



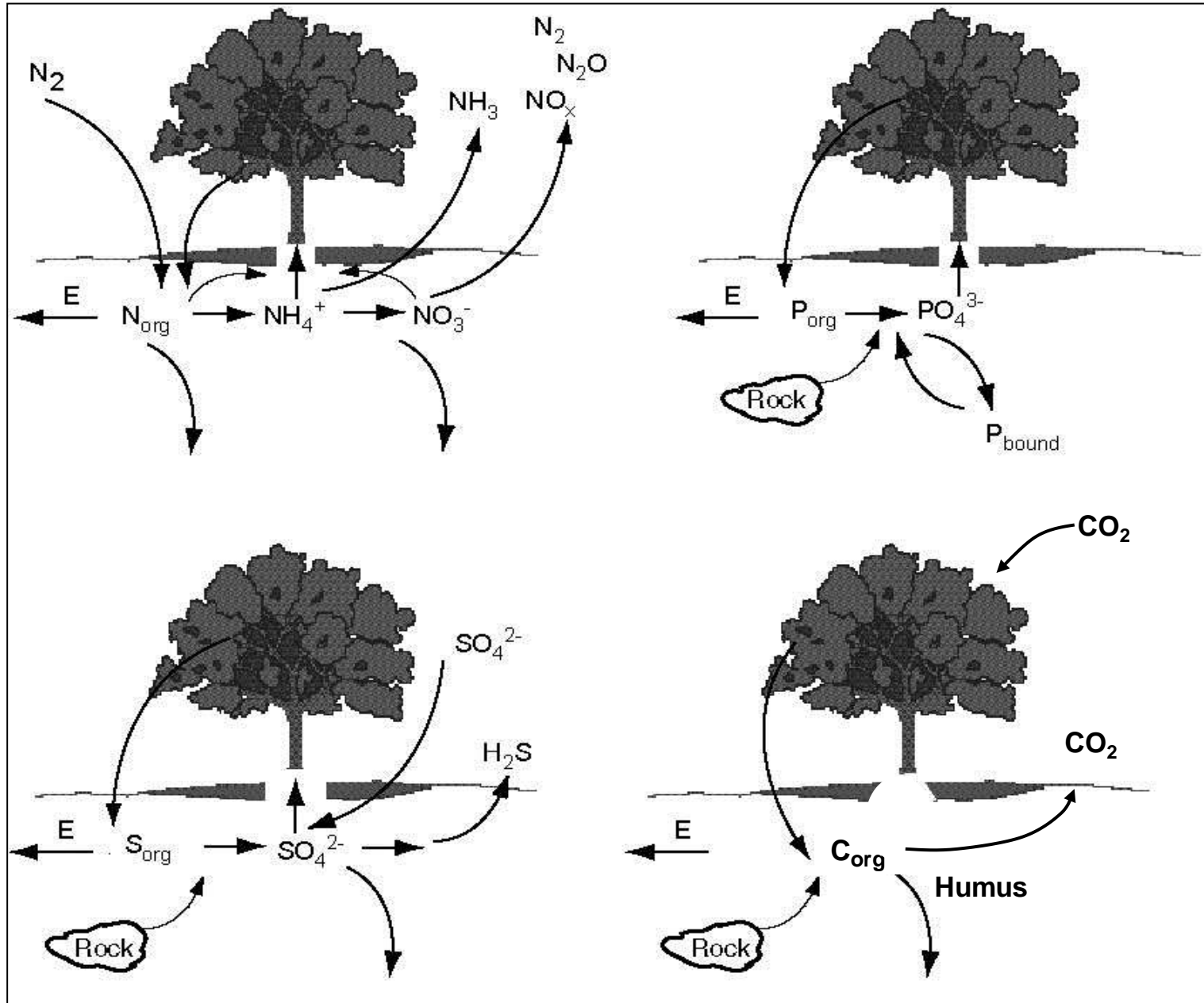
Universität für Bodenkultur Wien
Department für Wald- und Boden-
wissenschaften

Der Stickstoffkreislauf im Boden und seine Auswirkungen auf Umwelt und Klima

Univ.-Prof. Dr. Sophie Zechmeister-Boltenstern

Leiterin des Instituts für Bodenforschung

Vize-Leiterin des Departments für Wald- und Bodenwissenschaften



Based on Chapin, Matson and Vitousek, *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*, 2011, adapted

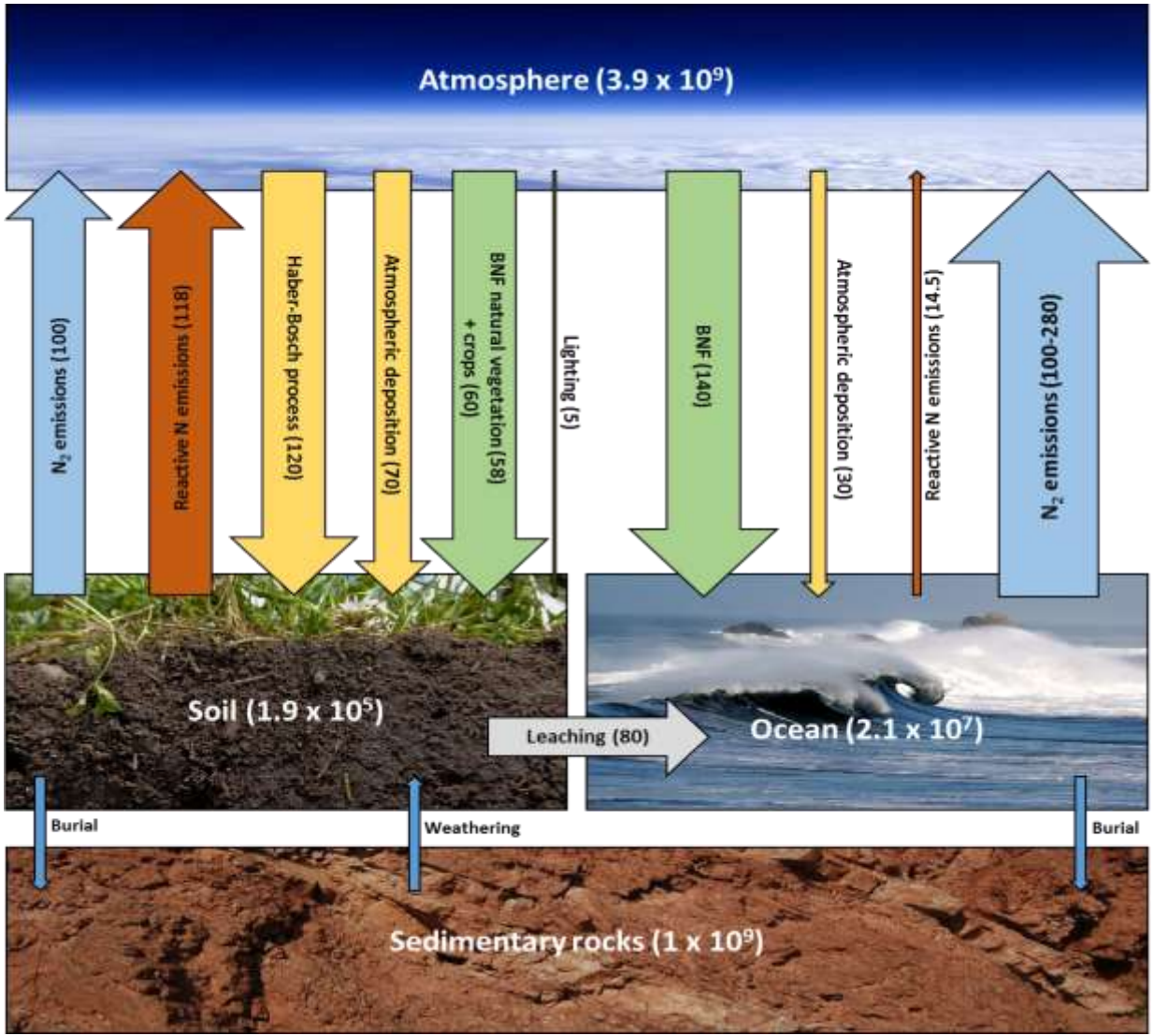


Universität für Bodenkultur Wien
Department für Wald- und Boden-
wissenschaften

Stickstoff

- Stickstoff hat eine Sonderstellung:
 - N-Nachlieferung aus Ausgangsgesteinen ist gering
 - N unterliegt im Boden vielfacher Umsetzungen/Umwandlungen
 - N bestimmt am stärksten den Ertrag
 - N kann zur Eutrophierung von Oberflächengewässern beitragen und Trinkwasserreservoirs (Grundwasser) beeinträchtigen
 - N ist Quelle klimarelevanter Gase (N_2O)

Global N-Cycle (in Tg N (a⁻¹))



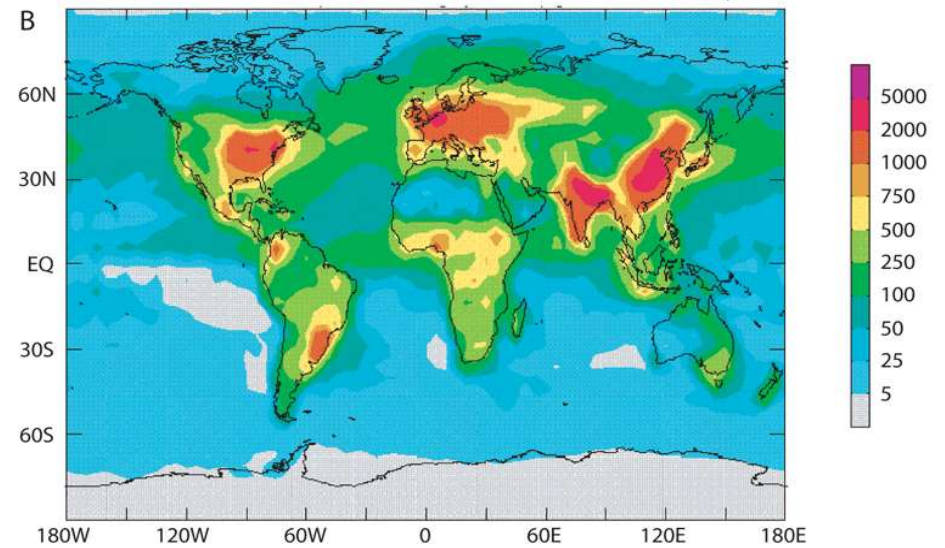
Width of the flux arrows proportional to the magnitude of the flux. Pools not to scale.

Fluxes source: Fowler et al. (2013) and references herein. Pools source: Galloway (2003). Photo sources (all creative commons): Land, NRCS Soil Health; Ocean, Brocken inaglory; Atmosphere, Andres Rueda; sedimentary rocks, The paleobear.

