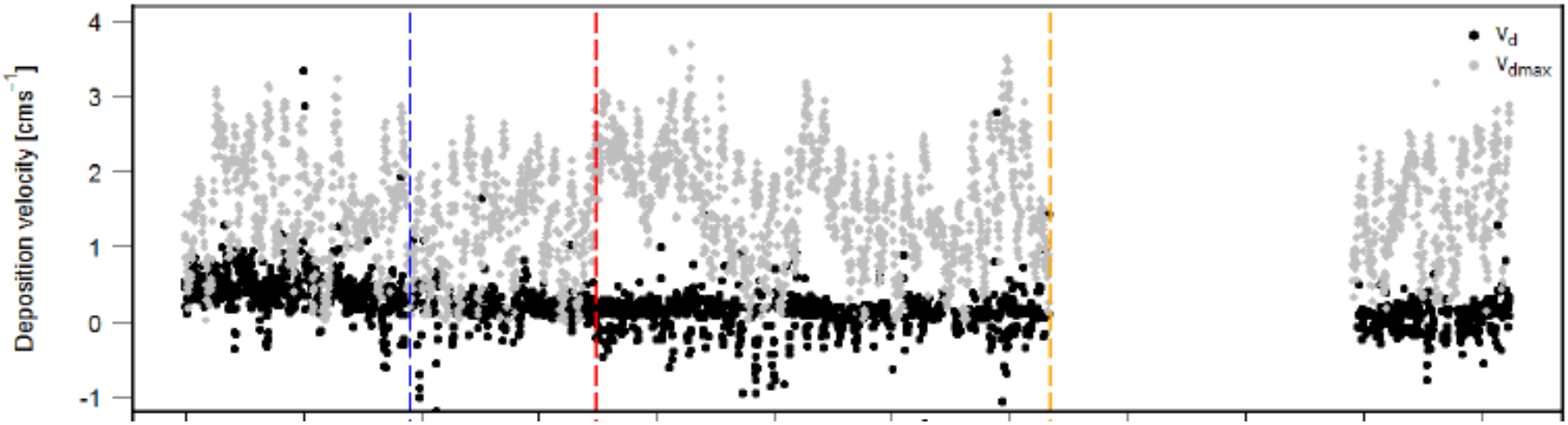
van Zanten, M. C., et al. (2010). Description of the DEPAC module : Dry deposition modelling with DEPAC_GCN2010. Bilthoven, Netherlands, TNO.

