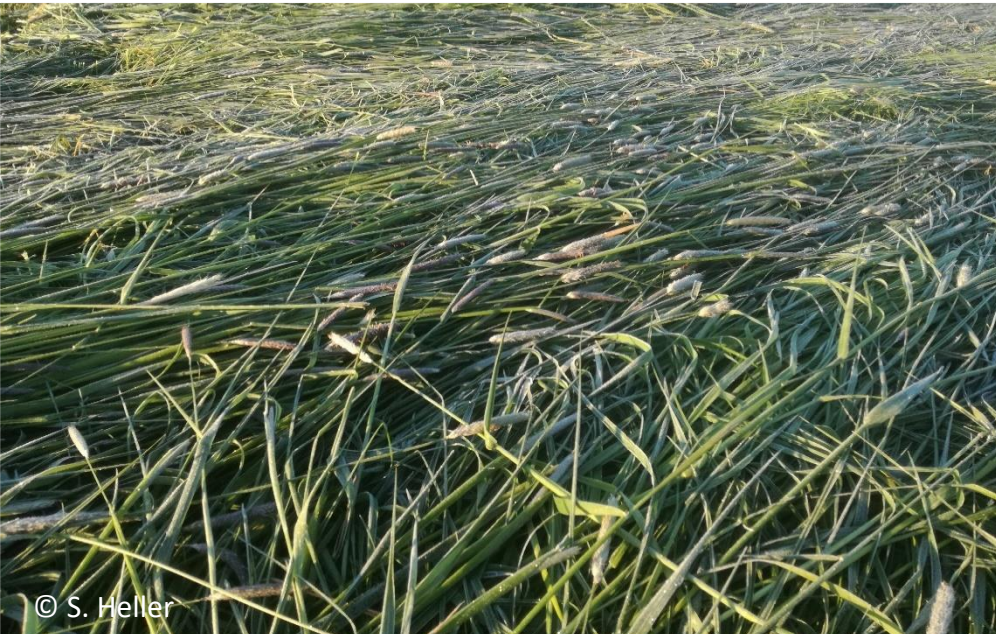


Messung der Treibhausgasemissionen

Bärbel Tiemeyer^{1,*}, Sebastian Heller¹, Willi Oehmke¹, Melanie Bräuer^{1,2}, Ullrich Dettmann^{1,3}

*Kontakt: baerbel.tiemeyer@thuenen.de



Fragestellung

Auswirkung von

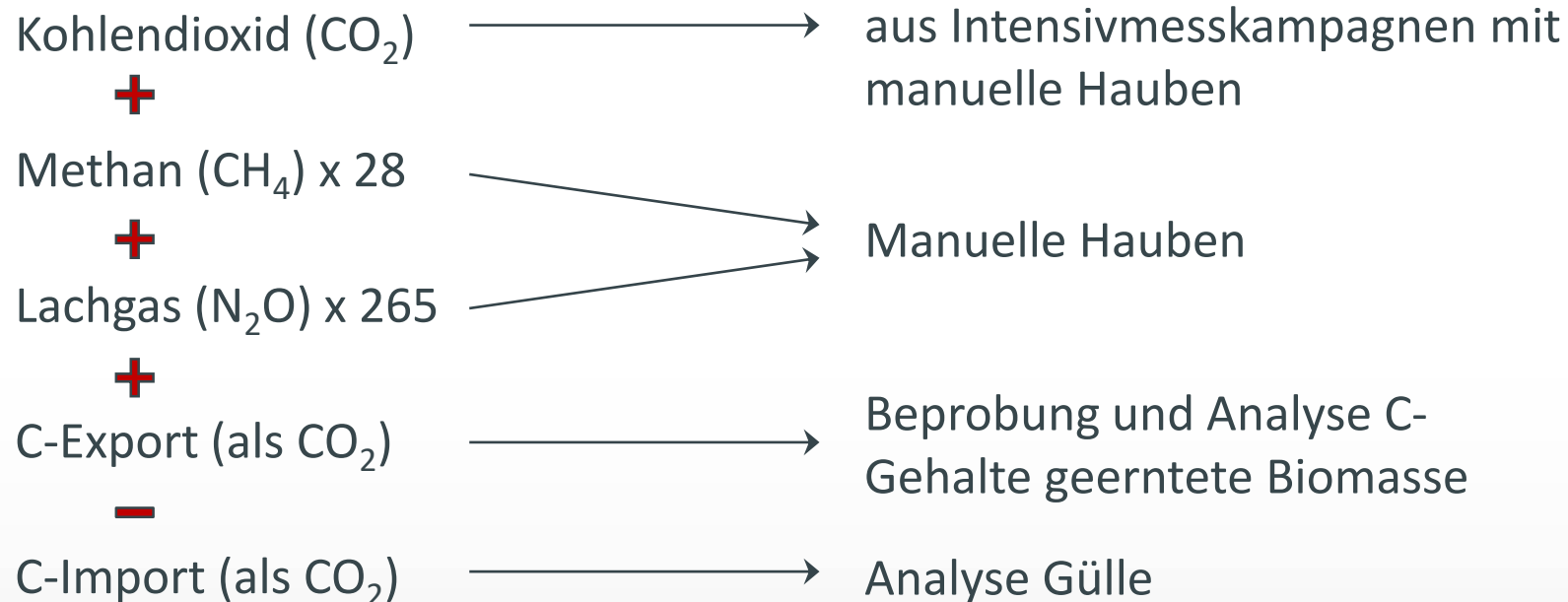
- Wassermanagement (Unterflurbewässerung, Grabeneinstau),
- Grünlanderneuerung (flacher Umbruch, Direktsaat), und
- Kleiüberdeckung (mit unterschiedlichen Eigenschaften der Kleidecke)

auf die Emissionen von Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O).