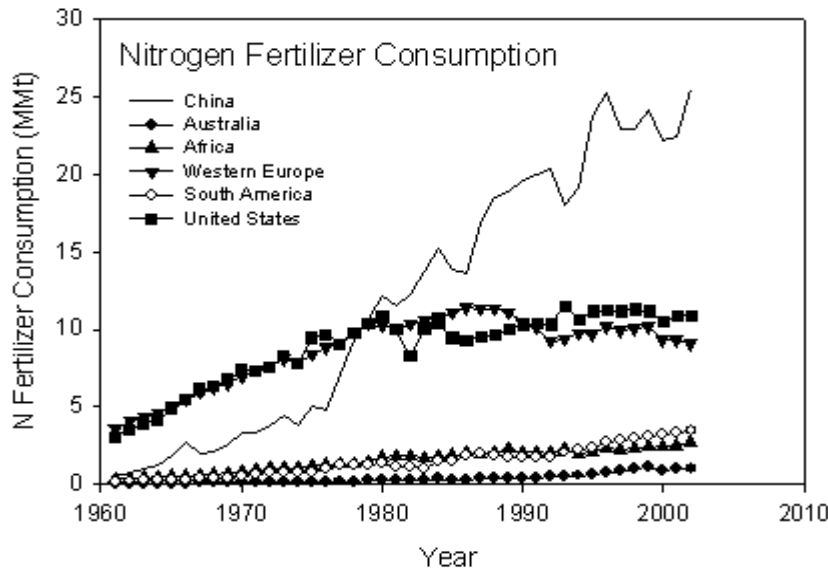
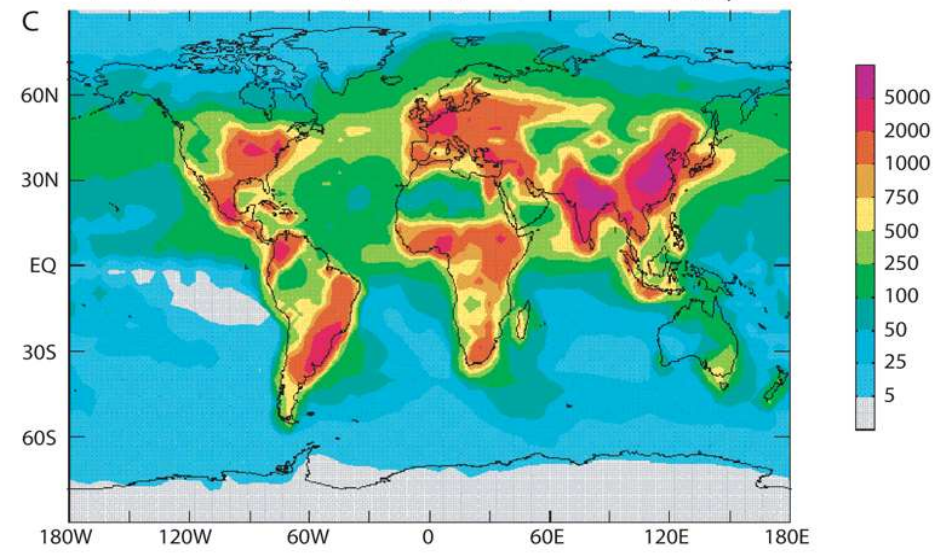
Zechmeister-Boltenstern, Díaz-Pinés, Spann, Hofmann, Schnecker and Reinsch, 2017, *Soils the Hidden Part of Climate. Advances in Soil Sciences*, in press

Der größte Stickstoffdüngungsversuch aller Zeiten

Spatial patterns of total inorganic nitrogen deposition in early 1990s, $\frac{\text{mg}}{\text{m}^2 \cdot \text{yr}}$

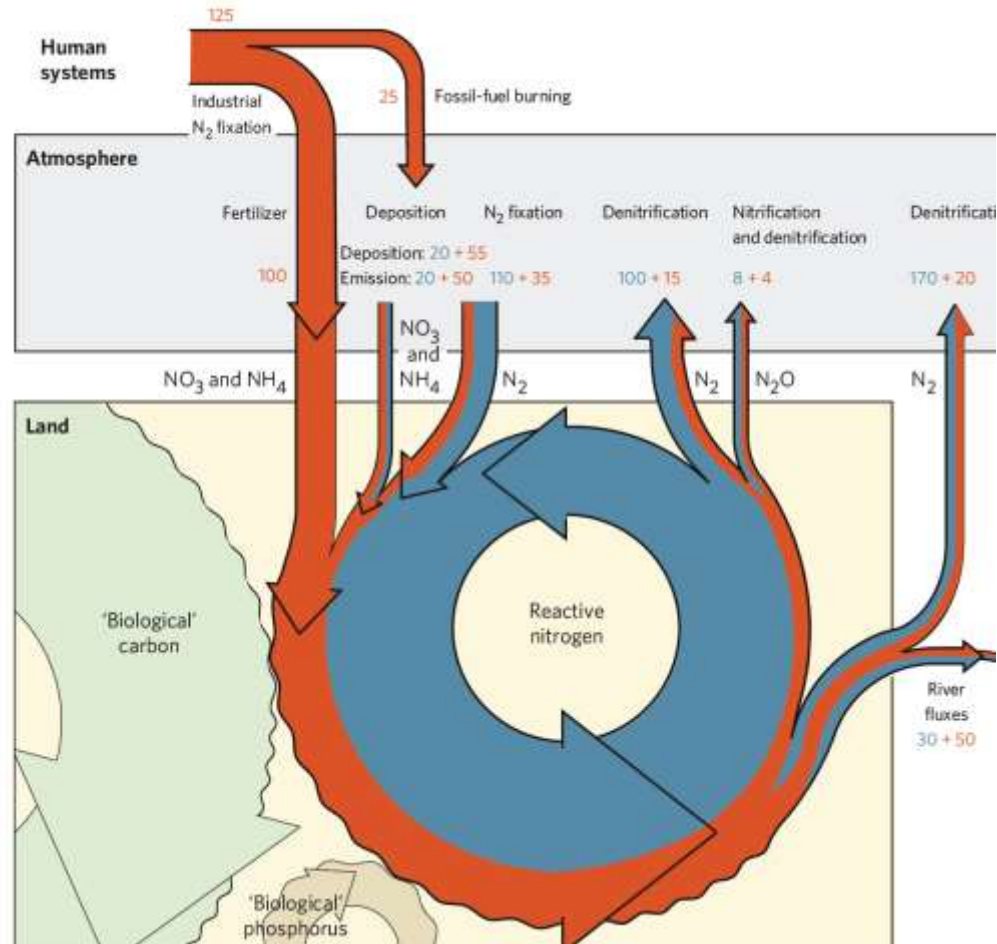


Spatial patterns of total inorganic nitrogen deposition in 2050, $\frac{\text{mg}}{\text{m}^2 \cdot \text{yr}}$



Quellen: www.cropscience.org.au, Galloway et al. 2004.

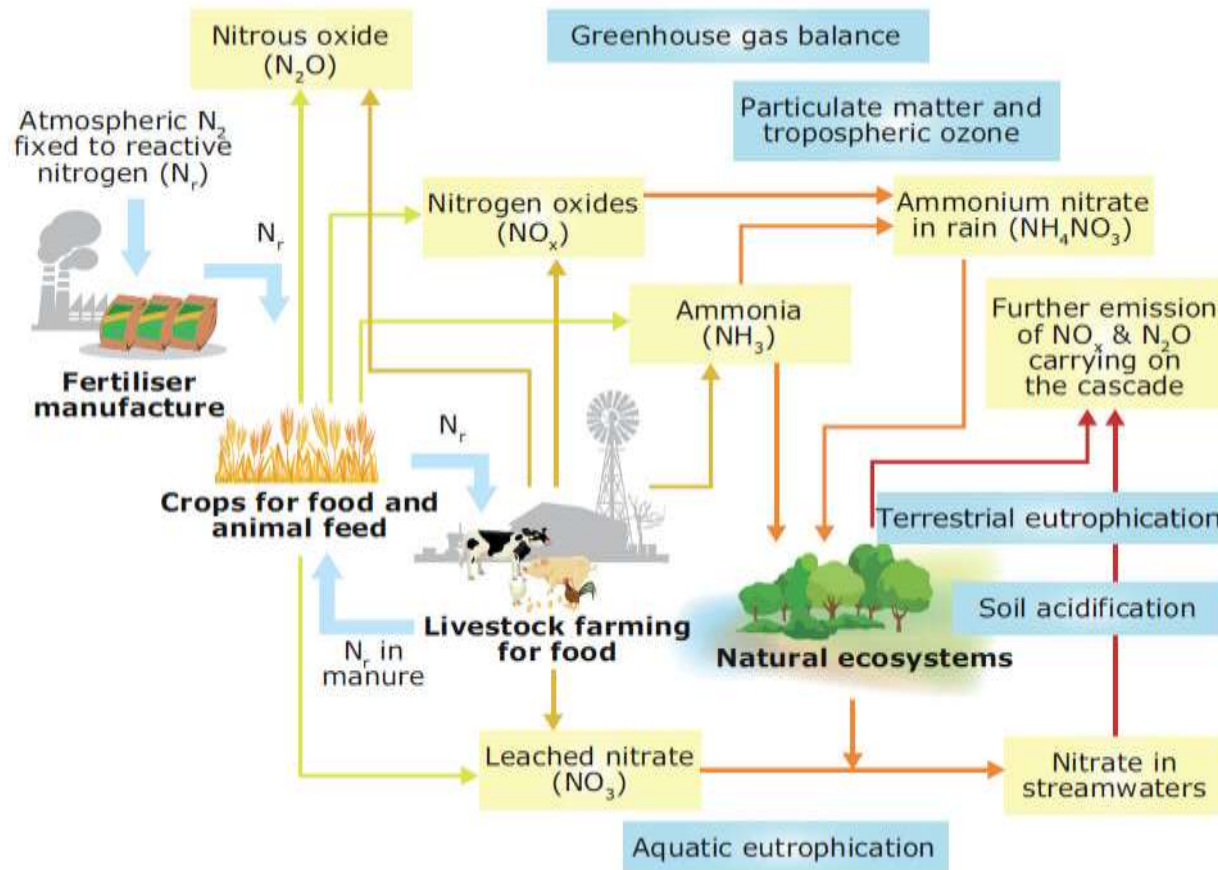
Beschleunigung des globalen Stickstoffkreislaufs