Flussmessungen im Emsland – Zöll et al., 2016



Theoretischer Maximalwert ohne Kompensationspunkt

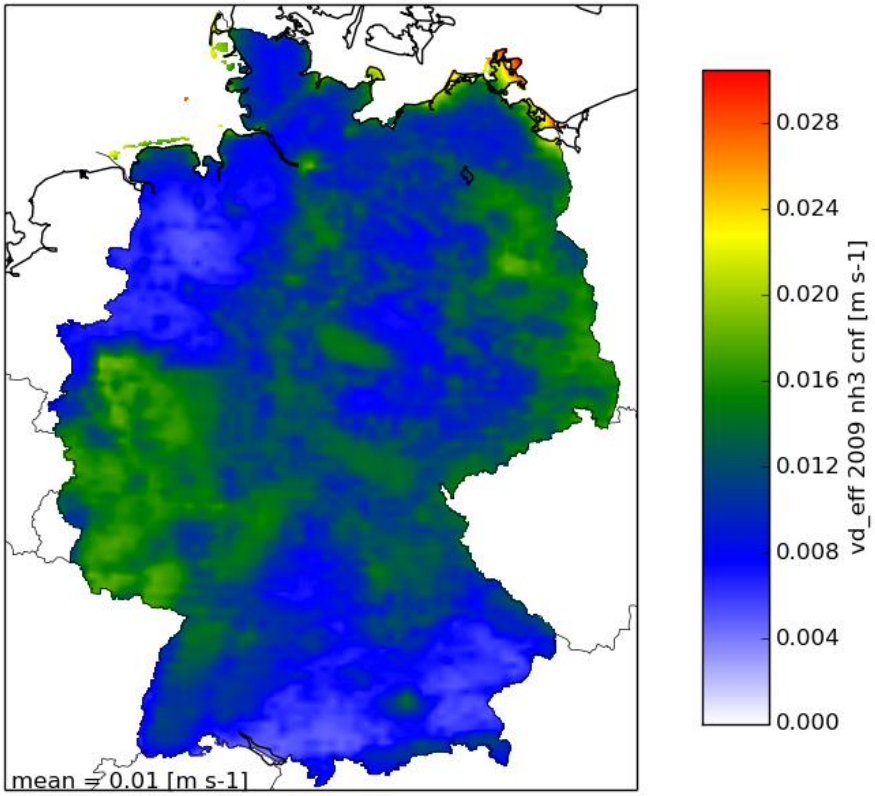
Gemessene Vd



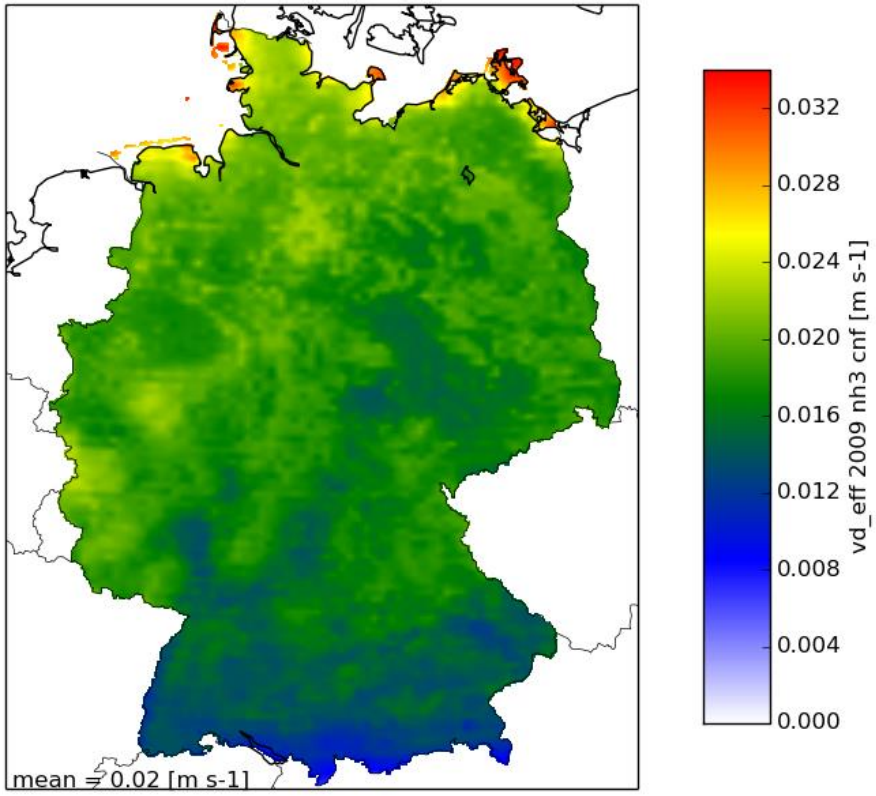
Einfluss auf die effektive Depositionsgeschwindigkeit

Sensitivitätslauf mit dem Theoretischen Maximalwert also ohne Kompensationspunkt (C_{surf} = 0)