Methoden: Komponenten der Treibhausgasbilanz

(Tonnen CO_2 -Äquivalente pro Hektar)

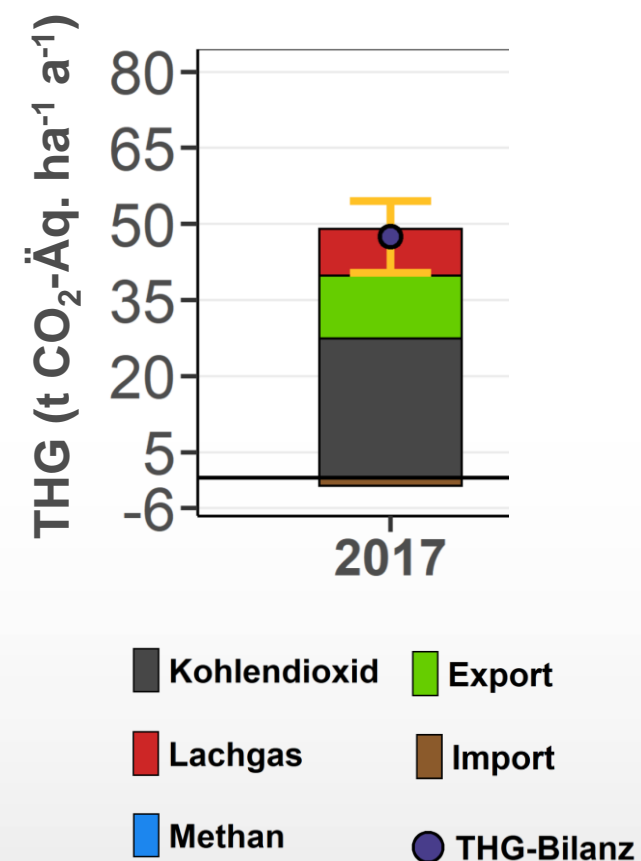
THG-Bilanz =



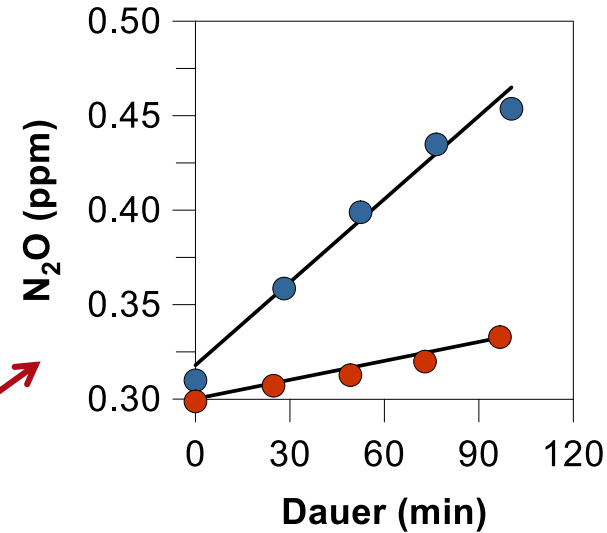
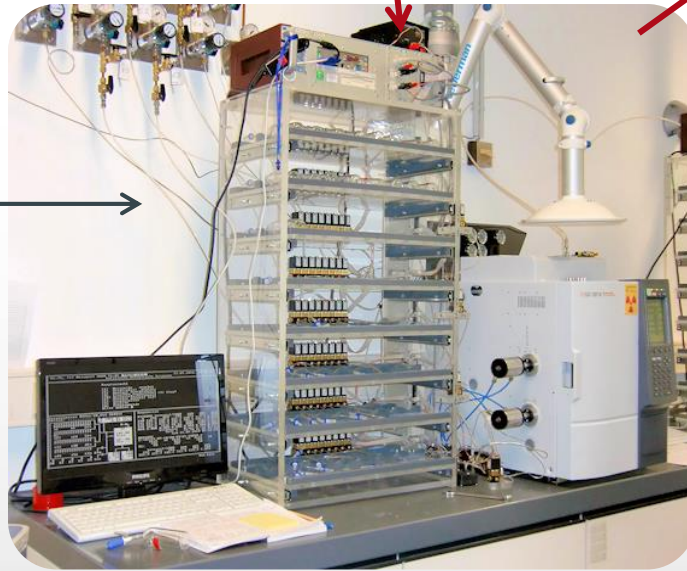
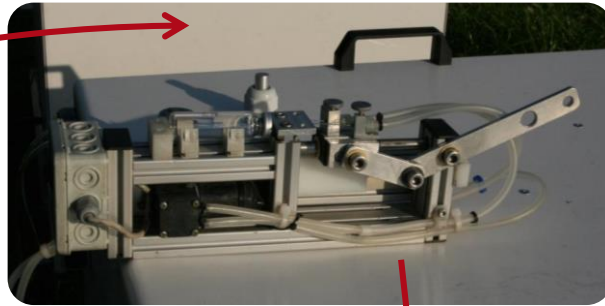
Treibhauspotenzial bzw. CO_2 -Äquivalente über 100 Jahre (GWP100) nach IPCC AR5:
Lachgas 265, Methan 28