Die Stickstoffkaskade

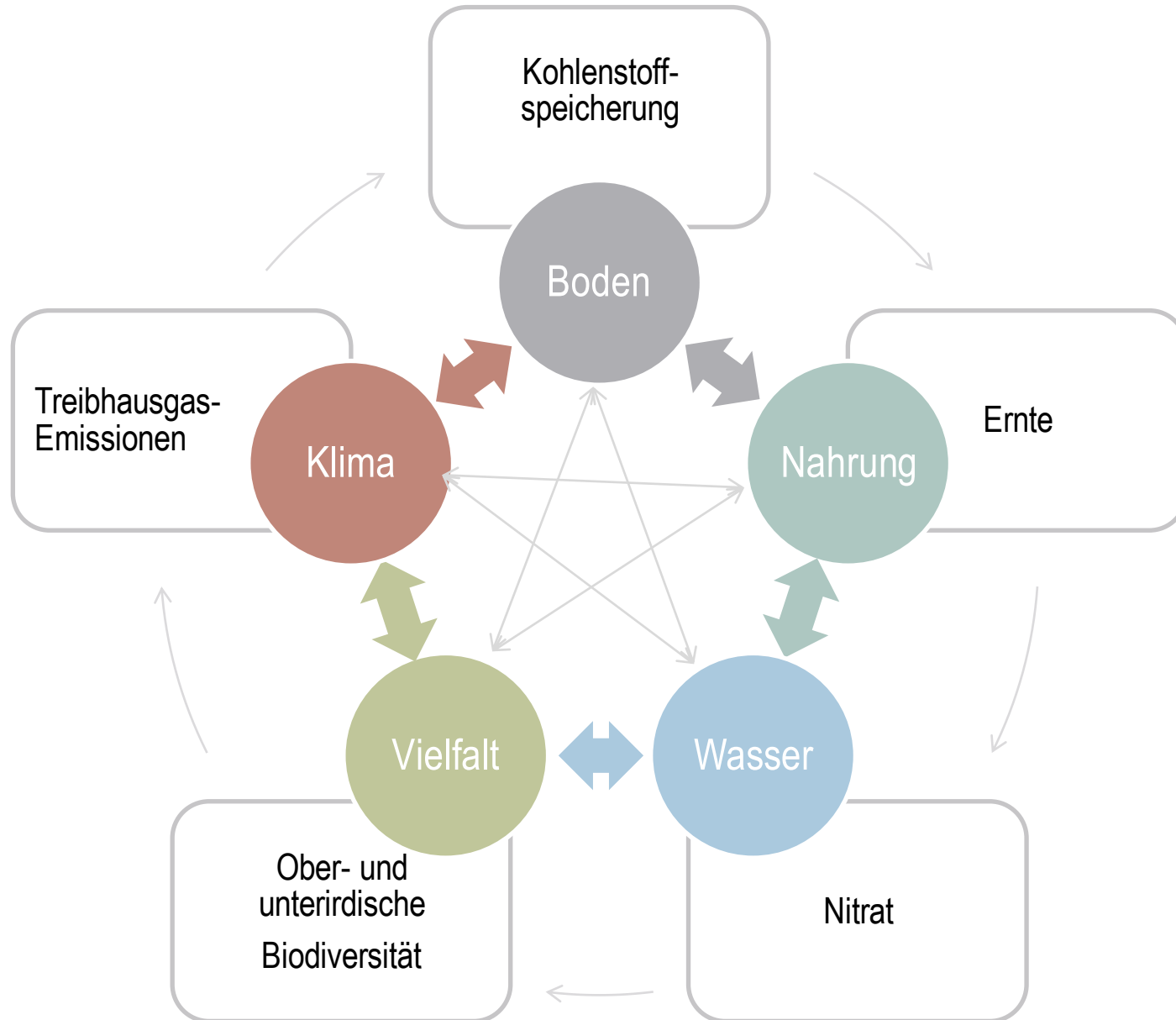


Universität für Bodenkultur Wien
Department für Wald- und Bodenwissenschaften

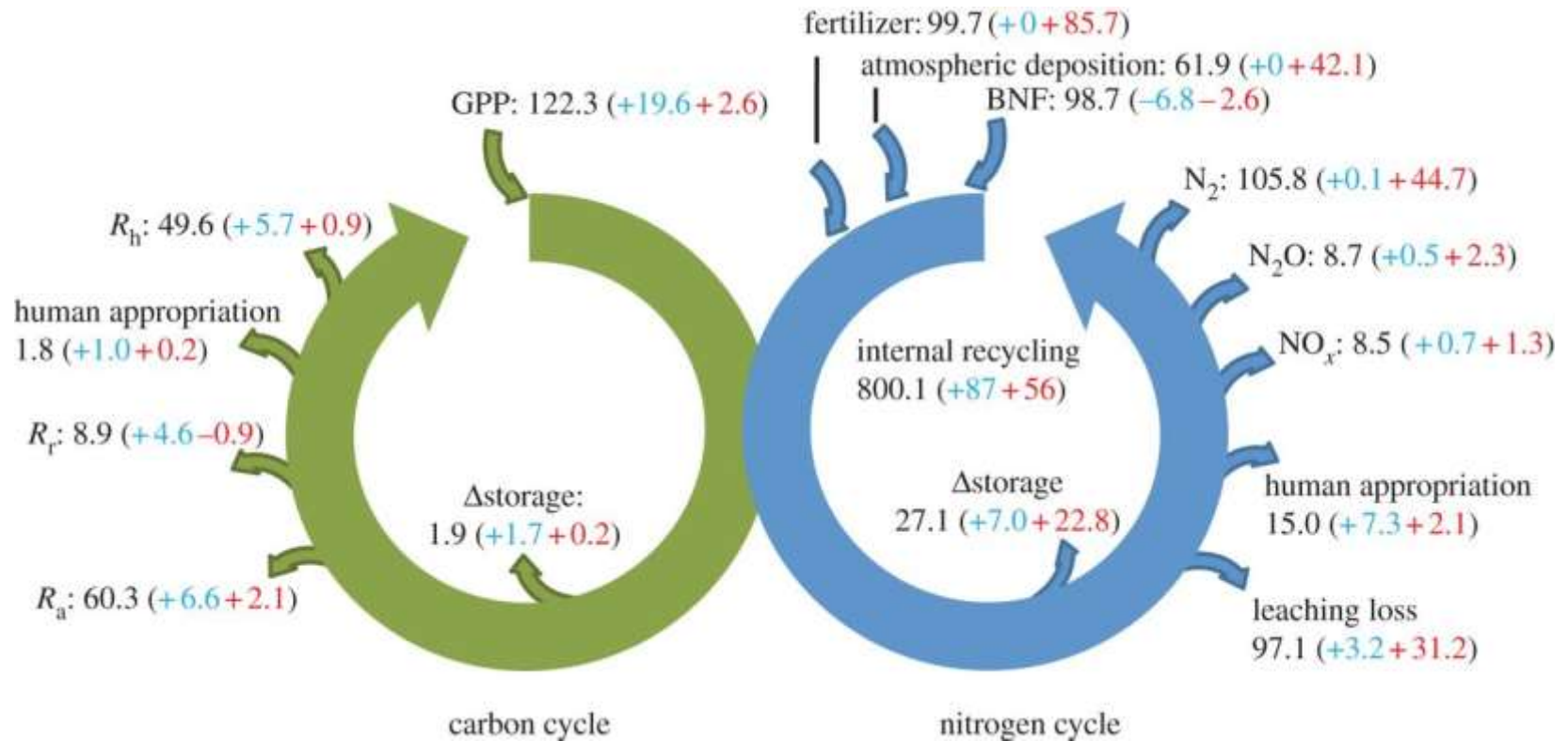


EEA based on Sutton et al., ENA, 2011

Stickstoff beeinflusst



Zusammenhang zwischen dem Kohlenstoff- und dem Stickstoffkreislauf



The 2001–2010 global carbon and nitrogen cycles of terrestrial ecosystems.

Stickstoff-Deposition fördert die Kohlenstoffspeicherung in Wäldern



Western Aerial Applications utilizes three heavy lift Adrospatiale SA315B Lamas to fertilize replanted forests in mountainous regions of British Columbia. Western Aerial Applications Photo

- **Projezierte Netto-Speicherung von 470 kg C per kg N-Deposition?**

Magnani, F. et al. The human footprint in the carbon cycle of temperate and boreal forests. Nature 447, 848–850 (2007).

- **Tatsächlich beobachtet wurden 30–70 kg C Nettozuwachs per kg N totaler N-Deposition**

Wim de Vries¹, Svein Solberg², Matthias Dobbertin³, Hubert Sterba⁴, Daniel Laubhahn⁴, Gert Jan Reinds¹, Gert-Jan Nabuurs¹, Per Gundersen⁵ & Mark A. Sutton⁶ Nature 2007

- **Sollen Wälder mit Stickstoff gedüngt werden um atmosphärischen Kohlenstoff zu speichern?Was passiert im Boden?**

Högberg P., Nature 2008

IMPACT OF NITROGEN ON SOIL CARBON STORAGE IN TEMPERATE FOREST SOILS

INFo
SOM

FWF
Der Wissenschaftsfonds



Stefan J. Forstner^{1,}, Viktoria Wechselberger^{1,2}, Stefanie Kloss¹, Katharina M. Keibinger¹, Wolfgang Wanek³, Patrick Scheppi⁴, Per Gundersen⁵, Michael Tatzber⁶, Martin H. Gerzabek¹, Sophie Zechmeister-Boltenstern, in prep.2017*

Standorte

elevation
 mean annual temperature
 mean annual precipitation
 soil type (WRB), texture
 soil horizons
 dominant tree species
 background N deposition
 N addition (NH₄NO₃)
 experiment duration

Alptal (CH)



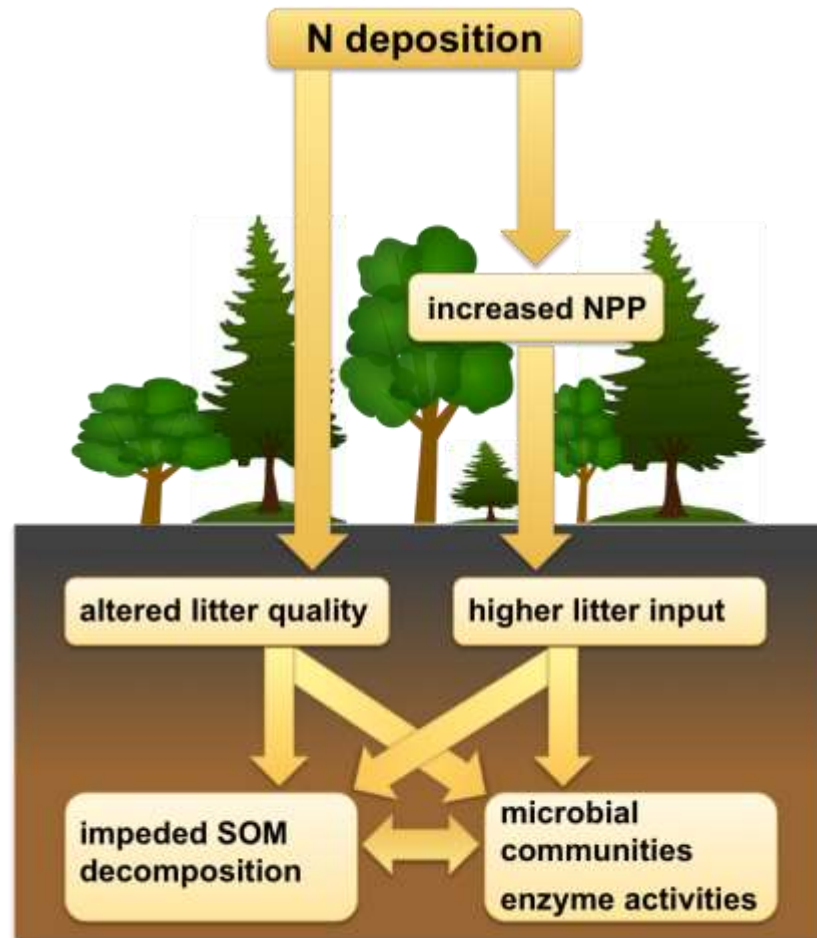
1200 m asl
 6° C
 2300 mm
Umbric Gleysol (clayey)
 L, F, H, Ah, Go
Picea abies (L.) Karst
 ~12 kg N ha⁻¹ yr⁻¹
25 kg N ha⁻¹ yr⁻¹
since 1995 → 19 years

Klosterhede (DK)



27 m asl
 9° C
 860 mm
Podzol (sandy)
 F, H, A, E, Bh, Bs
Picea abies (L.) Karst
 ~20 kg N ha⁻¹ yr⁻¹
35 kg N ha⁻¹ yr⁻¹
since 1992 → 22 years

Wie beeinflusst Stickstoff den Bodenkohlenstoffspeicher?



Potential effects of N deposition altering soil C sequestration (Janssens et al., 2010)

Boreale Wälder:

- N-Einträge fördern Baumwachstum und Streufall
- Aber: weniger Wurzel-Kohlenstoff, Änderungen in der mikrobielle Gemeinschaft
- →Unklare Konsequenzen für die Akkumulation von Bodenkohlenstoff

Temperate Wälder:

- Erhöht N die Kohlenstoff-Einträge (Bäume, Streufall)?
- Welche Auswirkungen hat Stickstoff auf Bodenkohlenstoff-Pools (Menge, Art – Kohlenstoffchemie)? Langzeit-Speicherung?
- Wie reagiert die mikrobielle Gemeinschaft?

Boden

PROBENNAHME & METHODEN

Klosterhede DK



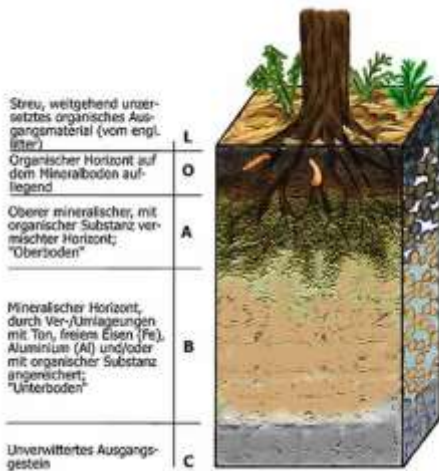
Methoden

- CFE (C_{mic} , N_{mic} , P_{mic})
- PLFA, Ergosterol
- Mikrobielle Aktivität
(Enzyme, Respiration)
- Metaproteomics
- Metatranscriptomics



