

Der neue Emissionsfaktor für direkte Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Böden in Deutschland

Roland Fuß, Gokul Prasad Mathivanan

Thünen-Institut für Agrarklimaschutz



Agriculture, Ecosystems & Environment

Volume 322, 1 December 2021, 107640



New N₂O emission factors for crop residues and fertiliser inputs to agricultural soils in Germany

Gokul Prasad Mathivanan ^a, Max Eysholdt ^b, Maximilian Zinnbauer ^b, Claus Rösemann ^a, Roland Fuß

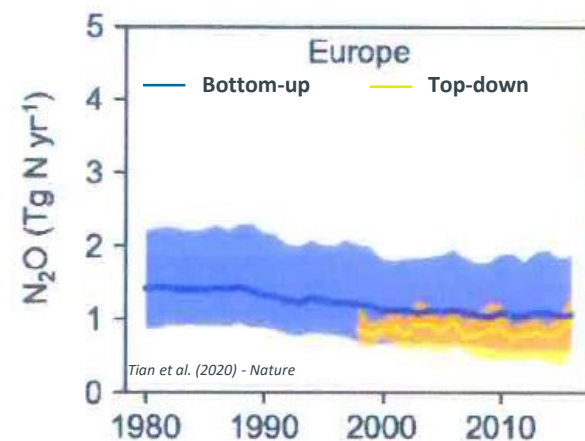
10.11.2021

1. Jahrestagung TheKLa

Hintergrund

TABLE 11.1 (UPDATED)
DEFAULT EMISSION FACTORS TO ESTIMATE DIRECT N₂O EMISSIONS FROM MANAGED SOILS

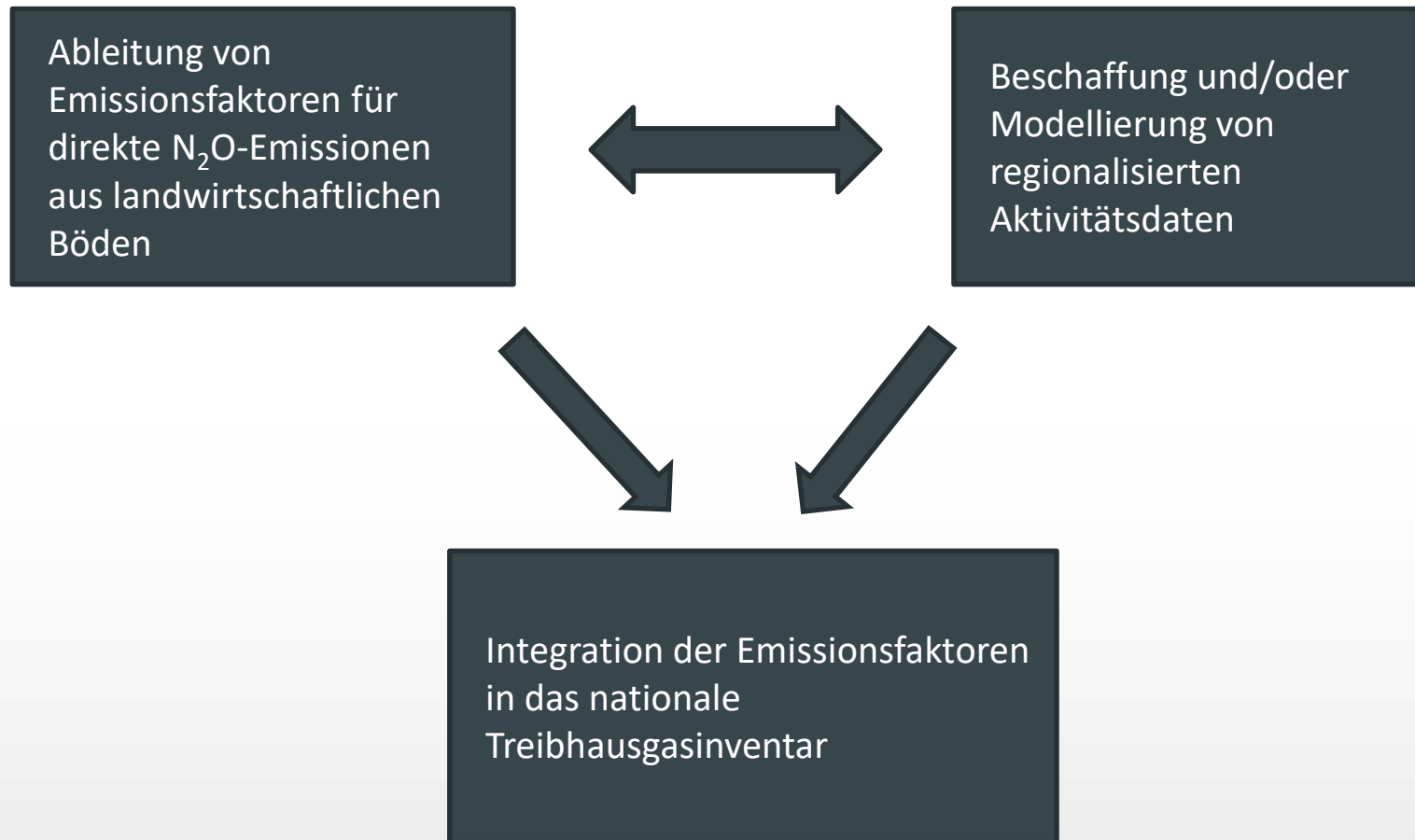
Emission factor	Aggregated		Disaggregated		
	Default value	Uncertainty range	Disaggregation ⁴	Default value	Uncertainty range
EF ₁ for N additions from synthetic fertilisers, organic amendments and crop residues, and N mineralised from mineral soil as a result of loss of soil carbon ¹ [kg N ₂ O–N (kg N) ^{–1}]	0.010	0.001 – 0.018	Synthetic fertiliser inputs ⁵ in wet climates	0.016	0.013 – 0.019
			Other N inputs ⁶ in wet climates	0.006	0.001 – 0.011
			All N inputs in dry climates	0.005	0.000 – 0.011



CLIMATE CHANGE National Inventory Report, Germany – 2020

IPCC Categories	Activity	Emissions of	Level Base Year	Level Base Year + LULUCF	Level 1990	Level 1990 + LULUCF	Level 2018	Level 2018 + LULUCF	Level 2018	Level 2018 + LULUCF	KCA decision
3 B, Manure Management	Other animals	CH ₄	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 B, Manure Management	Other animals	N ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 B, Manure Management	Deposition	N ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 D, Agricultural Soils		N ₂ O	•	•	•	•	•	•	•	•	L/T
3 G, Liming		CO ₂	-	-	-	-	-	-	-	•	-/T
3 H, Urea Application		CO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-
3 I, Other carbon-containing fertilisers		CO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-/-