DOC-Verluste nicht berücksichtigt

Beispielabbildung für Jahresbilanz



Methoden: Messung der Lachgas- und Methanemissionen



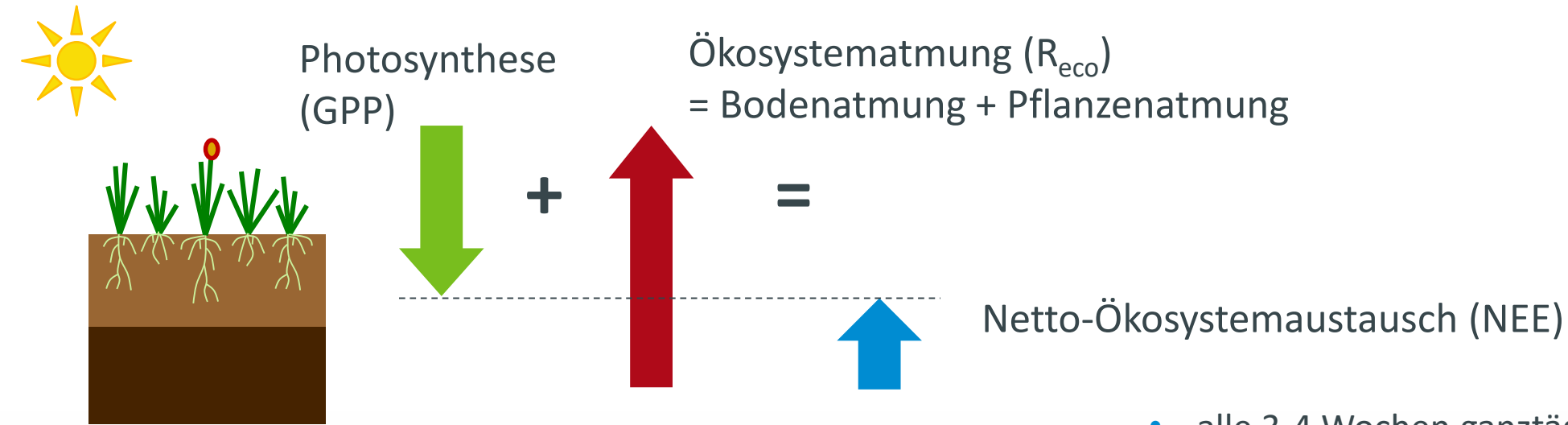
→ Flussberechnung und Interpolation von Jahreswerten (HÜPPI et al., 2018; OESTMANN et al., 2021)

Messung am der N₂O- und CH₄-Konzentrationen am Gaschromatographen


- Generelles Messprinzip: Anstieg (oder Abfallen) von Gaskonzentrationen in der Messhaube über einen definierten Zeitraum und eine definierte Fläche
- Stärkere Steigung = höhere Gasflüsse
- Messung alle 2 Wochen mit nicht-transparenten Hauben, nach Düngung im Abstand von 1, 3 und 7 Tagen

Fotos: B. Tiemeyer

Methoden: Messung des CO₂-Austauschs

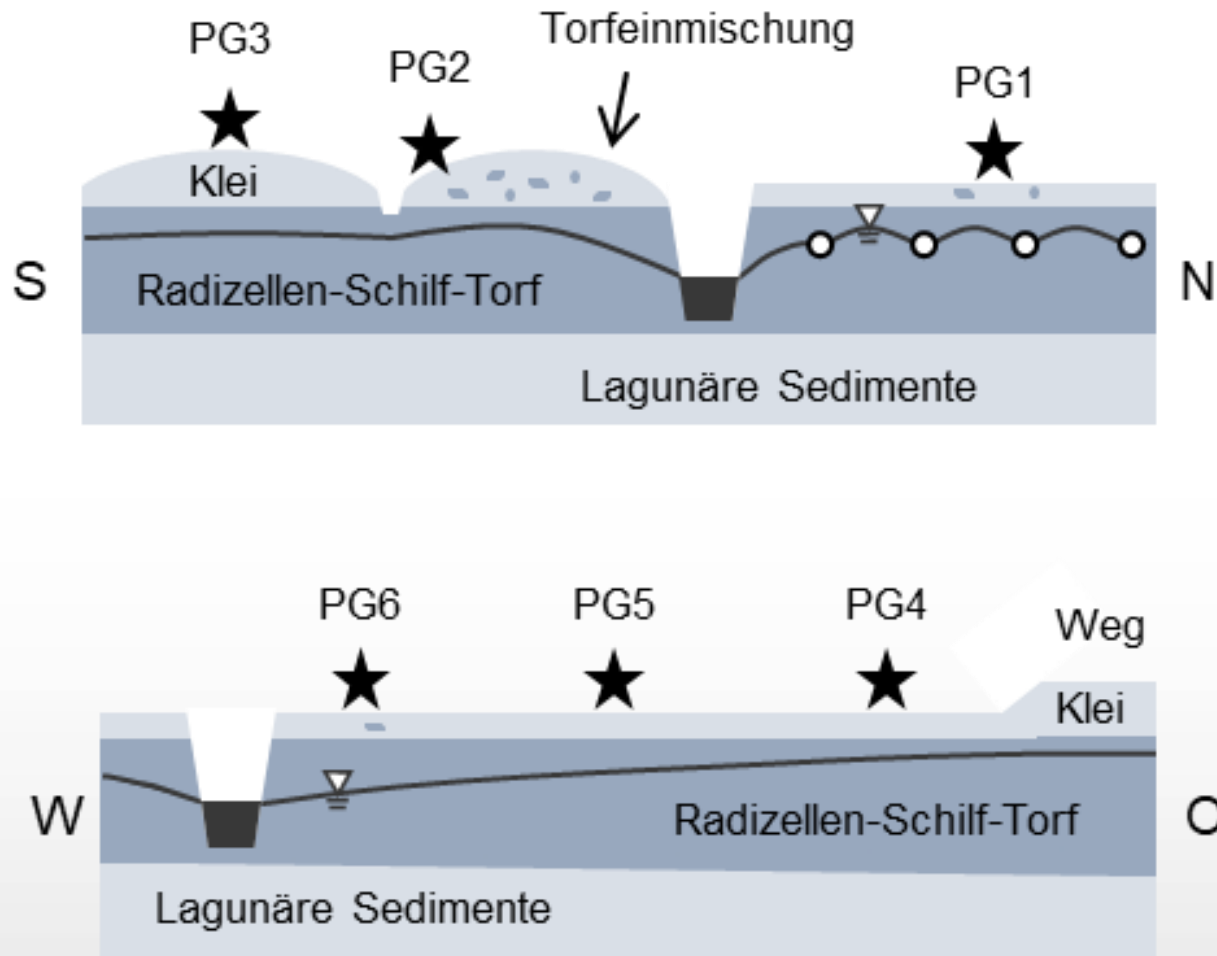


- alle 3-4 Wochen ganztägige Intensivmesskampagnen (vor Sonnenaufgang bis Nachmittag) mit nicht-transparenten und transparenten Hauben
- Messung der CO₂-Konzentration im Gelände mit mobilem Analysator
- Interpolation in Abhängigkeit von Bodentemperatur, Strahlung, Entwicklungsstand der Pflanzen (Details: OESTMANN et al., 2021)