Kompensationspunkt $C_{surf} = f[NH_3]$



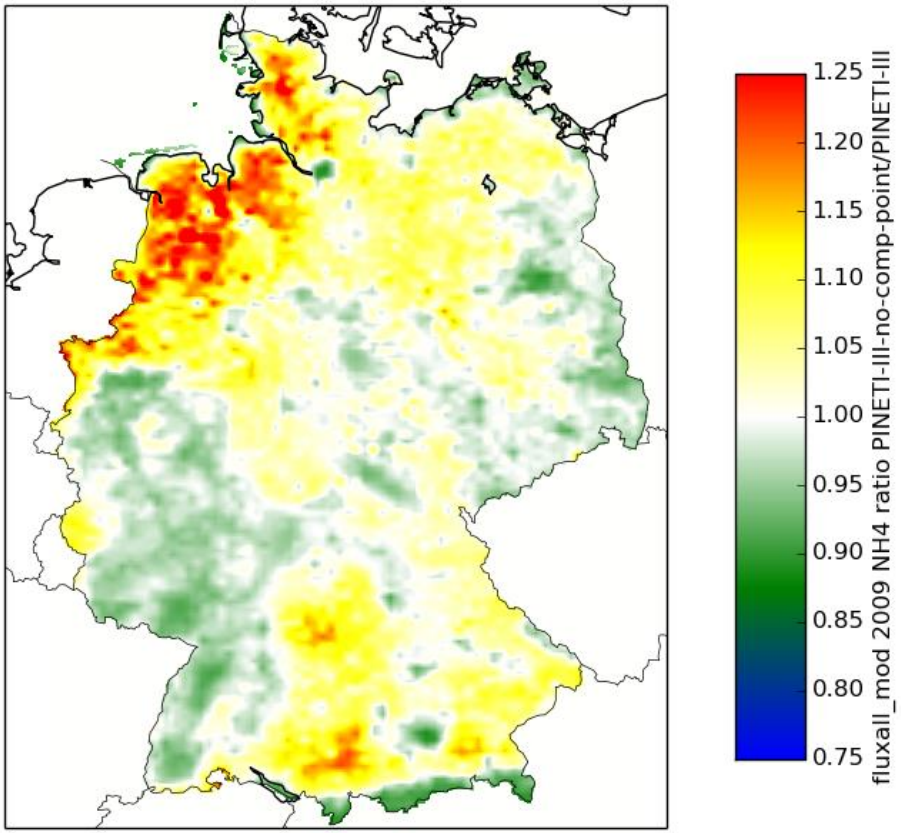
Ohne Kompensationspunkt (C_{surf} = 0.0)



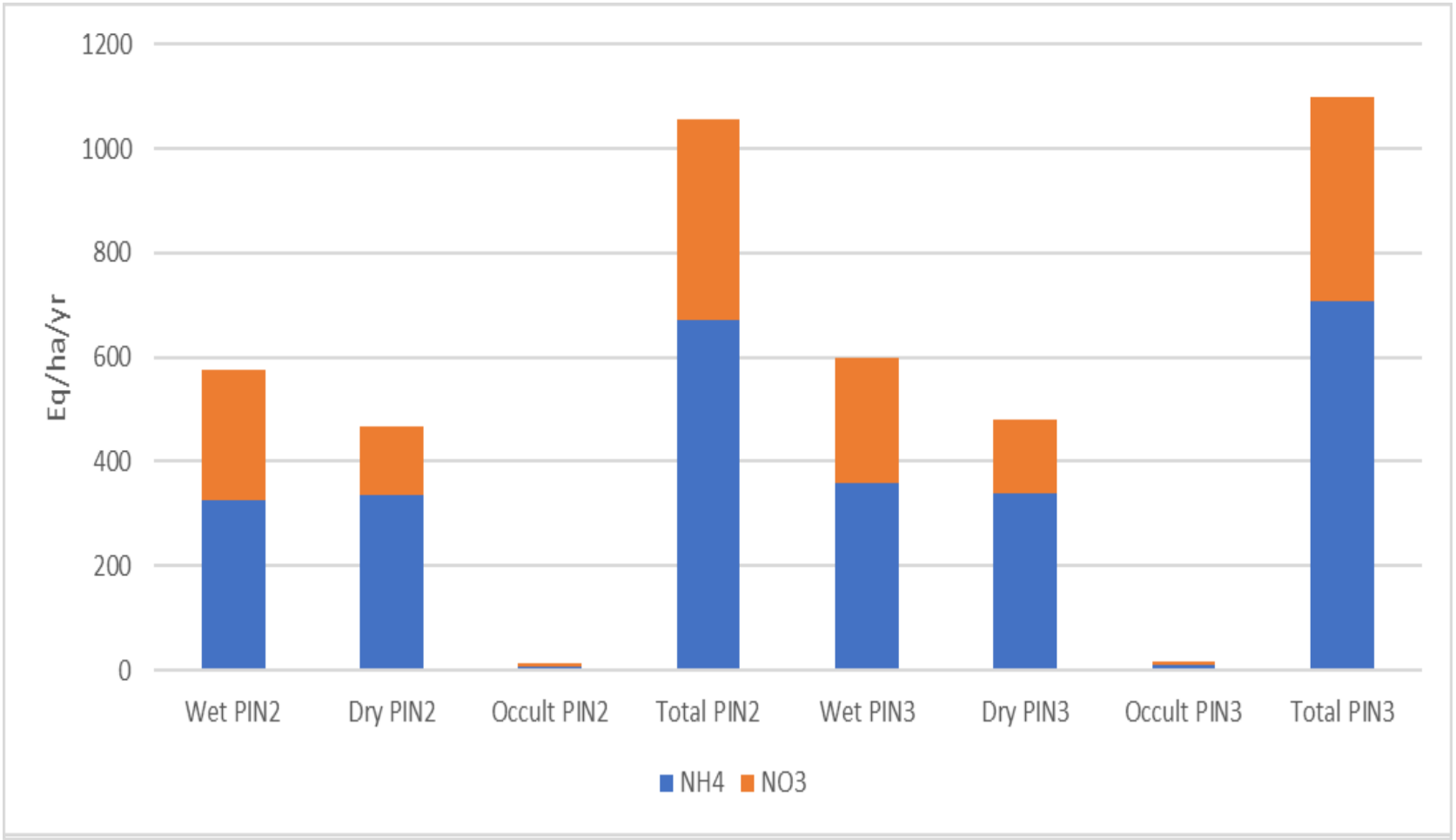
Relation der modellierten Gesamtdeposition