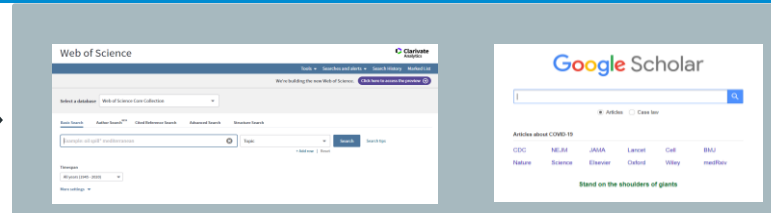
Ziele



Daten aus Deutschland

Datenbank des IPCC 2019 Refinement

23 Studien (217 Datenpunkte) aus
Deutschland



Ausschlusskriterien:

- Labor- oder Modellierungsstudien
- Flächen mit Weidegang
- Inhibitoren oder „coated fertilizers“
- Natürliche Ökosysteme
- < 150 Tage Messzeitraum
- Leguminosen



71 Studien
676 Datenpunkte



Mineralböden

59 Studien
593 Datenpunkte

Organische Böden

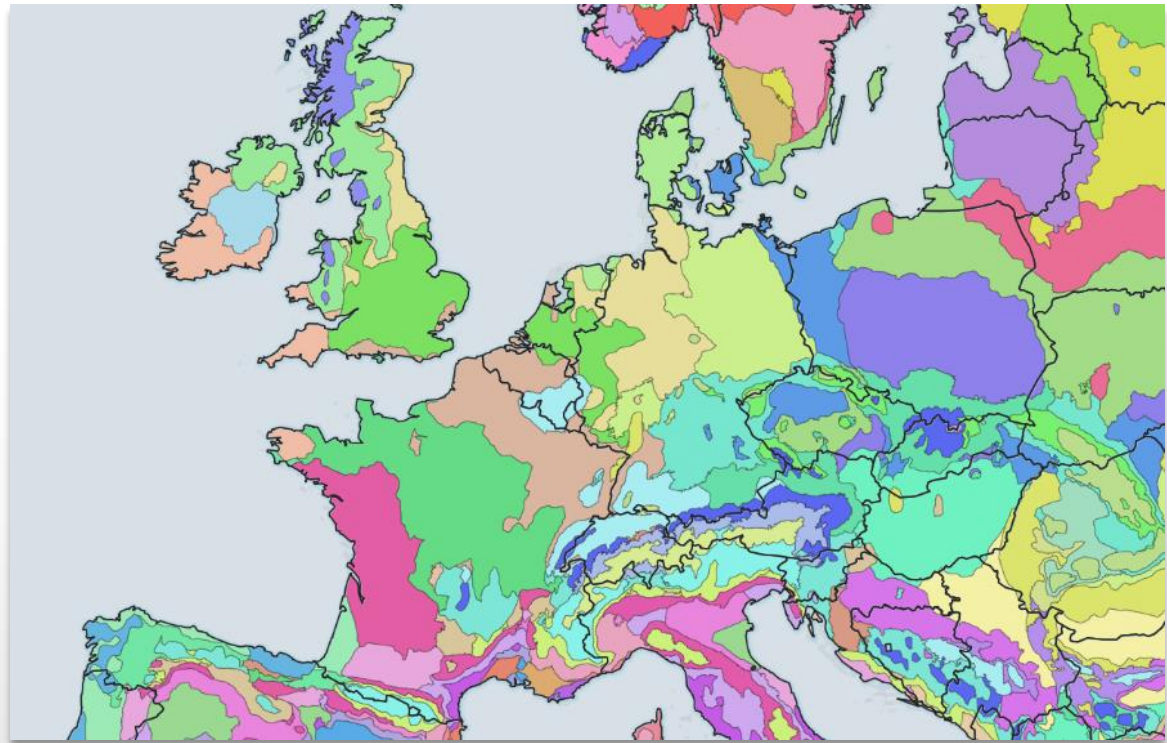
12 Studien
83 Datenpunkte

Ökologische Zonen

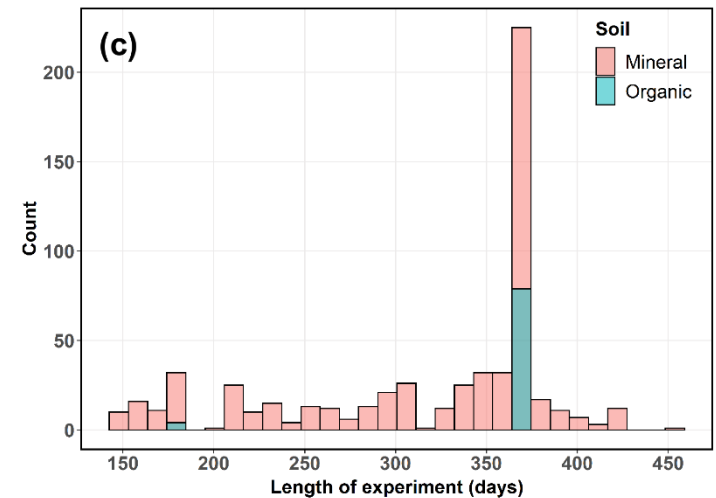
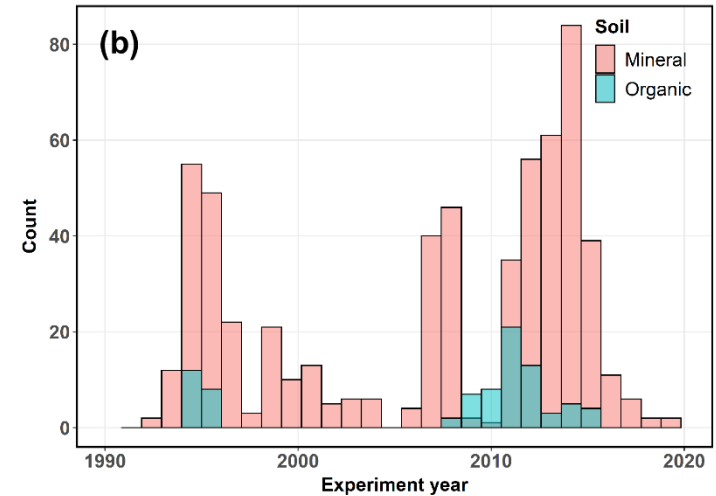
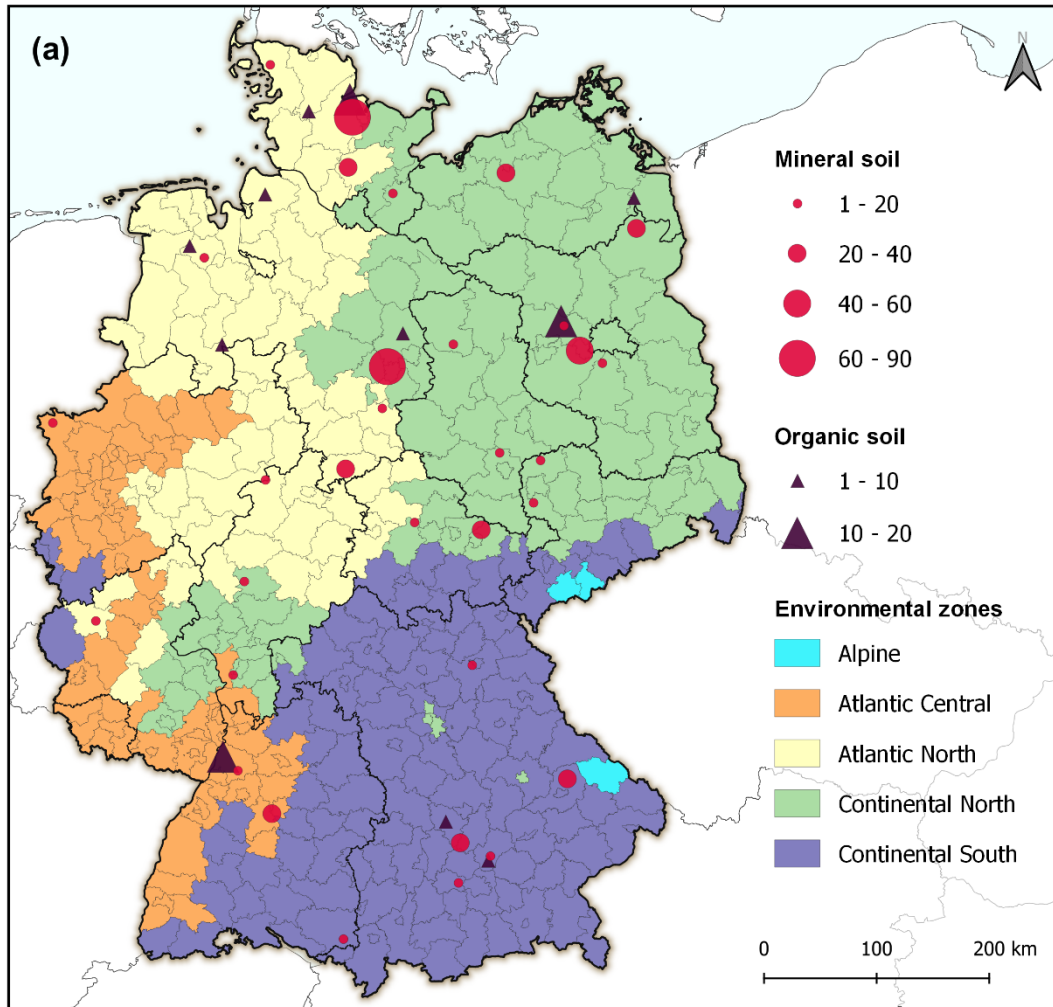
Environmental Stratification of Europe – Metzger et al. (2005)

Abhängig von Klima, Geomorphologie, Meeresbeeinflussung & Breitengrad

→ 4 ökologische Zonen für Deutschland nach Ausschluss von Höhenlagen und Zusammenführung sehr kleiner Zonen