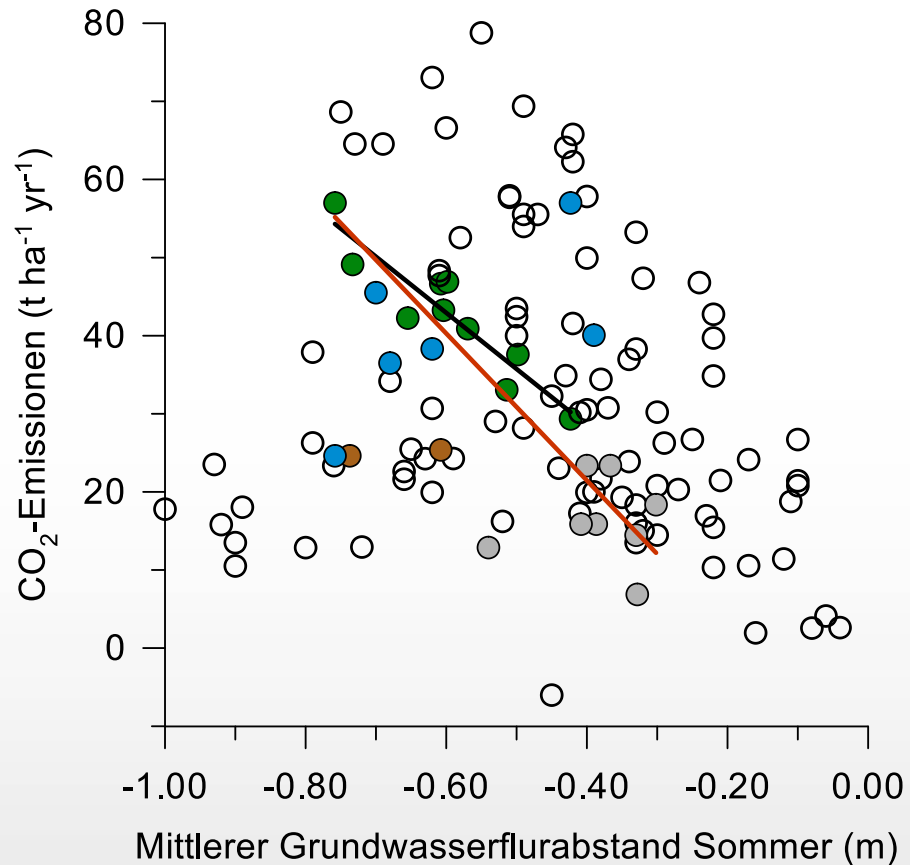
Ergebnisse Kleiüberdeckung (*Pumpgebiet 1*)

Messvarianten Pumpgebiet



- Messung über 2 Jahre
- Grünland, 3 bis 5 Schnitte
- Stickstoffdüngung:
167-240 kg N ha⁻¹ a⁻¹ (Rindergülle & mineralischer Dünger)
- Jahresmittel Moorwasserflurabstände:
-0,62 m bis -0,26 m
- Teilweise Torfeinmischung im Klei

Ergebnisse und Einordnung Kleiüberdeckung



- Jährliche THG-Bilanzen: 29 bis 69 t CO₂-Äq. ha⁻¹ yr⁻¹
- Hohe und hoher Anteil von N₂O-Emissionen (6 bis 28 %)
- Beste Erklärung für CO₂-Emissionen: belüfteter Kohlenstoffvorrat
- Kein Unterschied zu nicht überdecktem Niedermoor im Hammelwarder Moor

- Pumpgebiet Site PG1-PG5
 - Pumpgebiet Site PG6
 - Hammelwarder Moor Kontrolle Altnarbe
 - Literaturdaten ("peaty clay", Niederlande)
 - Literaturdaten Nieder- und Anmoorstandorte (DE)
- Lineare Regression Sites PG1-PG5 ($R^2 = 0,85$):
- Lineare Regression PG1-PG5 + Schrier-Uijl et al. (2014) ($R^2 = 0,77$)