$$\frac{\text{Modellergebnis } \underline{\text{ohne}} \text{ Kompensationspunkt}}{\text{Modellergebnis } \underline{\text{mit}} \text{ Kompensationspunkt}}$$

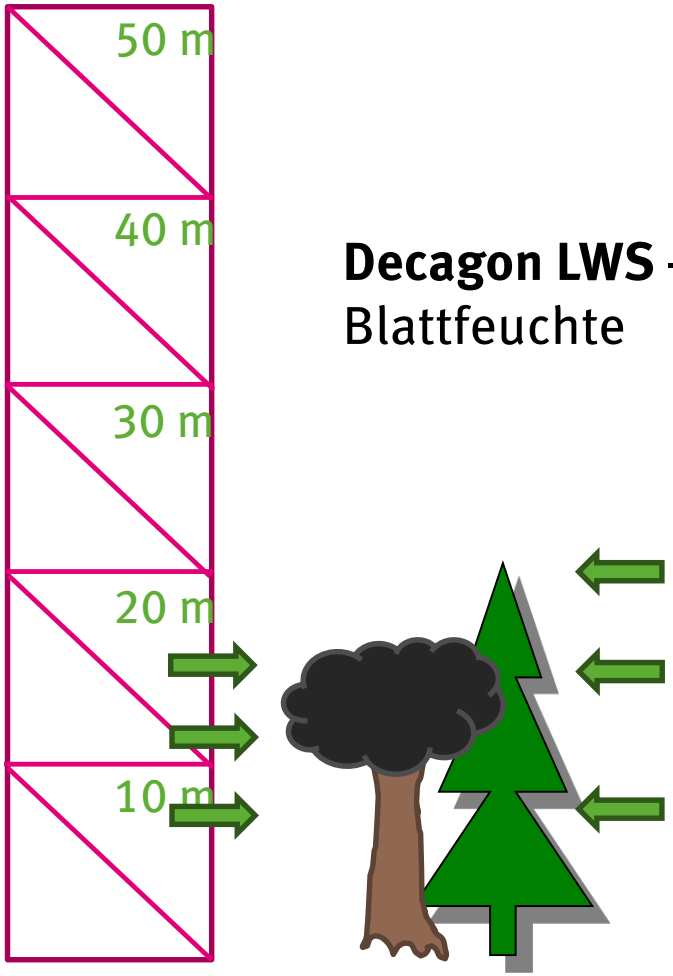
- Je höher die NH3-Belastung, desto höher der Kompensationspunkt
- Der Kompensationspunkt verringert die Effektive Deposition, es kann sogar tagsüber zu Emission von NH_3 kommen
- Vernachlässigung des Kompensationspunktes führt zu erhöhter trockener Deposition in Quellgebieten, verringert jedoch den Ferntransport
- Änderung ist im Mittel nur 3-4 % für mittleren Gesamteintrag in DEU