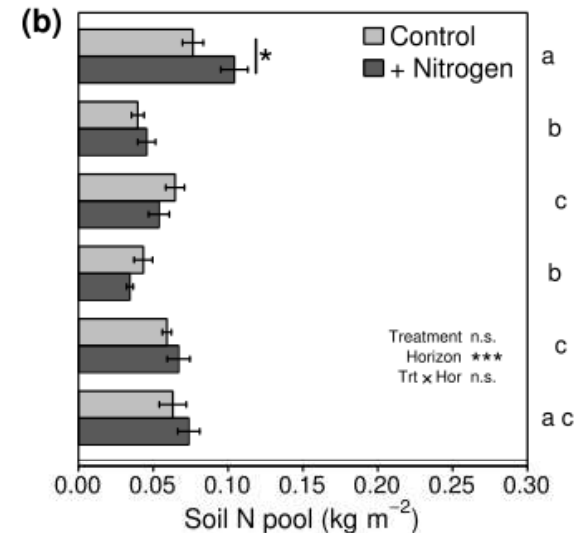
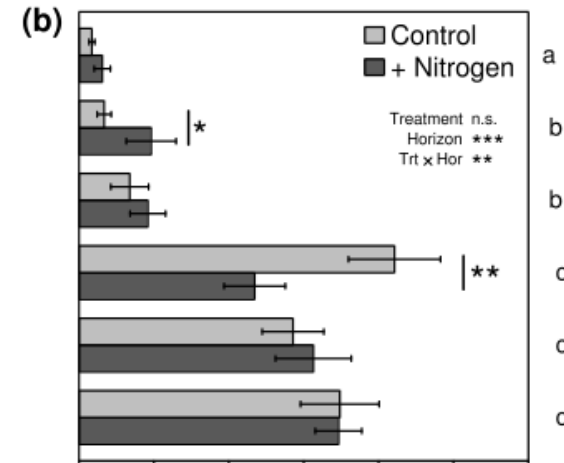
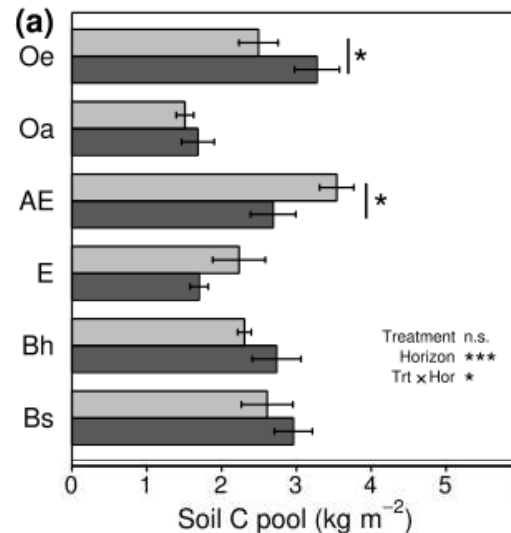
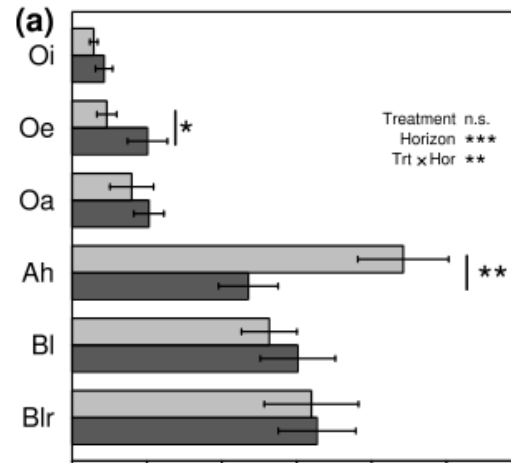
- i) Stickstoff-Zugabe erhöht die Kohlenstoffspeicherung in temperaten Waldböden.**
- ii) Der zusätzlicher Kohlenstoff wird vorwiegend im organischen Oberboden gespeichert.**
- iii) Stickstoff verändert die molekularen Charakteristika von Bodenkohlenstoff (Langzeit-Stabilität)**
- iv) Stickstoff-Zugabe verändert Zusammensetzung und Aktivität mikrobieller Gemeinschaften des Bodens (negative Effekte auf die Abbauraten von organischer Substanz)**

Kohlenstoff- und Stickstoff-Pools



Uni Münster de

Soil profile



Alptal

Klosterhede



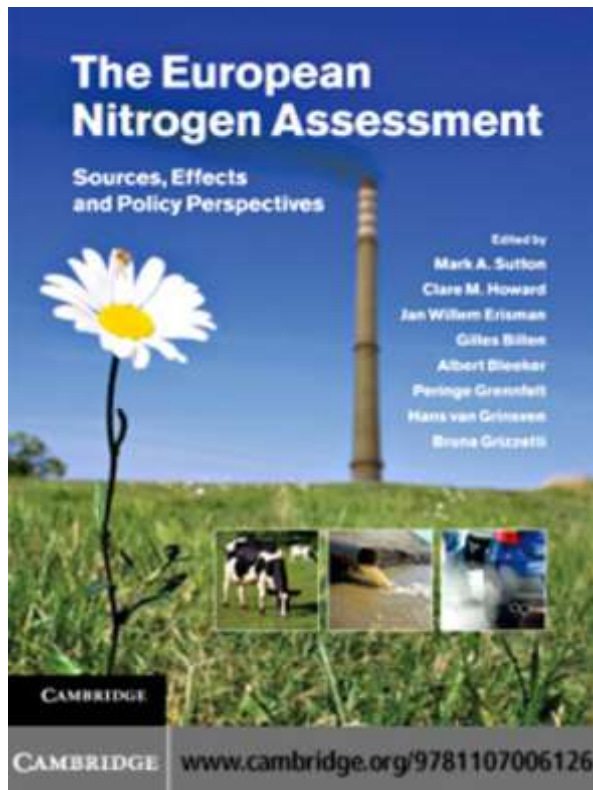
Harvard Forest, USA, Foto: Zechmeister-Boltenstern

	Alptal		Klosterhede	
	Oe horizon	Ah horizon	Oe horizon	AE horizon
Thickness	(↑)	(↓)	(↑)	↓
Bulk density	↑	(↓)	(↑)	↓
C content	(↓)	↓	(↓)	(↑)
N content	(↑)	(↓)	(↓)	(↑)
C pool	↑	↓	↑	↓
N pool	↑	↓	↑	(↓)

Im Boden wird langlebiger Kohlenstoff im Mineralboden durch kurzlebigen Kohlenstoff in der Streuauflage ersetzt.

Nach 20 Jahren Stickstoffdüngung werden die Bäume krank und verlieren Nadeln/Blätter.

Stickstoffnutzungseffizienz



- **Stickstoffeutrophierung kostet jedem Europäer bis zu € 740,- im Jahr.**

Insgesamt bis zu 320 Milliarden € das ist mehr als doppelt so viel, als N-Dünger an Extraeinkommen schaffen

- **Die Stickstoffnutzungseffizienz liegt in Europa unter 30%.**

Download : <http://www.nine-esf.org/ENA-Book>

Projekte FarmClim und NitroAustria (Klimafonds):

(Amon, Winiwarter, Schaller, Zehner, Dersch, Kasper, Sigmund, Kitzler, Foldal, Maier, Zechmeister-Boltenstern et al)

Was kann man gegen N-Verluste tun und wie viel kostet das? z.B.

- Verwendung von neuen N-Düngern mit geringen Emissionen
- Verzicht auf die letzte Düngung
- Keine Landwirtschaft auf organischen Böden (Moore)!
- Verringerung der Maisanbaufläche zugunsten anderer Kulturen
- Optimierung des Düngezeitpunkts

„Klimafreundliche Landwirtschaft“ (climate-smart agriculture)

Ziel: In Zeiten des Klimawandels Entwicklung zu unterstützen und Ernährungssicherheit zu gewährleisten.

Drei Hauptaufgaben:

1. Landwirtschaftliche **Produktivität** und Einkommen **nachhaltig steigern**,
2. Systeme **an den Klimawandel anpassen** und Resilienz aufbauen,
3. und **Treibhausgasemissionen reduzieren** und/oder vermeiden.



Die drei Bedingungen (**Ernährungssicherheit, Klimawandelanpassung und -minderung**) werden auch als **“triple win”** der klimafreundlichen Landwirtschaft bezeichnet.

<http://www.fao.org/climate-smart-agriculture/en>

„Nachhaltige Intensivierung“ der Landwirtschaft

FAO: um 50% höhere Nachfrage nach Nahrungsmitteln bis 2050 durch wachsende Weltbevölkerung (2014 = 7.2 Mrd.; 2050 ~ 9.4 Mrd.)

- Ernste Bedenken dieses Ziel zu erreichen
- Letzte „grüne Revolution“ hat Umweltprobleme verursacht

Die Europäische Union: will die Landwirtschaft in Richtung einer „nachhaltigen Intensivierung“ entwickeln.

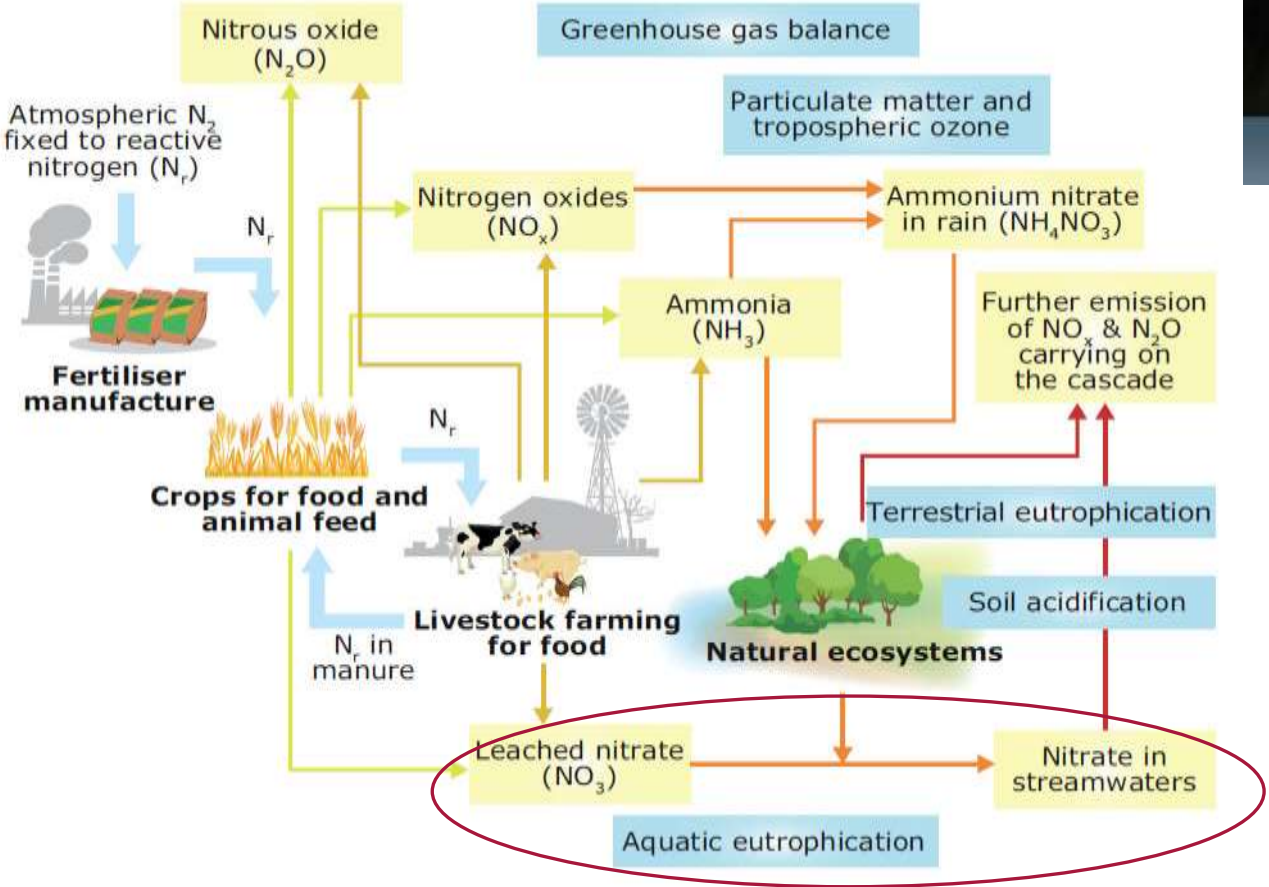
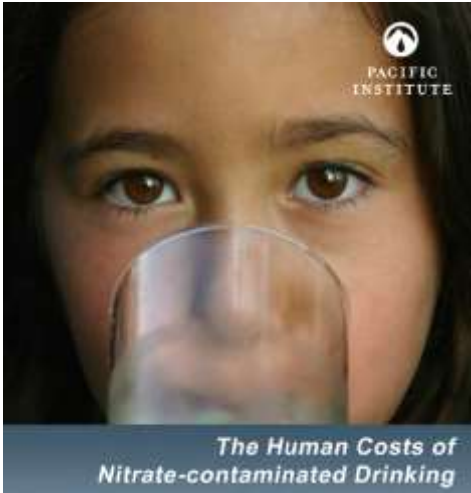
Nachhaltige Intensivierung („sustainable intensification“):
**Gleichzeitig Produktivität & Umweltmanagement
von landwirtschaftlichen Flächen verbessern.**

- Schwerpunkt liegt auf Betonung der Nachhaltigkeit während landwirtschaftliche Produktivität erhalten bleiben soll.