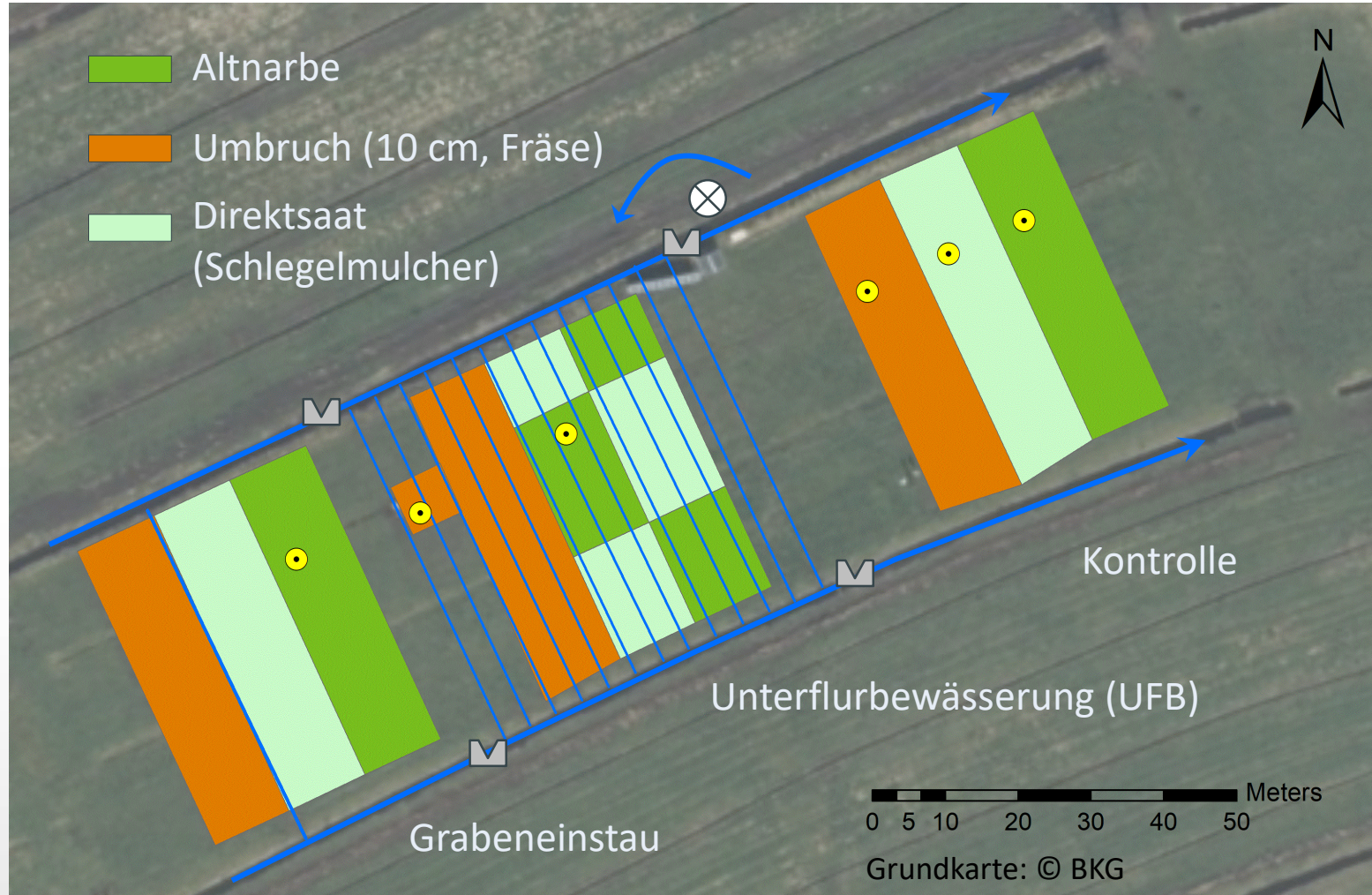
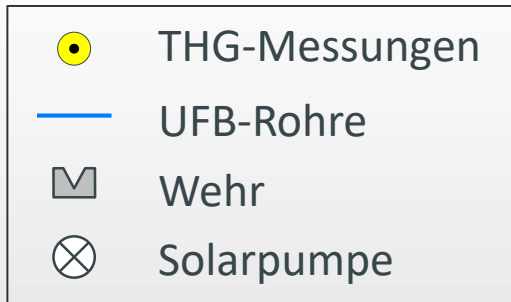
Niedermoorgrünland

(Hammelwarder Moor)



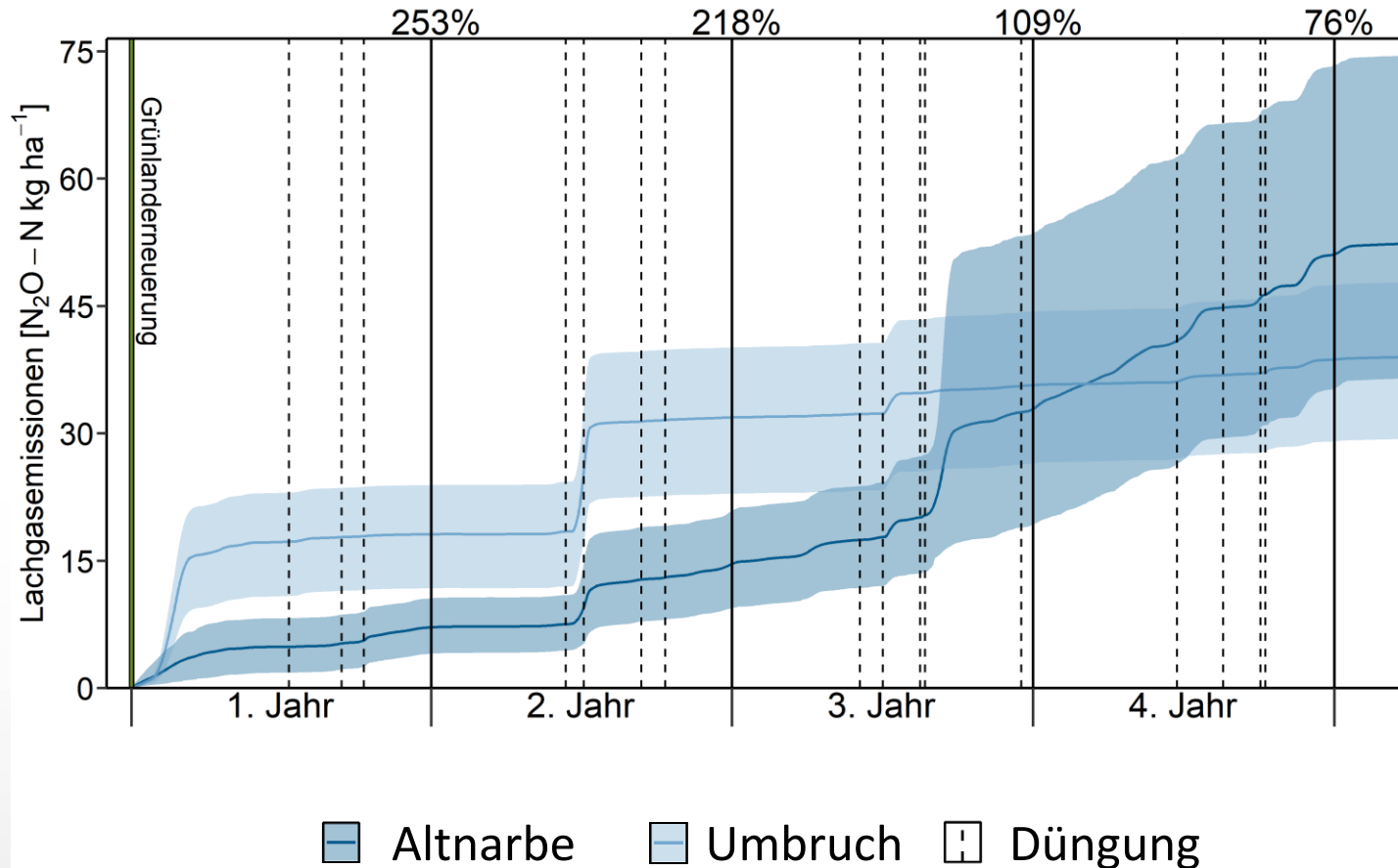
Messvarianten Niedermoorgrünland

- Erdniedermoor: 1,10 bis 1,35 m Radzellentorf (+ Schilf) über lagunären Sedimenten
- 4 Schnitte (2019: 3 Schnitte)
- Stickstoffdüngung: 167-240 kg N ha⁻¹ a⁻¹ (Rindergülle & mineralischer Dünger)
- Voll faktorielles Messdesign aus Ressourcengründen nicht umsetzbar
- Messung über vier Jahre