Zeitreihe 2000-2015 & Vergleich zwischen PINETI-2 und PINETI-3

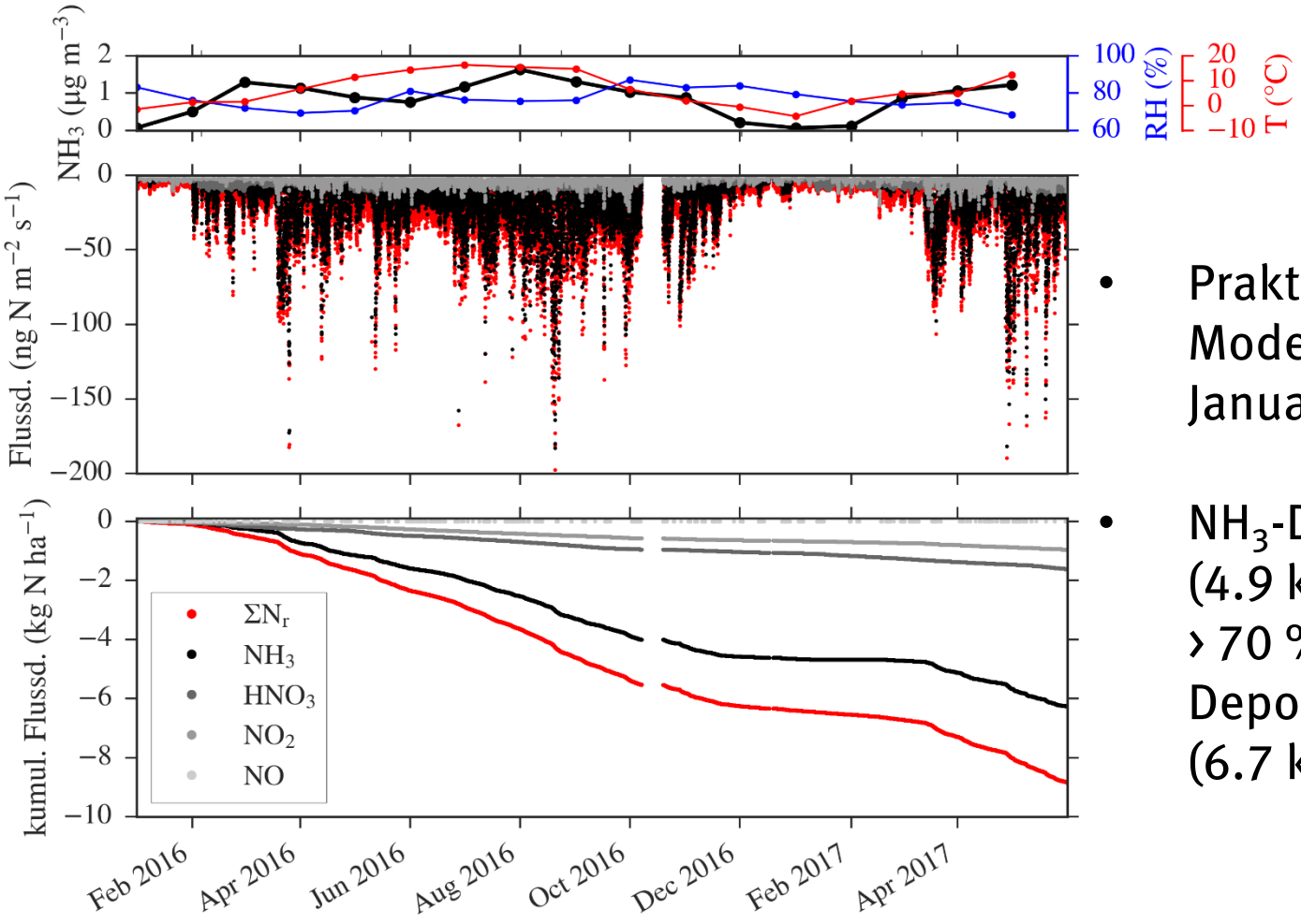


FORESTFLUX – Projektaufbau



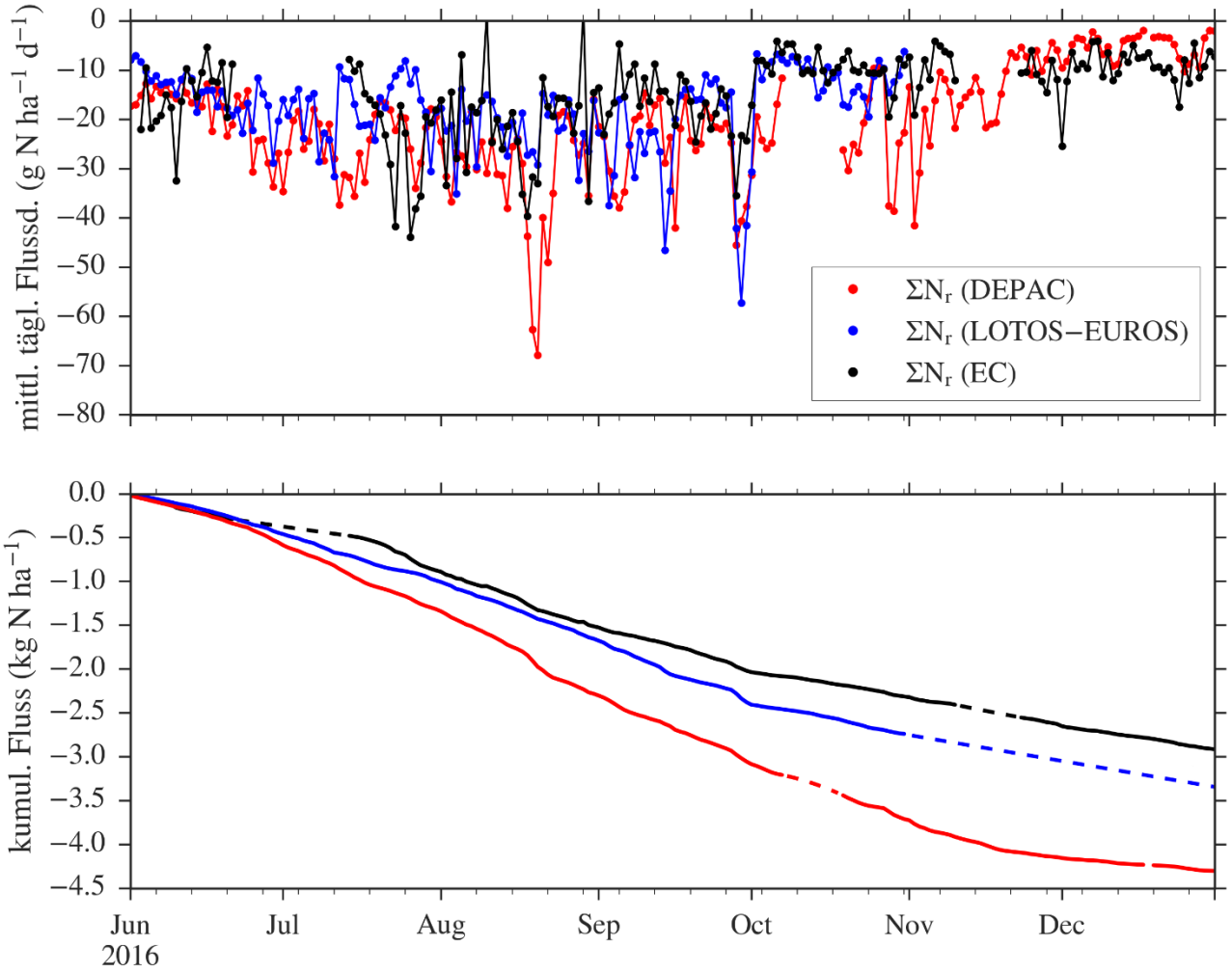
Decagon LWS –
Blattfeuchte

FORESTFLUX – vorläufige Ergebnisse



- Praktisch lückenlose Modellergebnisse seit Januar 2016
- NH_3-Deposition (4.9 kg N ha^{-1} $Jahr^{-1}$) › 70 % der $\sum N_r$-Deposition (6.7 kg N ha^{-1} $Jahr^{-1}$)