Wasser

Nitratauswaschung





Nitratauswaschung



Universität für Bodenkultur Wien
 Department für Wald- und Bodenwissenschaften

Extreme Wetterereignisse nehmen zu:



MAZ online

Phänomen ³ und Richtung des Trends	Wahrscheinlichkeit eines zukünftigen Trends, basierend auf den Projektionen für das 21. Jahrhundert unter Verwendung der SRES-Szenarien
Wärmere und weniger kalte Tage und Nächte über den meisten Landflächen	Praktisch sicher ^d
Wärmere und häufigere heiße Tage und Nächte über den meisten Landflächen	Praktisch sicher ^d
Wärmeperioden / Hitzewellen. Zunahme der Häufigkeit über den meisten Landflächen	Sehr wahrscheinlich
Starkniederschlagsereignisse. Die Häufigkeit (oder der Anteil der Starkniederschläge am Gesamtniederschlag) nimmt über den meisten Gebieten zu	Sehr wahrscheinlich
Von Dürren betroffene Flächen nehmen zu	Wahrscheinlich
Die Aktivität starker tropischer Wirbelstürme nimmt zu	Wahrscheinlich
Zunehmendes Auftreten von extrem hohem Meeresspiegel (ausgenommen Tsunamis) ^g	Wahrscheinlich ⁱ

Praktisch sicher

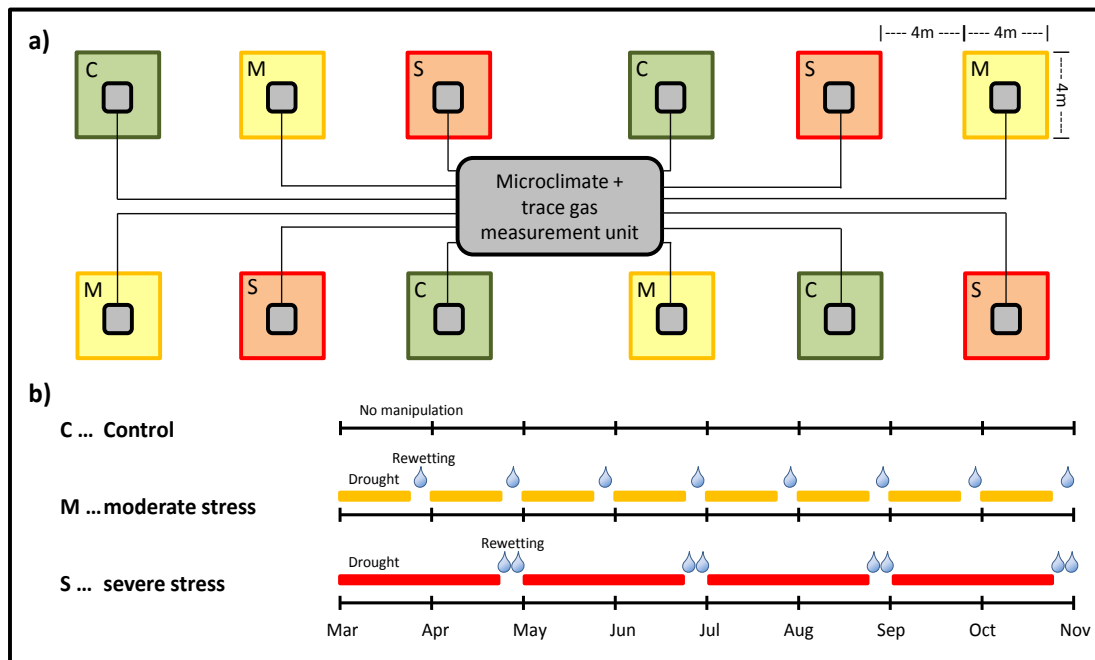
Praktisch sicher

Sehr wahrscheinlich

Sehr wahrscheinlich über allen Landflächen

Wie wirken extreme Wetterereignisse auf die Nitratauswaschung?

BOKU - Lehrforst Rosalia bei Forchtenstein:
Was bewirken Dürren und Starkregen?



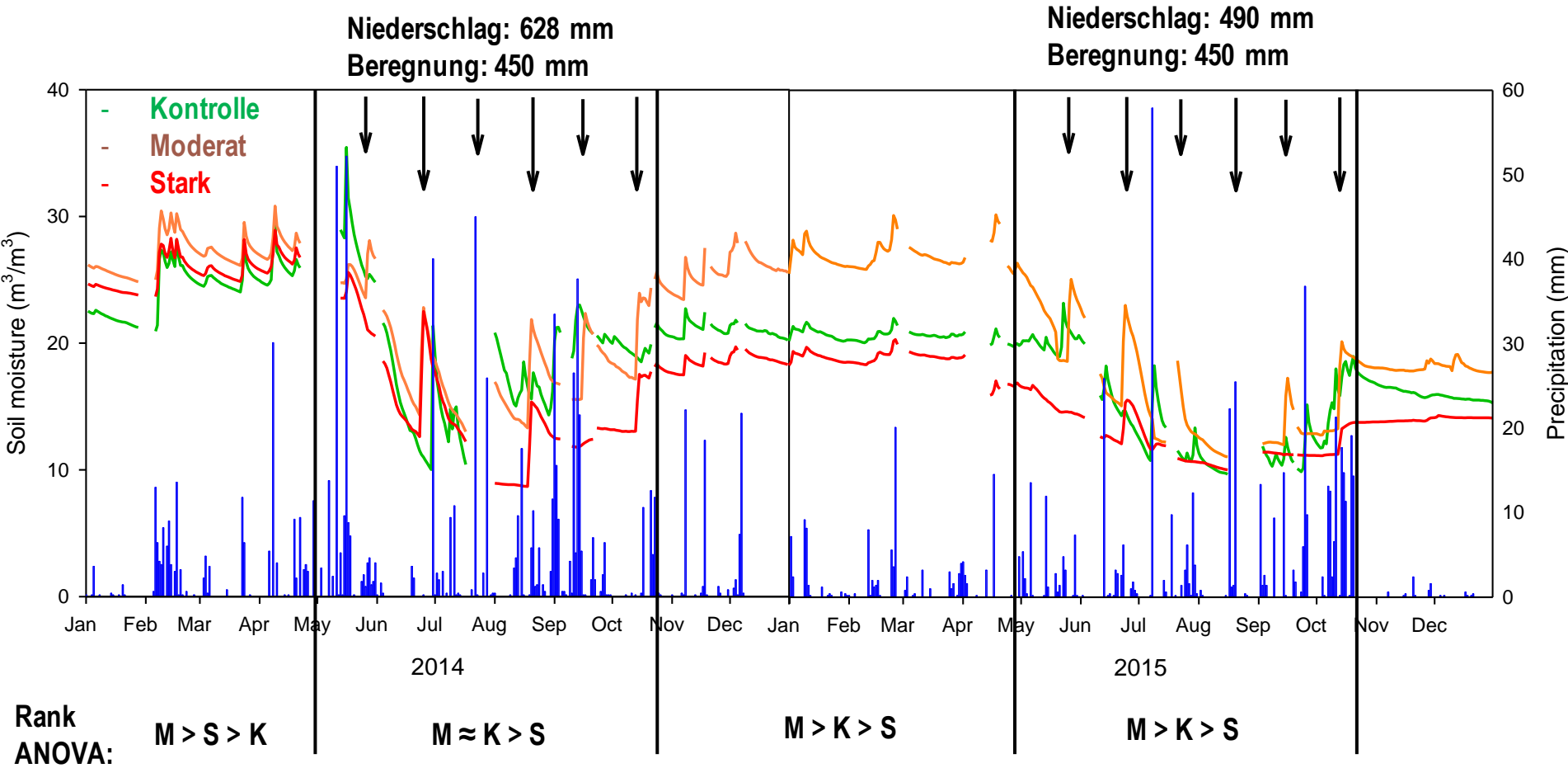
Messungen im Lehrforst Rosalia:
ACRP Projekt DRAIN (Zimmermann et al.)
AXA Projekt (Sonja Leitner)
Dialyse im Waldboden (Pia Minixhofer)





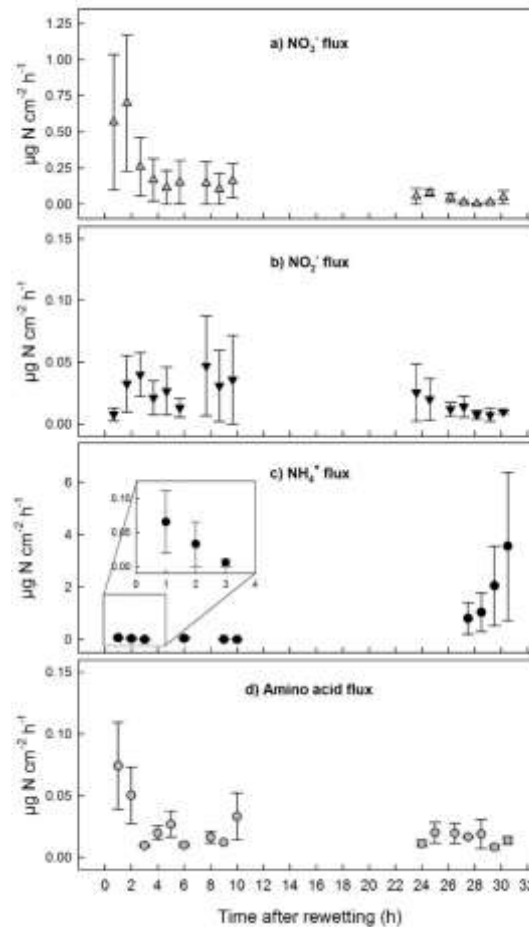
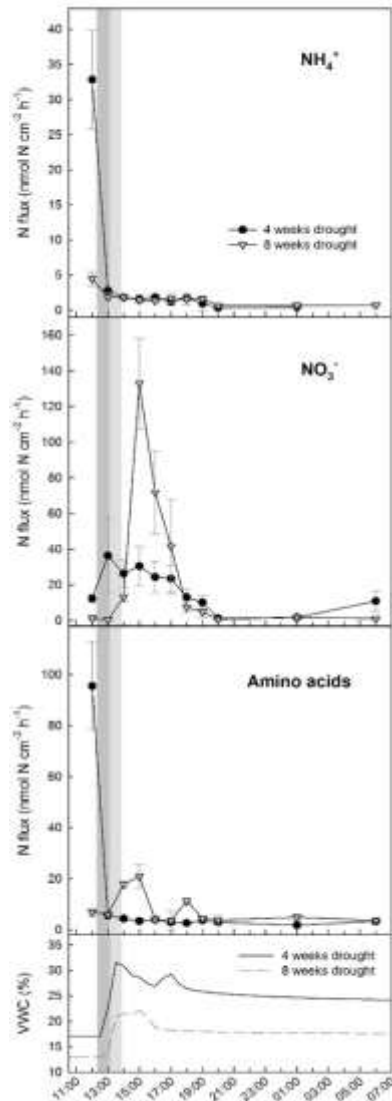
Resultate 2014/2015

Niederschlag und Bodenfeuchte



Wasser

Nitratauswaschung nach Dürre



Kalifornien 2016

07.06.2017

Leitner et al. Appl. Soil Ecology 2017
Leitner et al, SBB submitted
Fotos: Pia Minixhofer, Sophie Zechmeister

28

Extreme Wetterereignisse nehmen zu:



MAZ online

Mit Hilfe einer medizinischen Dialyseapparatur kann man zeitlich hoch auflösend die Freisetzung von Nitrat im Boden nach einem Starkregen verfolgen