Auswirkungen Grünlanderneuerung

Kumulative Lachgasemissionen Unterflurbewässerung Niedermoorgrünland

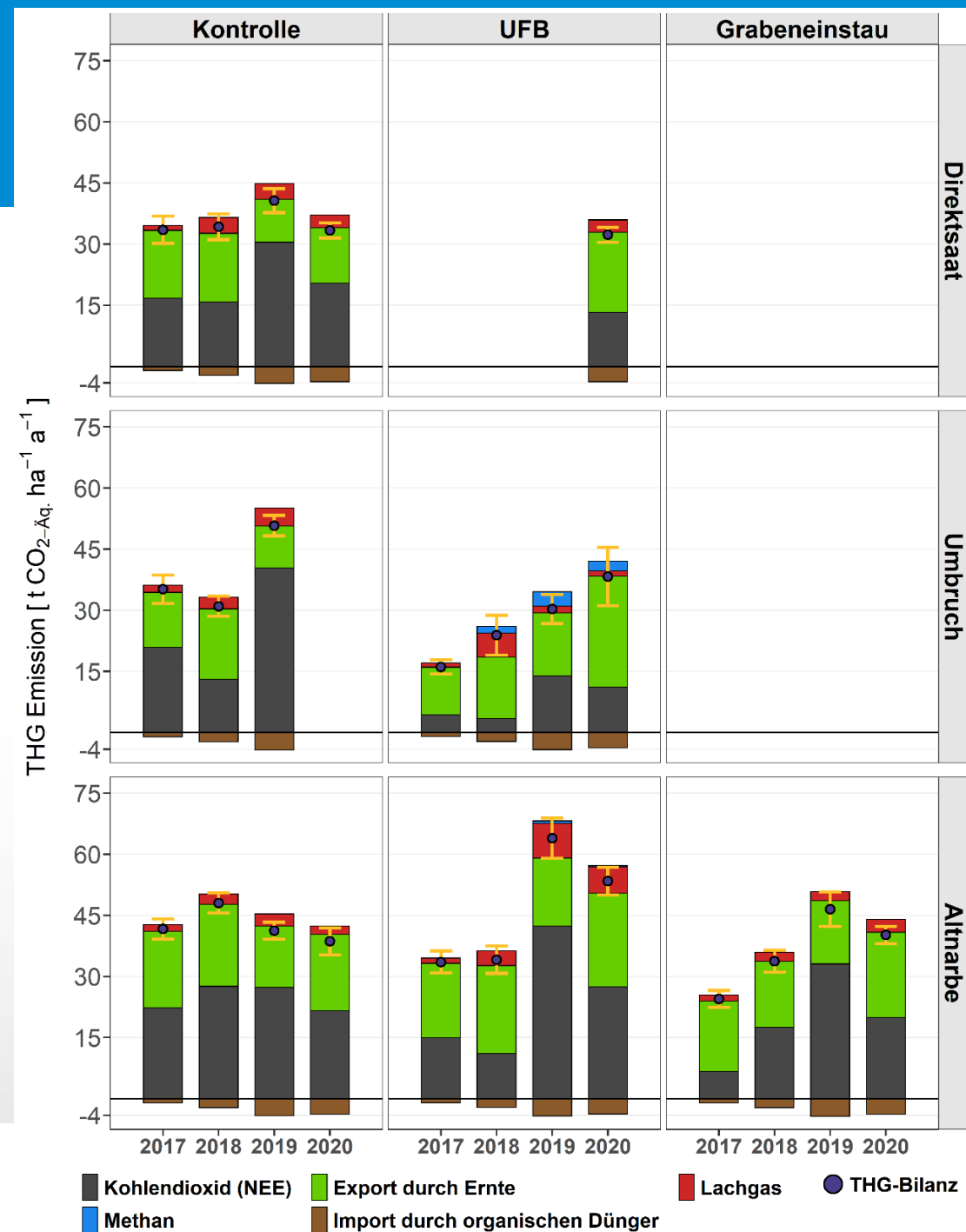


- UFB Umbruch: Erhöhte Emissionen über zwei Jahre (Abbildung)
- Kontrolle Umbruch: stark erhöhte Emissionen ($\sim 500\%$) erstes Jahr nach Umbruch, bis zum Auftreten der Mäusekalamität Ende 2020 signifikant erhöht
- Kontrolle Direktsaat: erhöhte Emissionen ($\sim 300\%$) erstes Jahr nach Erneuerung, bis zum Auftreten der Mäusekalamität signifikant erhöht