Datenüberblick



(empirische) Modellierung

- **Lineares Modell**

- Achsenabschnitt: Emission ohne N-Eintrag
- Steigung: Emissionsfaktor

→ Linearität vermeidet Aggregierungsbias

→ Daten zeigten keine starke Nichtlinearität

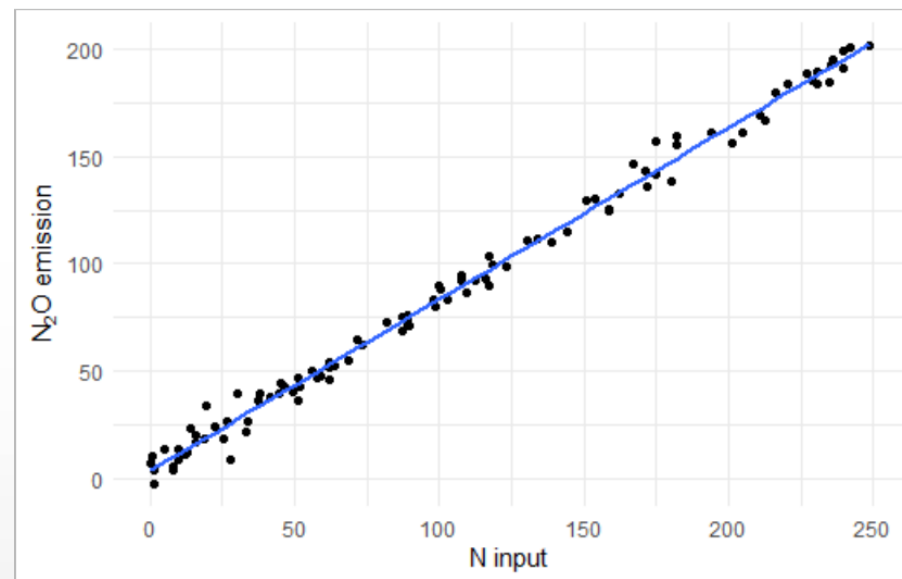


Illustration mit simulierten Daten

(empirische) Modellierung

- **Generalized Linear Model (GLM)**

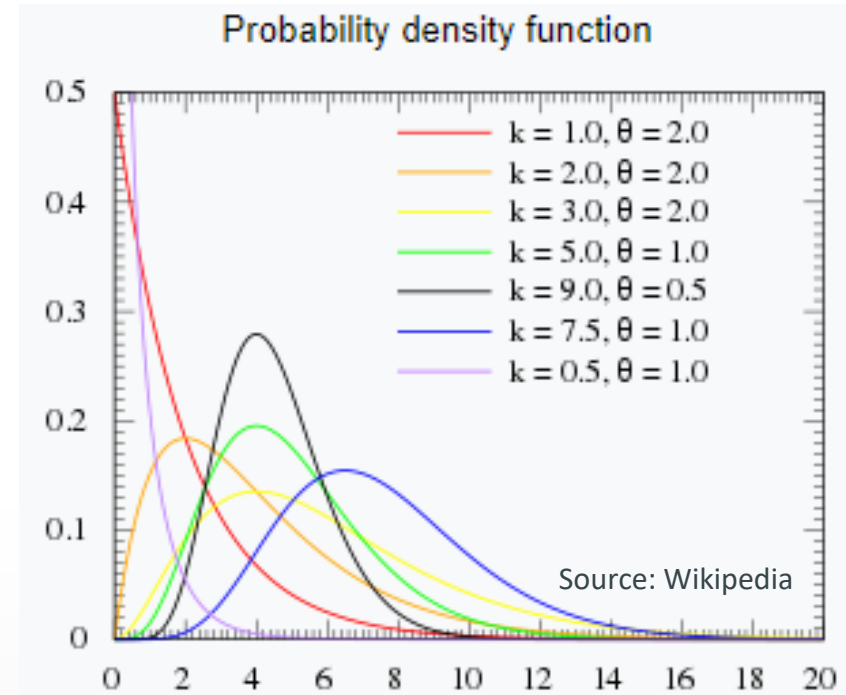
- Regressionsmodelle, die eine andere Verteilung als die Normalverteilung abbilden können.

- **Gamma-Verteilung**

- Symmetrisch bis extrem rechts-schief.
- Spiegelt die empirische Verteilung von N_2O -Emissionen gut wieder.

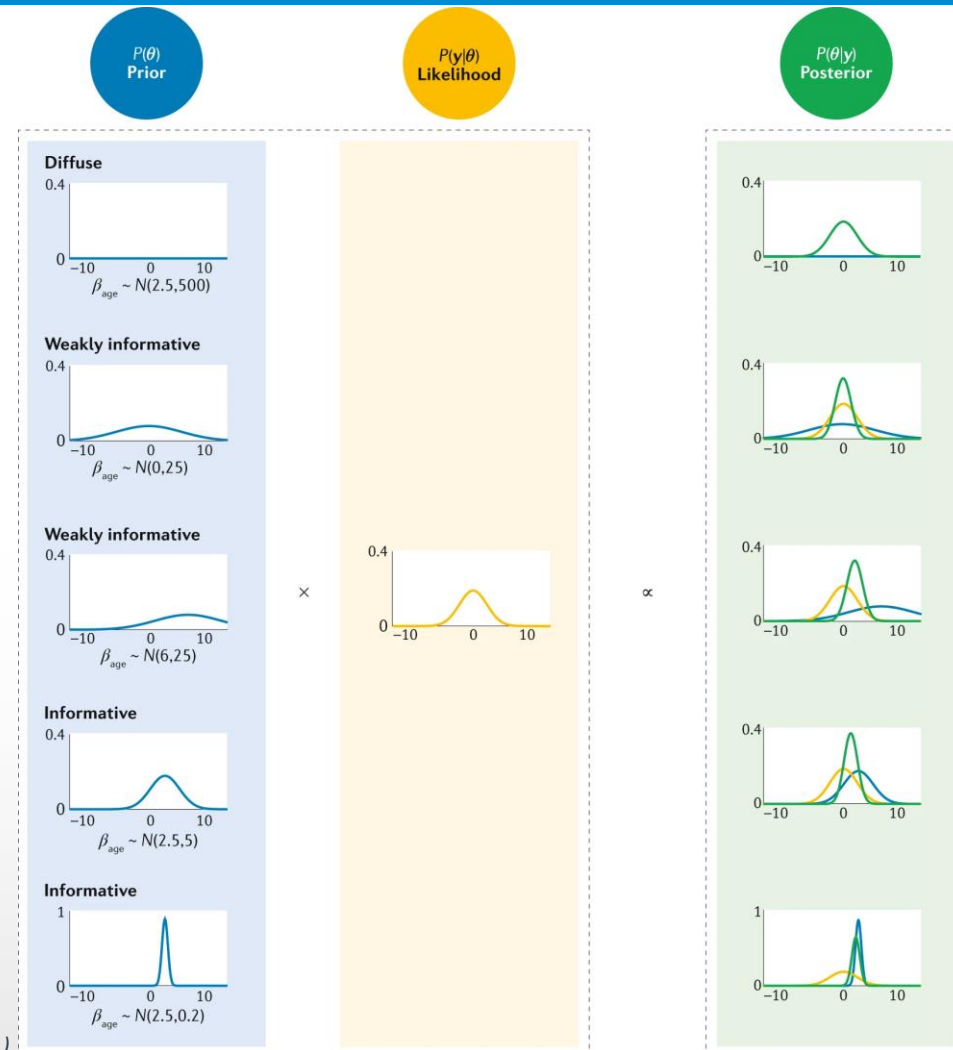
- **Mixed-Effects model**

- Berücksichtigt Korrelationen der Daten innerhalb von Standorten und zeitliche Korrelationen