FORESTFLUX – vorläufige Ergebnisse



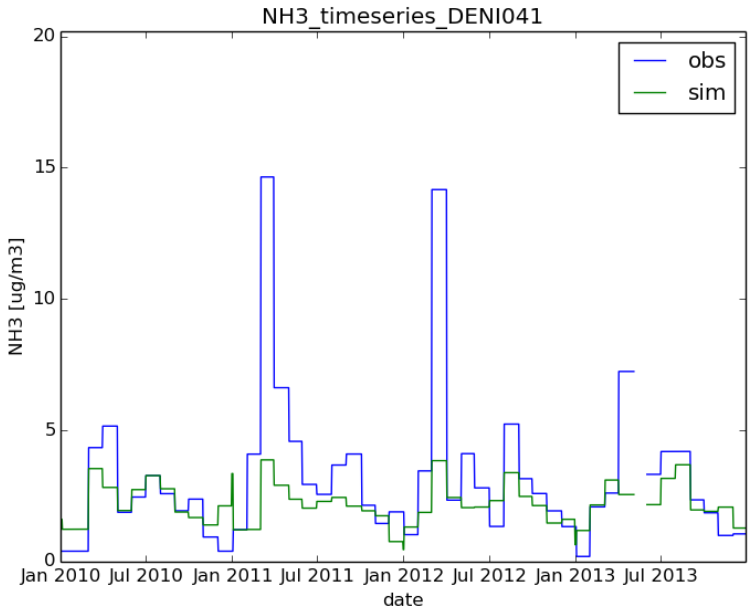
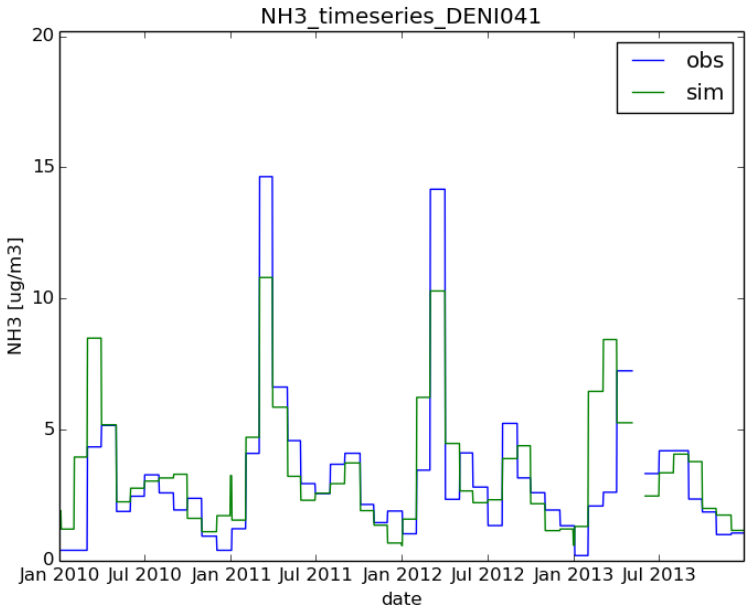
- Bereits sehr zufriedenstellende Übereinstimmung aller drei Varianten im Rahmen der Modellunsicherheiten
- Ergebnisse vorläufig: EC-Dämpfungskorrektur und DEPAC-Parametrisierung nicht final ⇢ weitere Annäherung denkbar (positives Zeichen für Validierung)

Modellierung mit LOTOS-EUROS im PINETI-3 Projekt

Zeitlicher Vergleich Beispielsstandort Weserbergland

→ Übereinstimmung gemessenen Konzentrationsverläufen ist besser mit dem neuen Jahresgang der NH_3-Emissionen

PINETI-2



PINETI-3