Biodiversitätsverluste aufgrund von Stickstoff

4.4 Enrichment by Chemical Fertilizers and Urban Waste Products

55

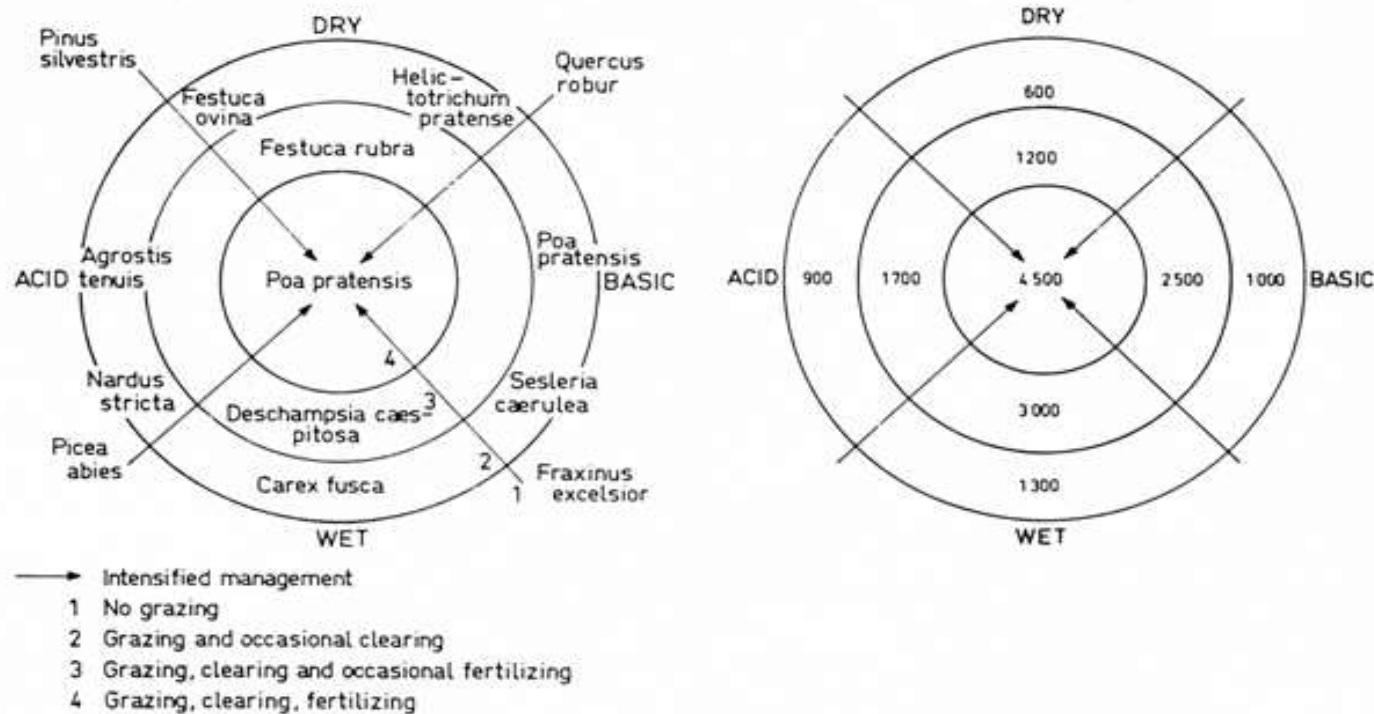


Fig. 4.1. Changes in dominating grass species and net primary production in the *field layer* when different types of Scandinavian forests are exposed to increasing human influence (grazing, clearing, and fertilization). Net primary production in *right* figure given as kg dry matter ha⁻¹ year⁻¹ (Steen 1980)

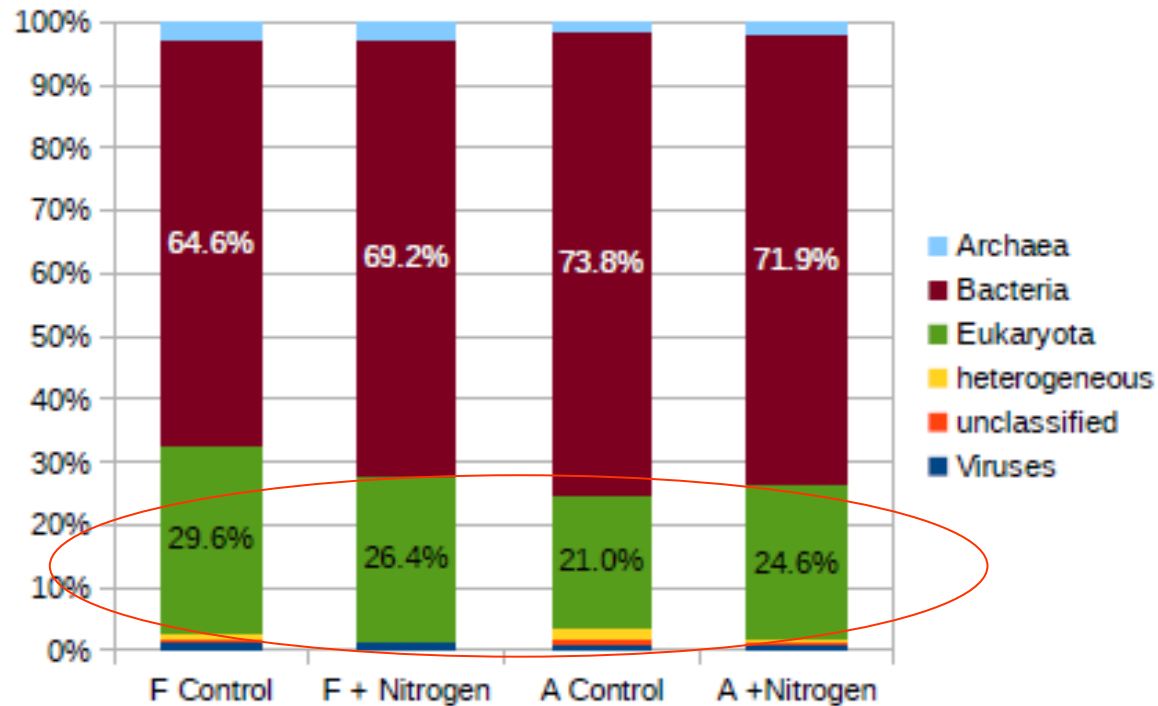
Vielfalt?

„bliss1“

Vielfalt



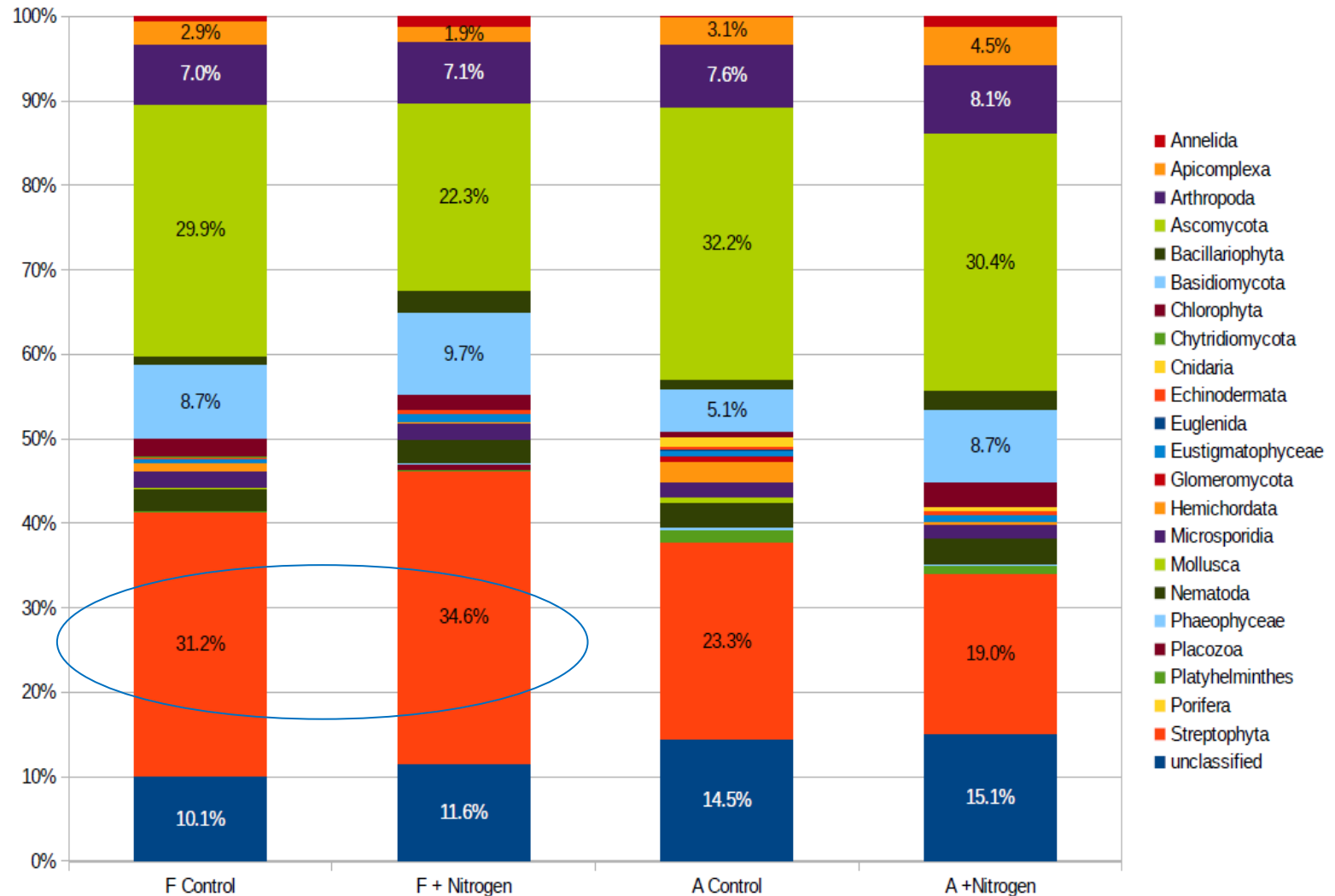
Bodenmetaproteom: Atpal - Domains



Vielfalt

Bodenbiodiversität

Alptal: Eukaryota



Forstner, Keiblinger, Zechmeister-Boltenstern, Gerzabek, Riedel et. al 2015





Treibhausgase

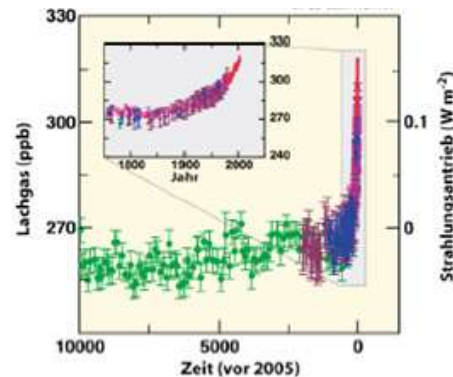
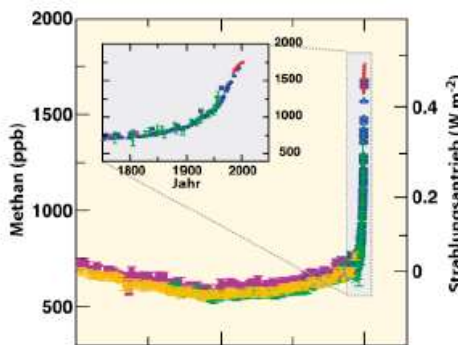
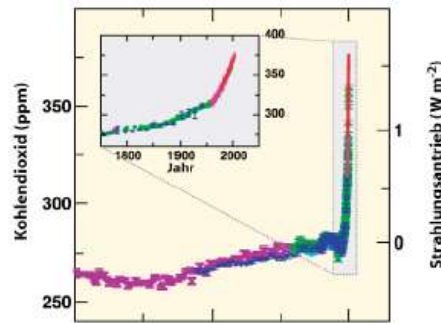
Boden und Klima: Treibhausgase aus dem Boden