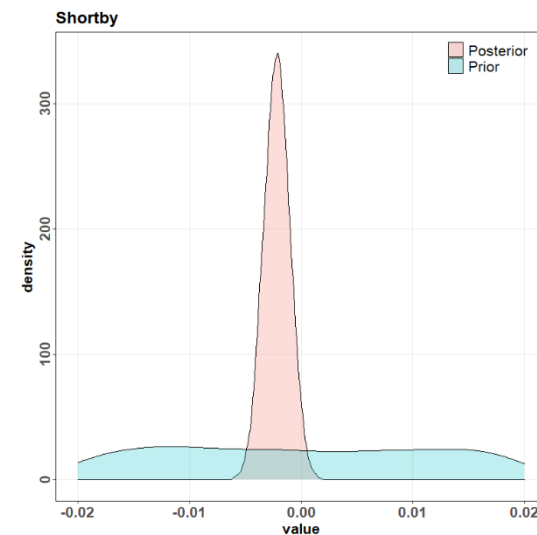
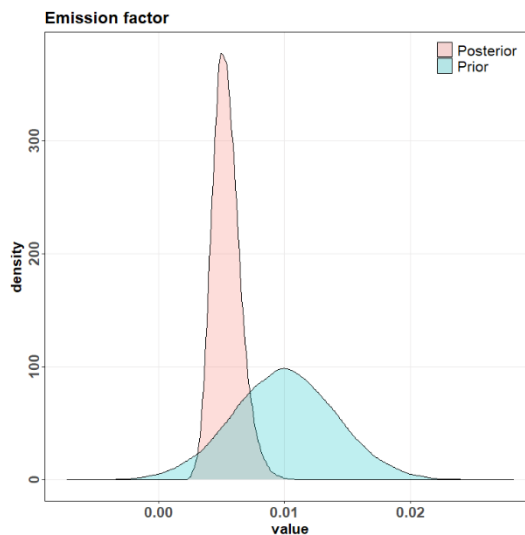
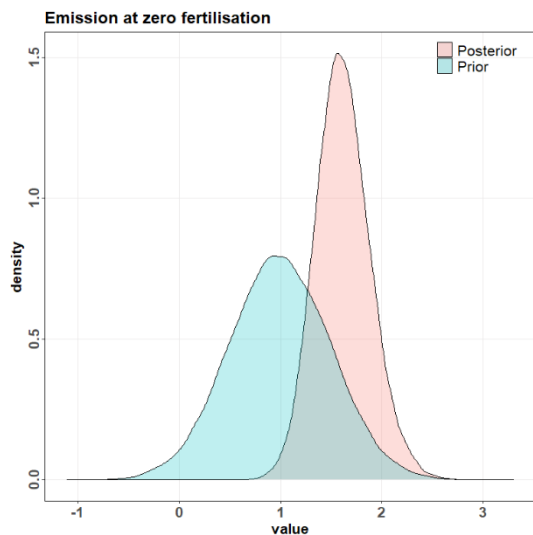
Bayesian modeling

- Einbeziehung bestehenden („prior“) Wissens in das Modell.
- Ergebnis sind Wahrscheinlichkeitsverteilungen anstatt von Punktschätzungen.
- Markov chain Monte Carlo (MCMC)
- Unsicherheiten von Parametern (und Vorhersagen) werden automatisch erzeugt.



Ergebnis (Mineralböden) → Das einfachste Modell

$$\text{N}_2\text{O-N}_{\text{annual}} \sim \text{Nrate} + \text{shortby} + (\text{Nrate} \mid \text{Location}) + (1 \mid \text{Experiment year})$$



	Mean	SD	95% Credible Interval
Intercept (Emission at zero fertilization)	1.62	0.27	1.11 - 2.19
Nrate (Emission Factor)	0.0054	0.001	0.004 - 0.008
Shortby	-0.0022	0.001	-0.005 - 0.0001

Model performance:

RMSE_{fit} : 2.16

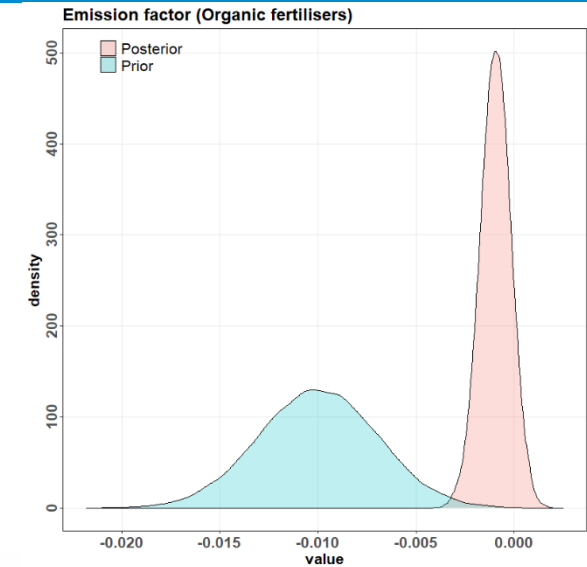
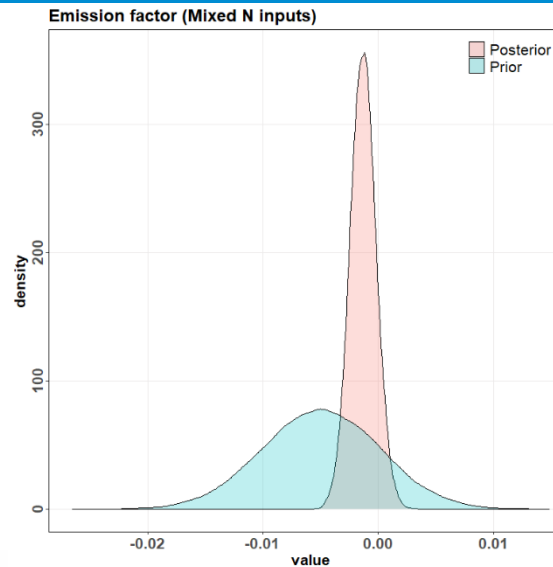
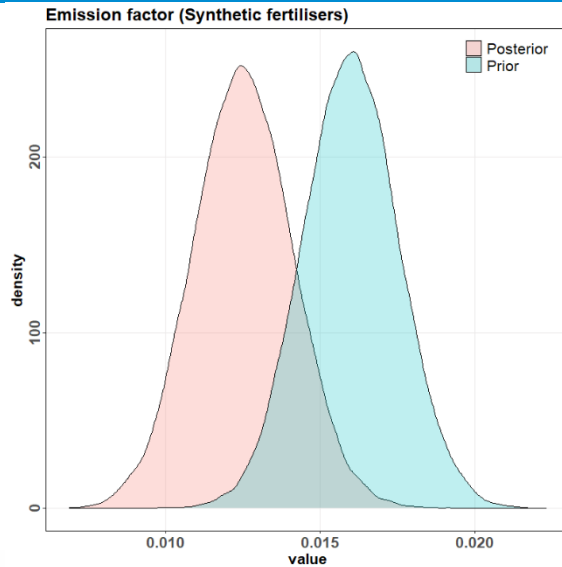
LOOIC : 1799

Model predictive performance:

RMSE_{cv} : **2.85**

Ergebnis (Mineralböden) → Das IPCC-2019-Modell (strong prior)

$$N_2O-N_{\text{annual}} \sim \text{Nrate} + \text{shortby} + \text{Nrate:Fertilization} + (\text{Nrate} \mid \text{Location}) + (1 \mid \text{Experiment year})$$



	Mean	SD	95% Credible Interval
Intercept (Emission at zero fertilization)	1.80	0.30	1.26 - 2.43
Nrate (Synthetic) (Emission Factor)	0.013	0.002	0.01 - 0.02
Shortby	-0.002	0.001	-0.004 - 0.0004
Nrate:Fertilization (Mix)	-0.0013	0.001	-0.004 - 0.0009
Nrate:Fertilization (Organic)	-0.0009	0	-0.003 - 0.0006