Jährliche Treibhausgasbilanzen

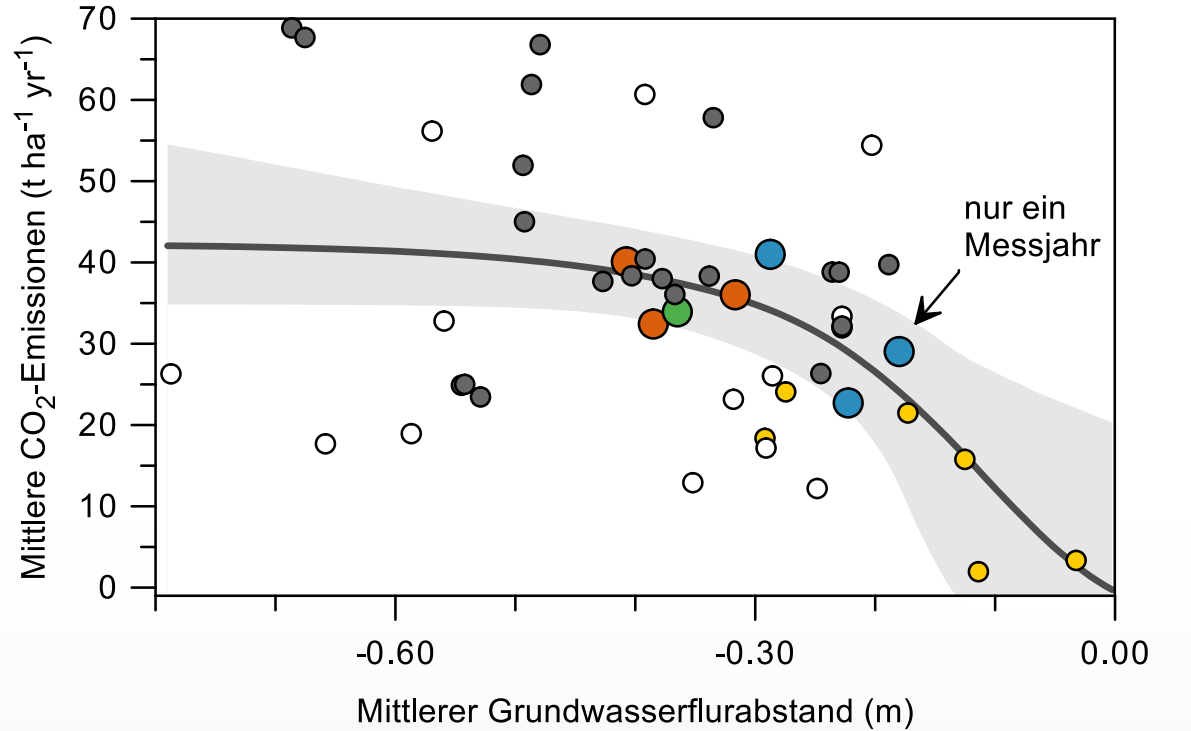
Alle Messvarianten Niedermoorgrünland

- THG-Emissionen der Kontrollvarianten (Ausnahme: Umbruch) zeitlich recht konstant
- Unterflurbewässerung: CO₂-Emissionen (NEE + Kohlenstoffexport durch Ernte) sehr variabel und tendenziell im Projektverlauf ansteigend
- Überall wichtigste Komponente: CO₂
- Im Mittel höhere Lachgas- und Methanemissionen bei Unterflurbewässerung



Einordnung mittlere jährliche CO₂-Emissionen

Niedermoorgrünland



● Kontrollen

● Unterflurbewässerung

● Grabeneinstau

● bisherige Messwerte Grünland auf Niedermoor

○ bisherige Messwerte sehr extensives Grünland auf Niedermoor (N-Düngung < 50 kg ha⁻¹ yr⁻¹)

● bisherige Messwerte seggenreiches Grünland auf Niedermoor, ungedüngt

~ Gompertz-Modell

- Modellfit ohne SWAMPS-Daten
- CO₂-Emissionen entsprechen den Erwartungen bzw. bisherigen Messungen an Grünlandstandorten auf Niedermoor
- Grabeneinstau: aufgrund der im Mittel nicht von den Kontrollen unterscheidbaren Moorwasserständen kein Effekt auf CO₂
- Unterflurbewässerung: Effekt der leicht verminderten CO₂-Emissionen wird durch erhöhte N₂O- und CH₄-Emissionen aufgewogen






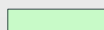

Hochmoorgrünland

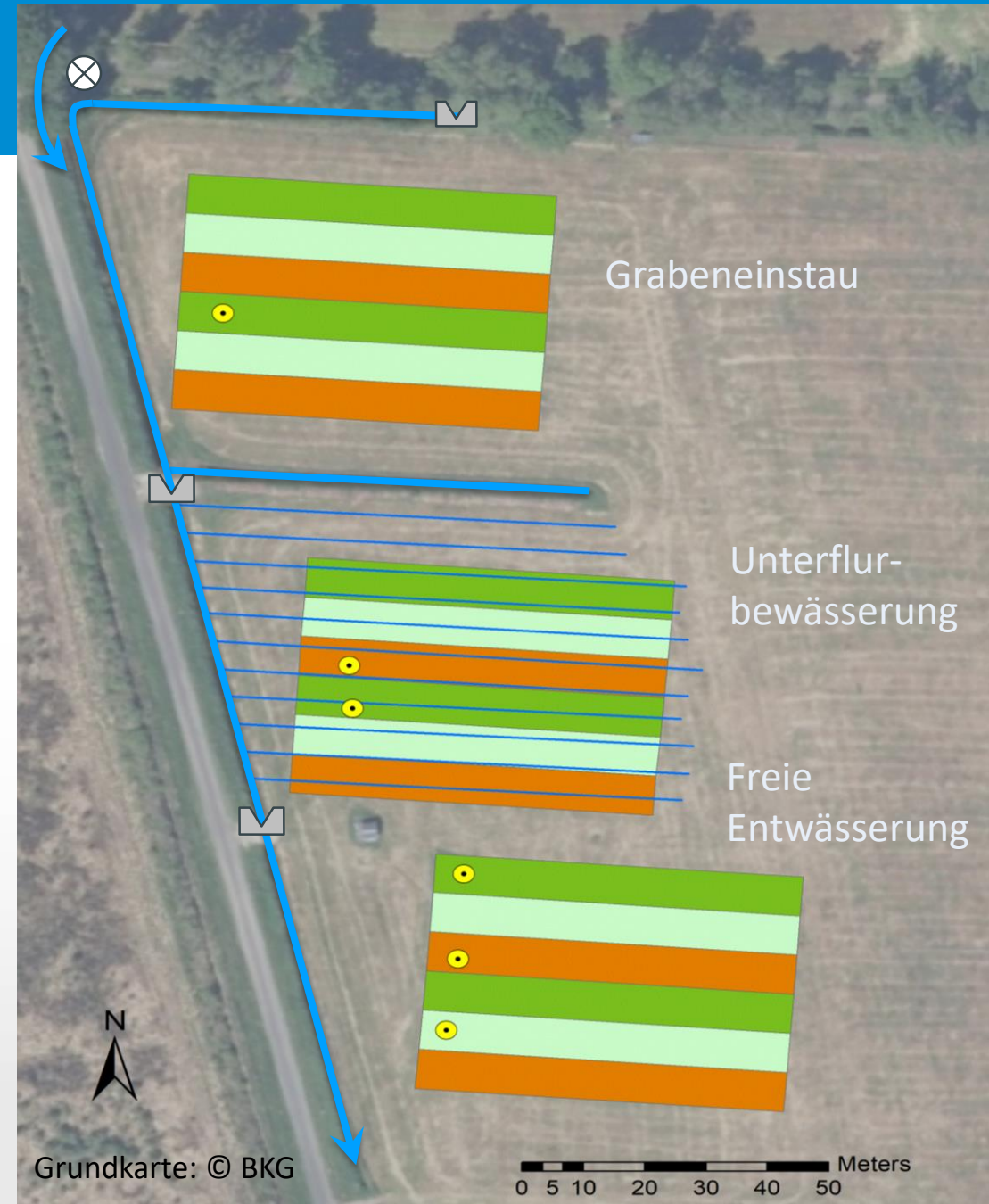
(Ipweger Moor)