Universität für Bodenkultur Wien
Department für Wald- und Boden-
wissenschaften

Zunahme der Treibhausgase in der Atmosphäre

Kohlendioxid CO₂
Methan CH₄
Lachgas N₂O



**Circa die Hälfte der
Treibhausgase stammt aus
Böden**

IPCC 2007, 2013

Globale Treibhausgas-Quellen und der Beitrag der Böden



Treibhausgas	Böden	Anthropogene Quellen (ausgenommen Böden*)	Natürliche Quellen (ausgenommen Böden)	GESAMT	Beitrag der Böden zu den globalen THG- Emissionen (%)
CO ₂ (Pg C a ⁻¹)	98.0	11.2	100.5	210.0	47
CH ₄ (Tg C a ⁻¹)	191.0	221.0	97.0	509.0	38
N ₂ O (Tg N a ⁻¹)	9.3	5.5	4.0	18.8	49
Total GWP (Pg CO₂-eq a⁻¹)	379	53	377	809	47

Zechmeister-Boltenstern, Díaz-Pinés, Spann, Hofmann, Schnecker and Reinsch, 2017, Soils the Hidden Part of Climate. Advances in Soil Sciences, in press

Modellierung von N₂O aus der Landwirtschaft

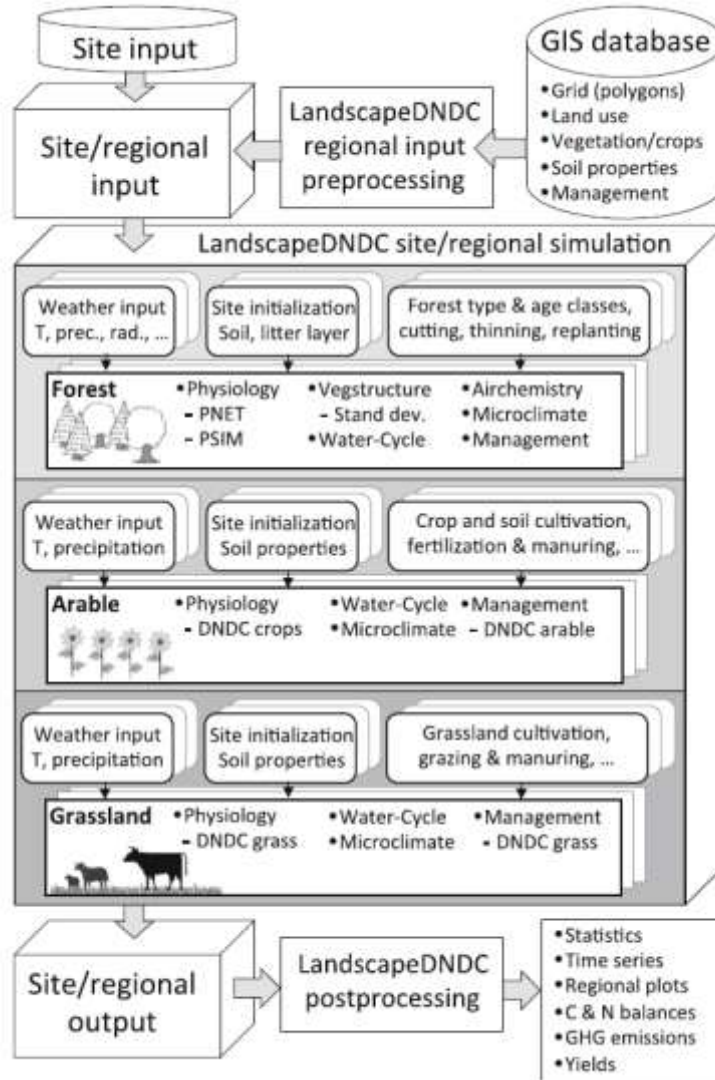


Fig. 1: Datenfluss des LandscapeDNDC für Standort-/Region-Input

Quelle: Haas, Klatt, Fröhlich, Kraft, Werner, Kiese, Grote, Breuer, Butterbach-Bahl, *Landscape Ecol* (2013) 28: 615-636. 37

Beispiel Ennstal

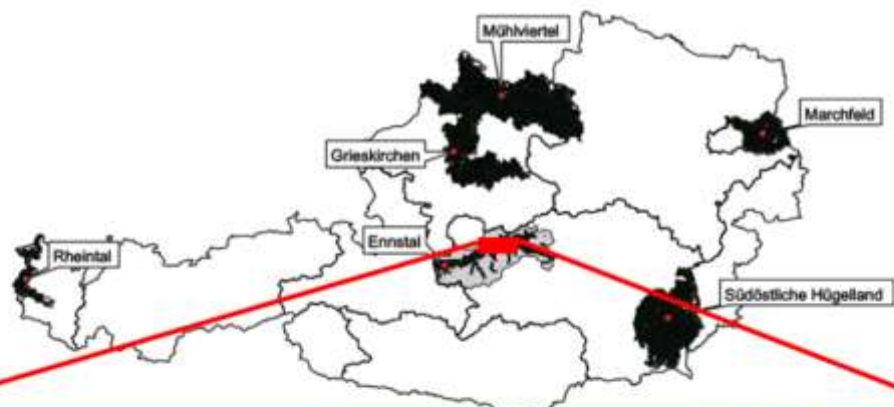
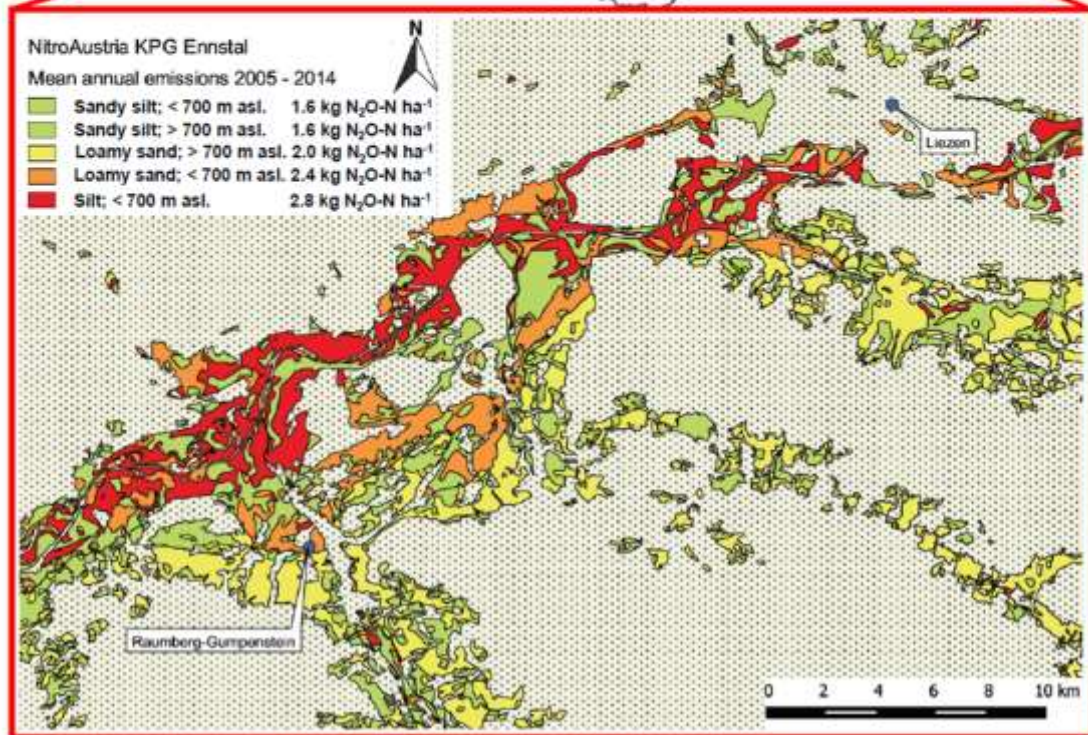
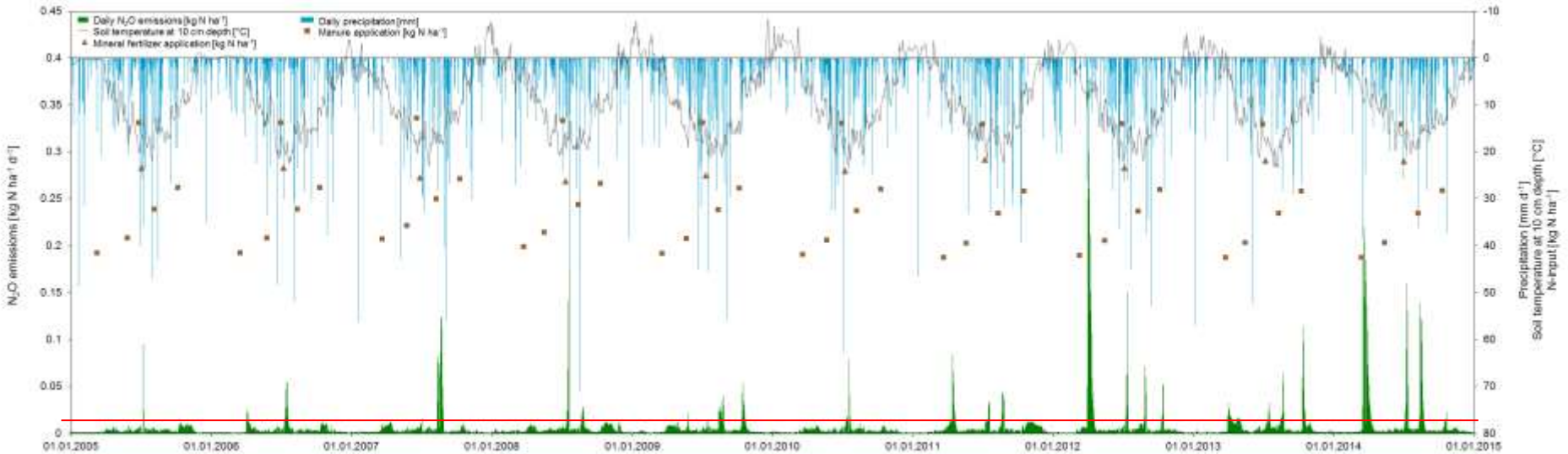


Foto: Zechmeister-Boltenstern

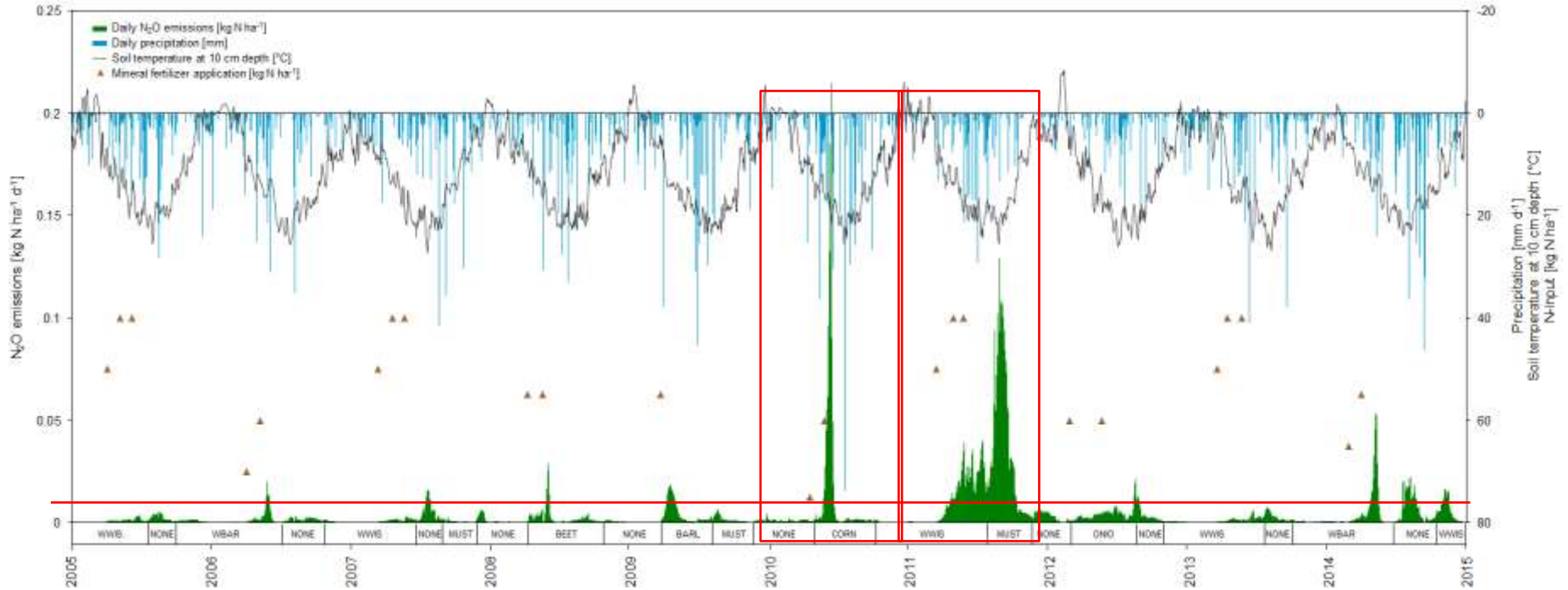


Grünland – Ennstal – LOSA (lehmiger Sand) – intensiv



- Kumulierte Lachgas-Emissionen von 2005 bis 2014: 23 kg ha⁻¹
- Peaks höher als 0.01 kg ha⁻¹ d⁻¹ = 13.6 kg ha⁻¹ = 59.1 % der gesamten Lachgas-Emissionen
- Ausbringung organischer und mineralischer Dünger innerhalb einer Woche im Juni → N₂O-N peak in jedem Jahr