Model performance:

RMSE_{fit} : 2.10

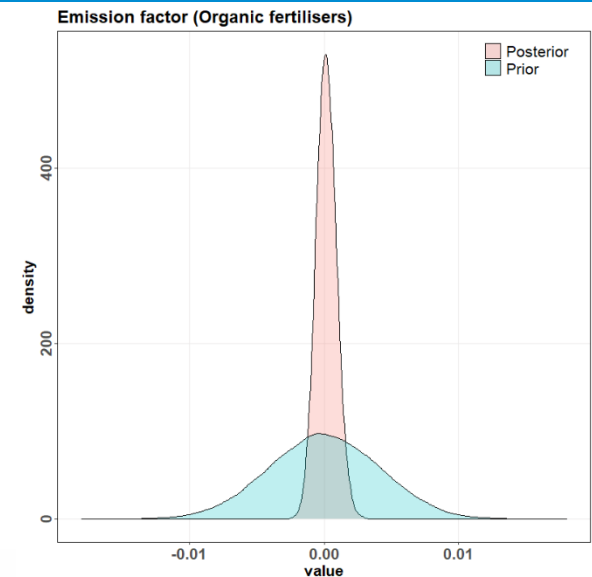
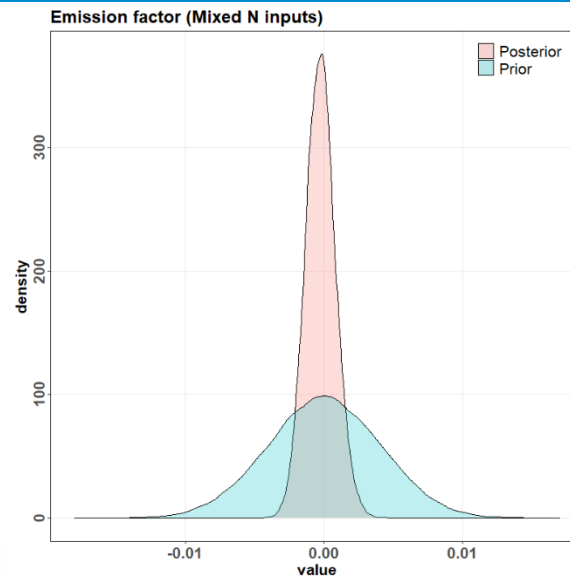
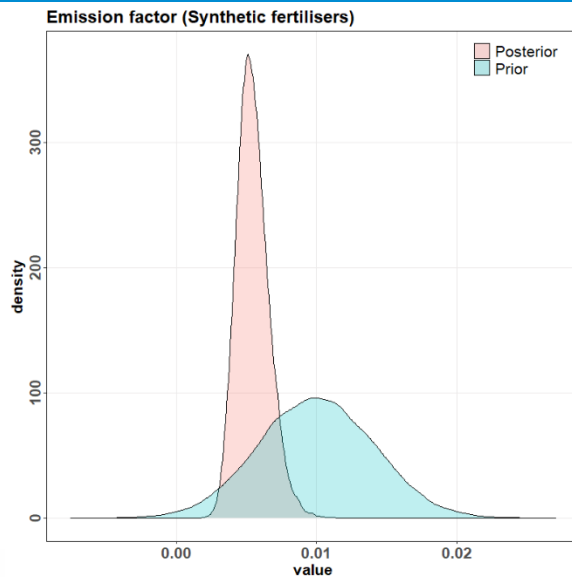
LOOIC : 1808

Model predictive performance:

RMSE_{CV} : **3.25**

Ergebnis (Mineralböden) → Das IPCC-2019-Modell (neutral prior)

$$N_2O-N_{\text{annual}} \sim \text{Nrate} + \text{shortby} + \text{Nrate:Fertilization} + (\text{Nrate} \mid \text{Location}) + (1 \mid \text{Experiment year}) [0 \text{ prior}]$$



	Mean	SD	95% Credible Interval
Intercept (Emission at zero fertilization)	1.62	0.27	1.12 - 2.18
Nrate (Synthetic) (Emission Factor)	0.0055	0.001	0.004 - 0.008
Shortby	-0.0022	0.001	-0.005 - 0.0001
Nrate:Fertilization (Mix)	-0.0003	0.001	-0.002 - 0.002
Nrate:Fertilization (Organic)	0.0002	0.001	-0.001 - 0.002

Model performance:

RMSE_{fit} : 2.16

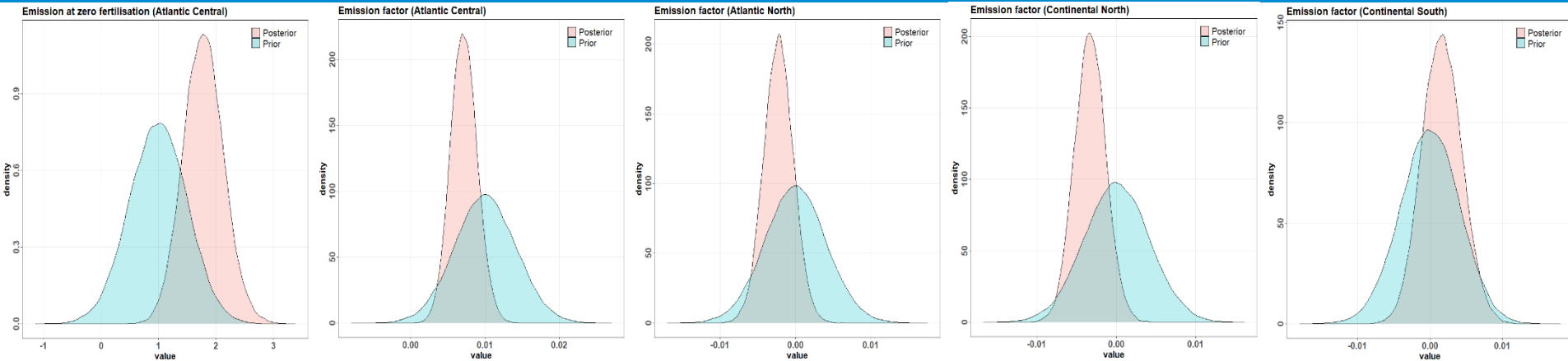
LOOIC : 1804

Model predictive performance:

RMSE_{cv} : **2.85**

Ergebnis (Mineralböden) → Das Ökozonen-Modell

$$N_2O-N_{\text{annual}} \sim \text{Nrate} * \text{Climate zone} + \text{shortby} + (\text{Nrate} \mid \text{Location}) + (1 \mid \text{Experiment year})$$



	Mean	SD	95% Credible Interval
Intercept	1.78	0.35	1.11 – 2.49
Nrate (Atlantic Central)	0.007	0.002	0.004 - 0.01
Atlantic North	-0.36	0.37	-1.08 - 0.37
Continental North	-0.35	0.35	-1.04 - 0.34
Continental South	0.24	0.39	-0.53 - 1.01
Shortby	-0.002	0.001	-0.004 - 0.0003
Nrate:Atlantic North	-0.002	0.002	-0.006 - 0.002
Nrate:Continental North	-0.003	0.002	-0.007 - 0.0006
Nrate:Continental South	0.002	0.003	-0.004 - 0.007

Model performance:

RMSE_{fit} : 2.16

LOOIC : 1800

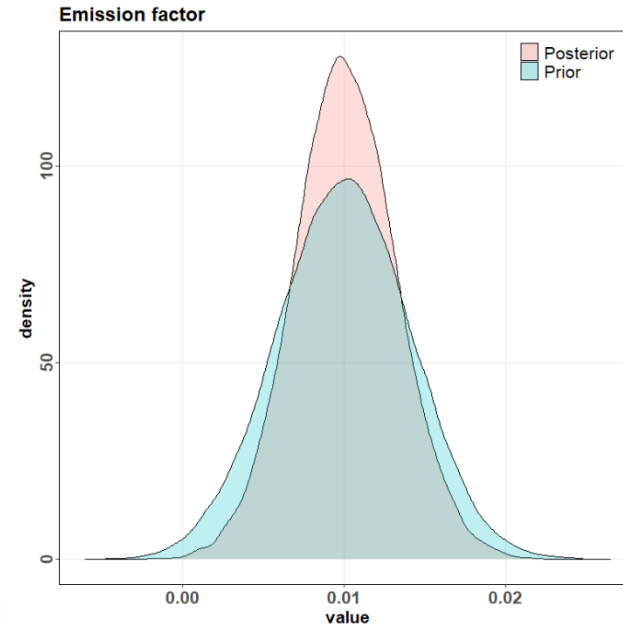
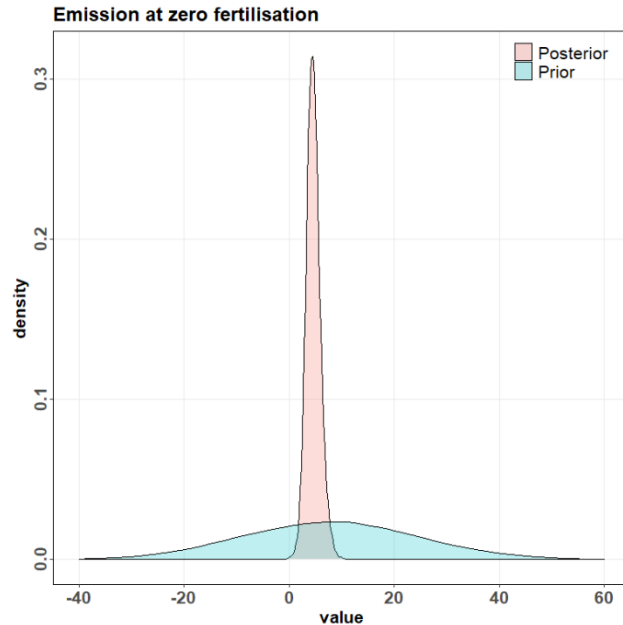
Model predictive performance:

RMSE_{CV} : **2.78**

Climate zone	Emission Factor
Atlantic North (<i>North-West Germany</i>)	0.5%
Continental North (<i>North-East Germany</i>)	0.4%
Atlantic Central (<i>South-West Germany</i>)	0.7%
Continental South (<i>South-East Germany</i>)	0.9%

Ergebnis (Organische Böden)

$\text{N}_2\text{O-N} \sim \text{Nrate} + \text{shortby} + (\text{Nrate} \mid \text{Location}) + (1 \mid \text{Experiment year})$



	Mean	SD	95% Credible Interval
Intercept	4.6	1.34	2.13 – 7.45
Nrate (Emission factor)	0.0101	0.003	0.004 - 0.02
Shortby	-0.01	0.01	-0.03 – 0.003

Model performance:

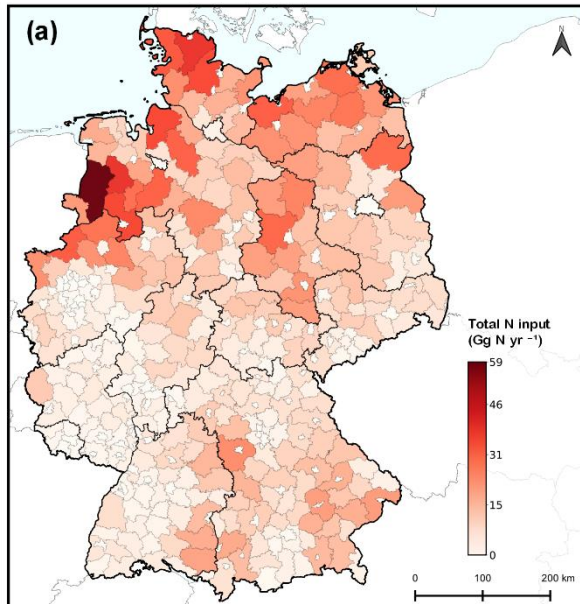
$\text{RMSE}_{\text{fit}} : 6.45$

LOOIC : 402

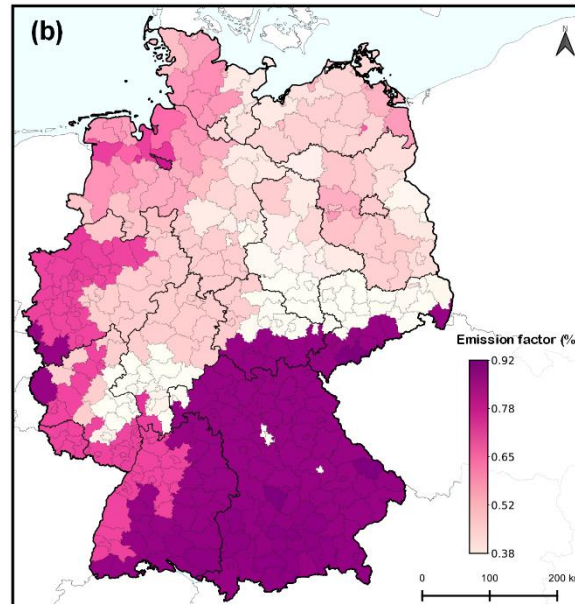
Modellanwendung

Emissionen auf NUTS-3-Ebene (Kreise)