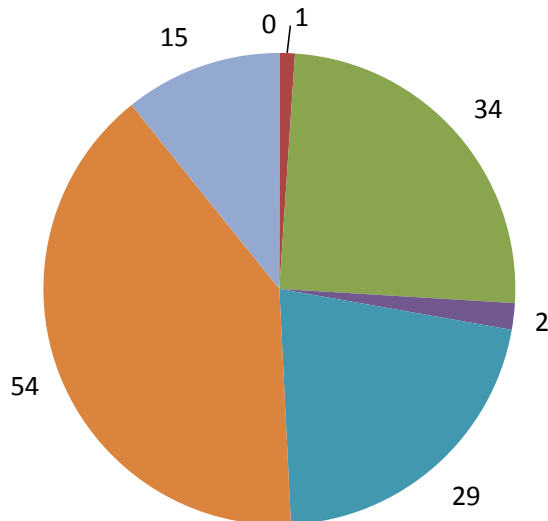
- Kumulierte Lachgas-Emissionen von 2005 bis 2014: 15.4 kg ha⁻¹
- Peaks höher als 0.01 kg ha⁻¹ d⁻¹ = 10.4 kg ha⁻¹ = 67.5 % der gesamten Lachgas-Emissionen
- 2010: Hohe Düngemengen (140 kg N ha⁻¹ innerhalb von zwei Wochen), kontinuierlicher Niederschlag, steigende Bodentemperatur
- 2011: WWIS im Winter → Ernterückstände werden eingearbeitet → 2010 und 2011: 78 % der Peak-Emissionen!



Stickstoffverluste am Beispiel Grieskirchen

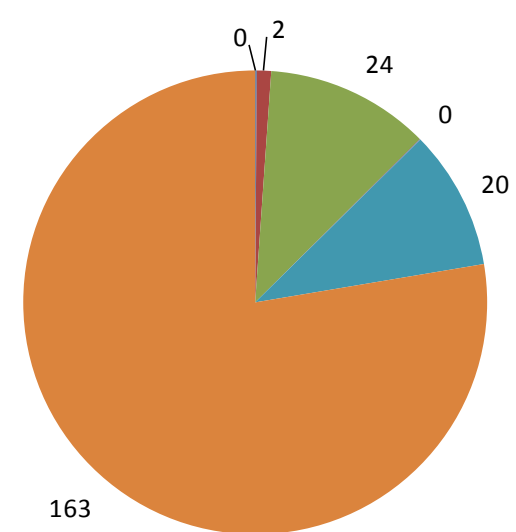


Acker [kg N ha⁻¹]



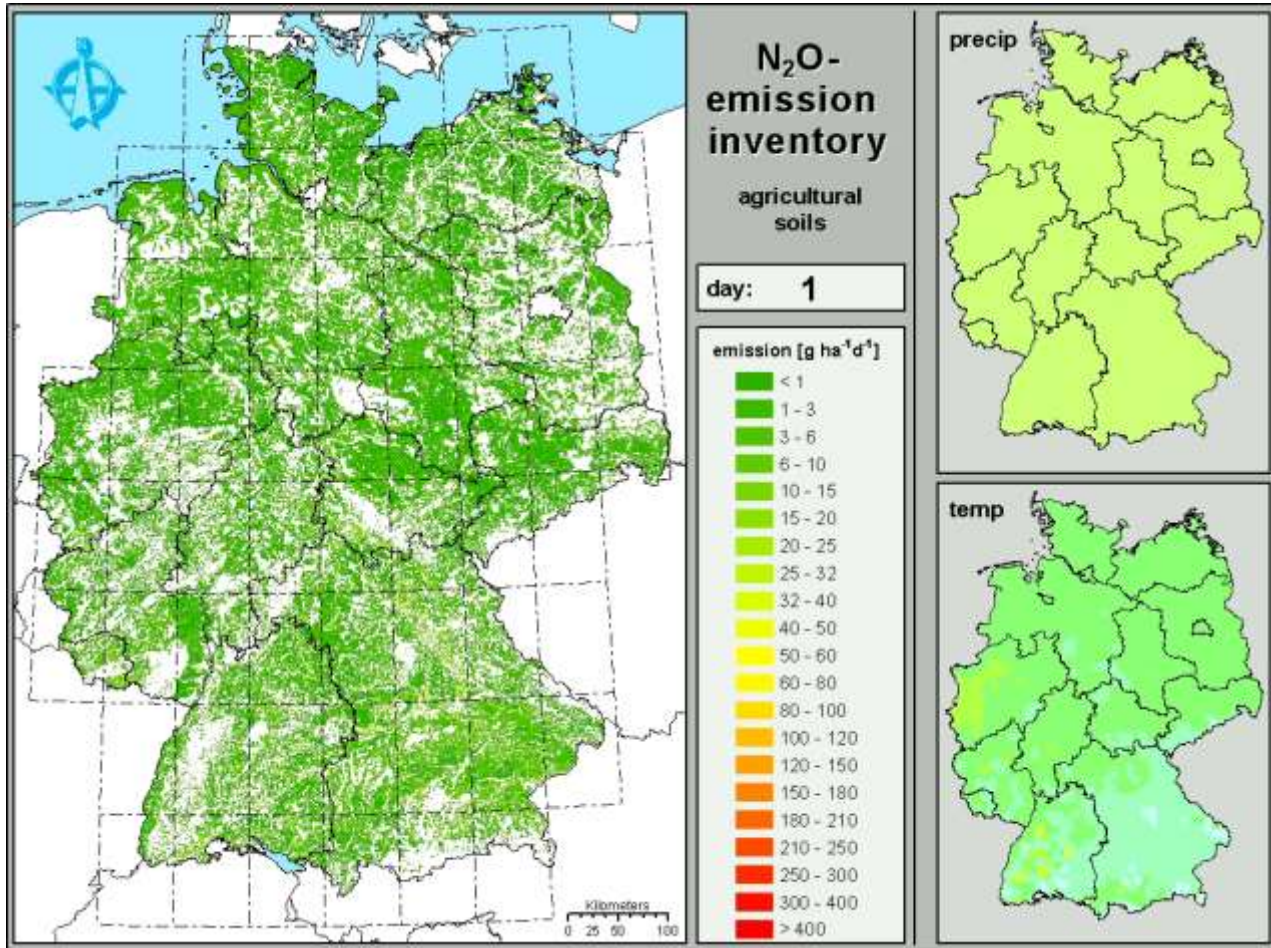
- NO Emissionen
- N₂O Emissionen
- N₂ Emissionen
- NH₃ Emissionen
- NO₃ Auswaschung
- Korn Ertrag
- Stroh Ertrag

Grünland [kg N ha⁻¹]



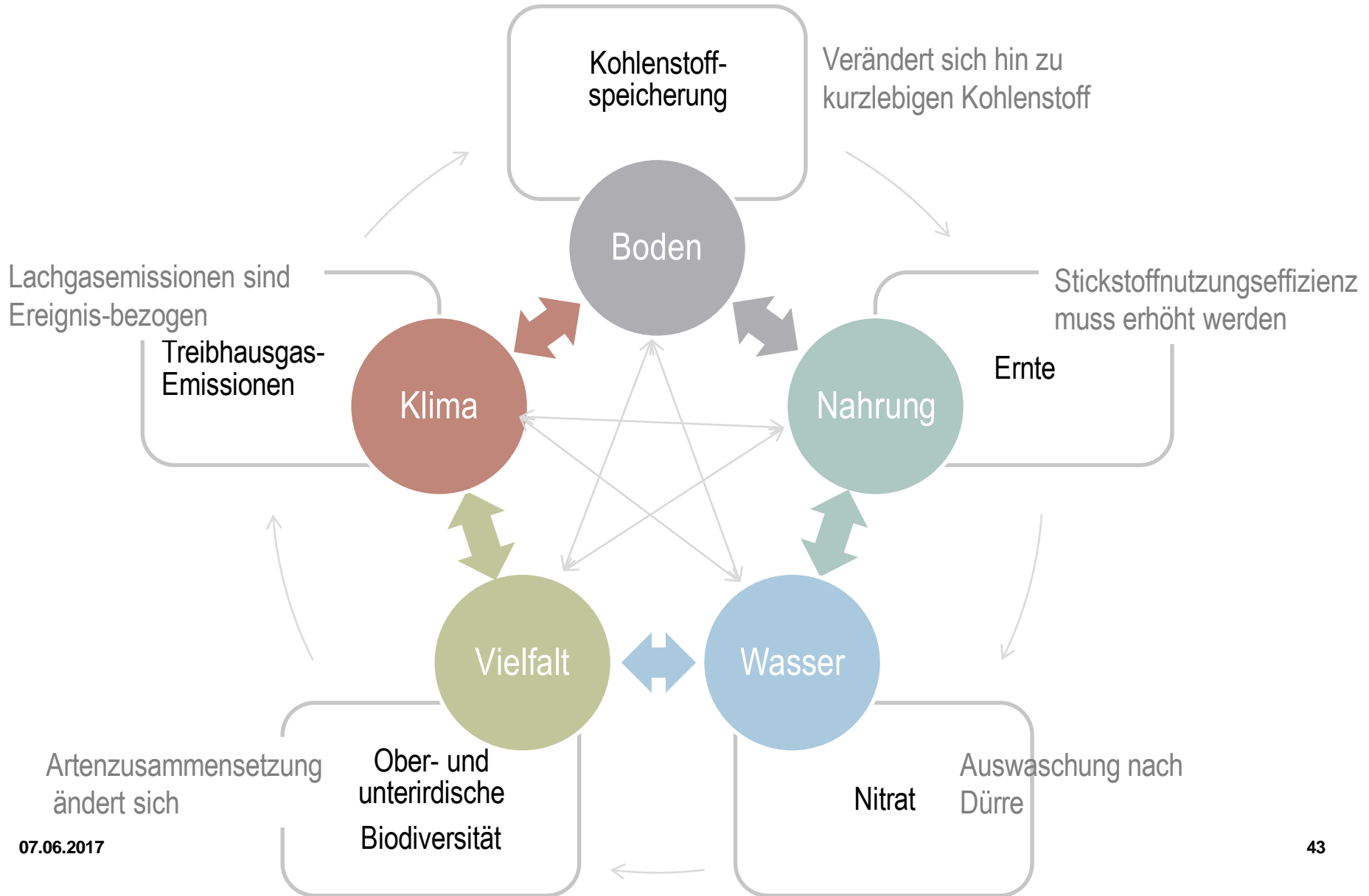
Maier, Foldal (Klimafonds Projekt NitroAustria: Amon, Zehntner, Dersch,, Anderl, Schwarzl, Kitzler, Haas, Zechmeister-Boltenstern et al)

N₂O Emissionen: Upscaling



Wenn wir die „hot spots“ und „hot moments“ der N₂O Emissionen kennen, können wir gezieltere Maßnahmen ergreifen.

Stickstoff beeinflusst



Danke an alle Mitarbeiter des Instituts für Bodenforschung und an Sie für Ihre Aufmerksamkeit



Universität für Bodenkultur Wien
Department für Wald- und Boden-
wissenschaften