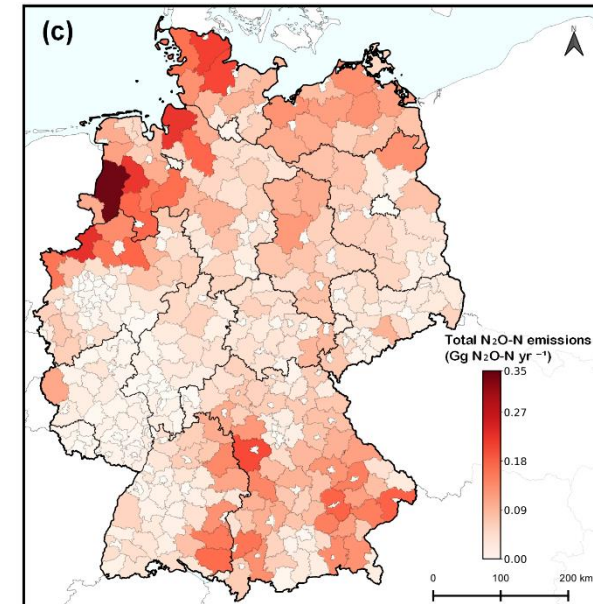
Gesamt-N-Eintrag (2015)



Emissionsfaktor



Gesamt-N₂O-N-Emissionen (2015)



Berücksichtigte N-Einträge:

- ✓ Synthetische N-Dünger
- ✓ Tierische Wirtschaftsdünger
- ✓ Klärschlämme
- ✓ Gärreste (aus Energiepflanzen)
- ✓ Ernteresiduen

Nicht berücksichtigt:

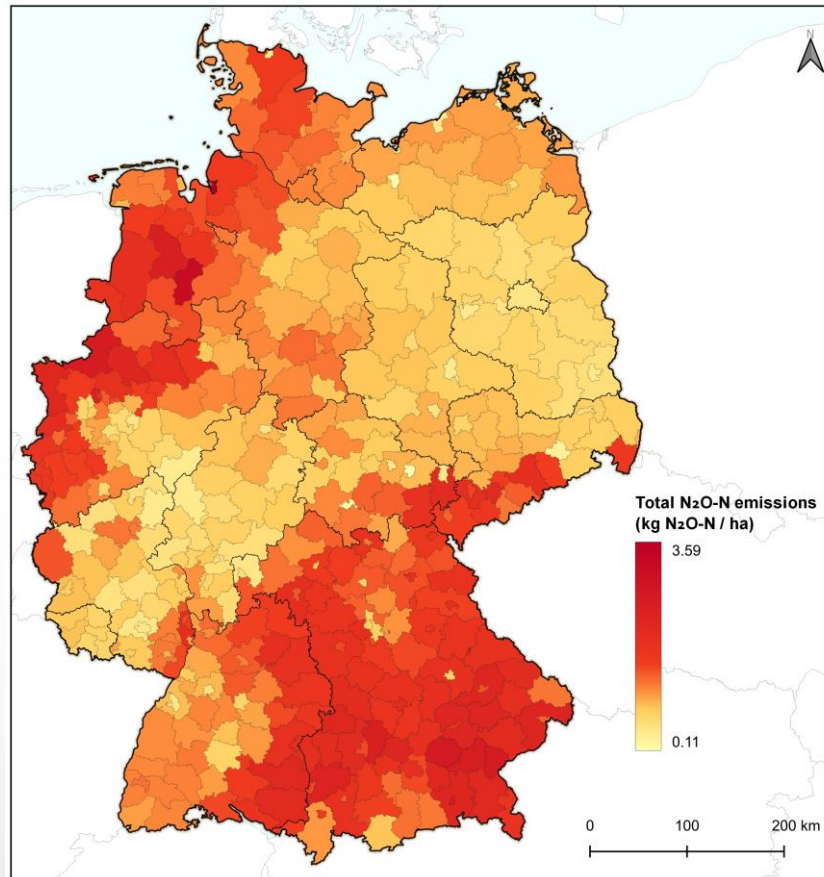
- ✗ N aus Weidegang
- ✗ N aus Mineralisierung der organischen Bodensubstanz

Kreisweise EFs:

- ✓ Flächengewichtetes Mittel zwischen Mineralböden und organischen Böden

Modellanwendung

Emissionen bezogen auf die landwirtschaftliche Fläche auf NUTS-3-Ebene (Kreise)



Implizite Emissionsfaktoren auf nationaler Ebene

N source	Implied Emission Factor (%)
Synthetische N-Dünger	0.61 (0.42 – 0.84)
Wirtschaftsdünger	0.66 (0.46 – 0.90)
Klärschlamm	0.57 (0.41 – 0.77)
Gärreste (aus Energiepflanzen)	0.65 (0.45 – 0.87)
Ernteresiduen	0.59 (0.41 – 0.81)
Insgesamt	0.62 (0.43 – 0.85)
IPCC Tier 1 EF (IPCC 2019)	1 (0.1 – 1.8)

Zusammenfassung

- ✓ Kein signifikanter Effekt der Art des Düngers auf Lachgasemissionen in Deutschland.
- ✓ Modell mit Interaktion zwischen N-Einträge und ökologischen Zonen (Regionen) hat bessere Performance.
- ✓ Der neue („implied“) Emissionsfaktor für Deutschland beträgt 0.6 % (0.4 – 0.9 %).
- ✓ Die Vorjahresschätzung 2020 für die Landwirtschaft (66 Mio. Tonnen CO₂-Äq.) wäre bei Verwendung der neuen Methodik um 4 Mio. Tonnen CO₂-Äq. niedriger gewesen.
- ✓ Die neue Methodik wird in der Berichterstattung Submission 2022 verwendet.
- ✓ Ausblick: Paper zur Nitratauswaschung (Tier-3-Methode indirektes N₂O) in Vorbereitung

Thank you!!

roland.fuss@thuenen.de

gokul.prasad@thuenen.de

Thünen Institute of Climate-Smart Agriculture