Messvarianten Hochmoorgrünland

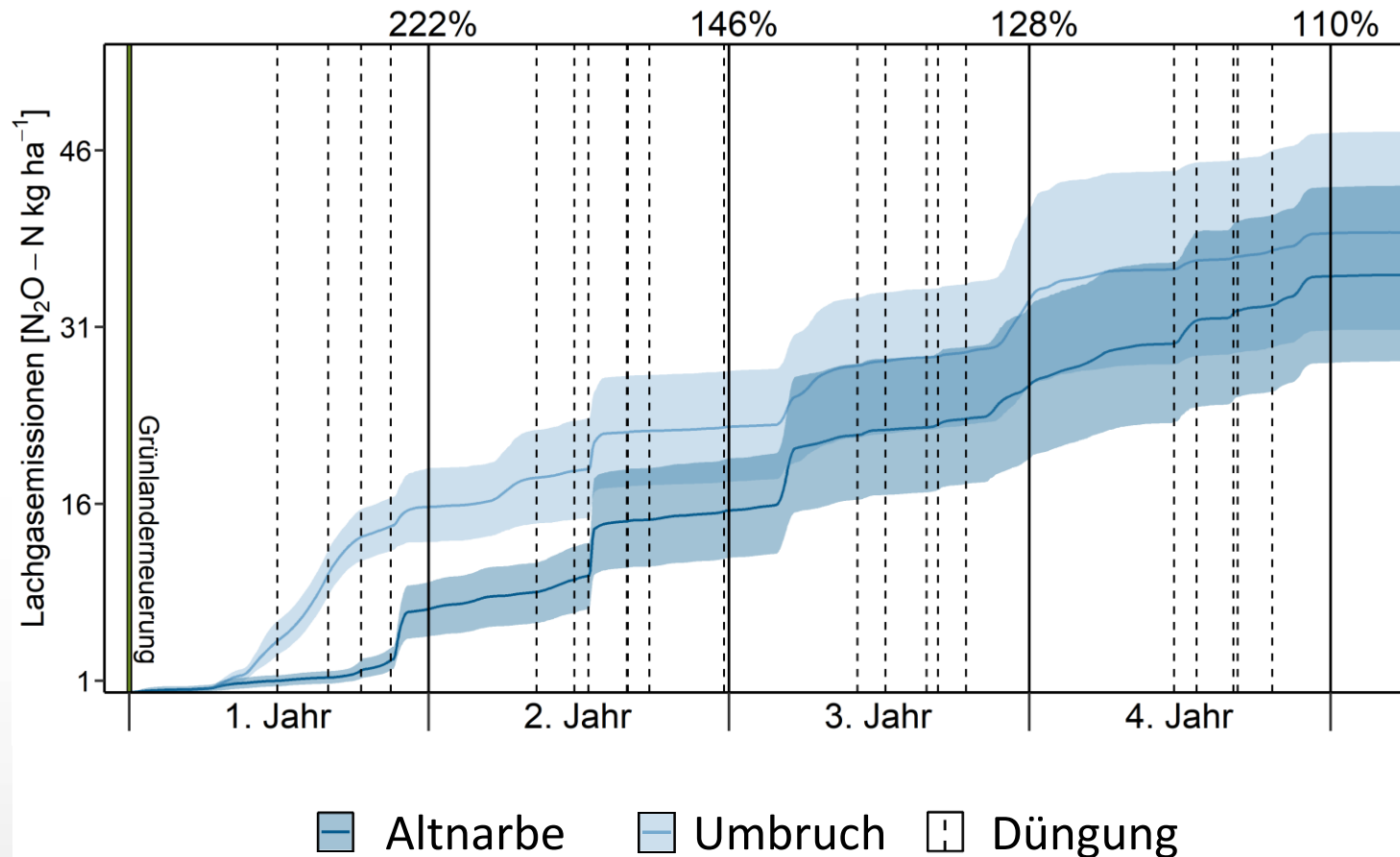
- Erdhochmoor: 2,00 bis 2,55 m; Weißtorf über Schwarztorf
- Messung über vier Jahre („typische“ Projekte: zwei Jahre); auch hier voll faktorielles Messdesign aus Ressourcengründen nicht umsetzbar
- 3-5 Schnitte
- Stickstoffdüngung:
 - 167-357 kg N ha⁻¹ a⁻¹ (Rindergülle & mineralischer Dünger)
 - Altnarbe: 2020 weniger Dünger aufgrund fehlender Grasnarbe nach Mäusekalamität

	THG-Messungen		Altnarbe
	UFB-Rohre		Umbruch
	Wehr		Direktsaat
	Solarpumpe		



Auswirkungen Grünlanderneuerung

Kumulative Lachgasemissionen Unterflurbewässerung Hochmoorgrünland

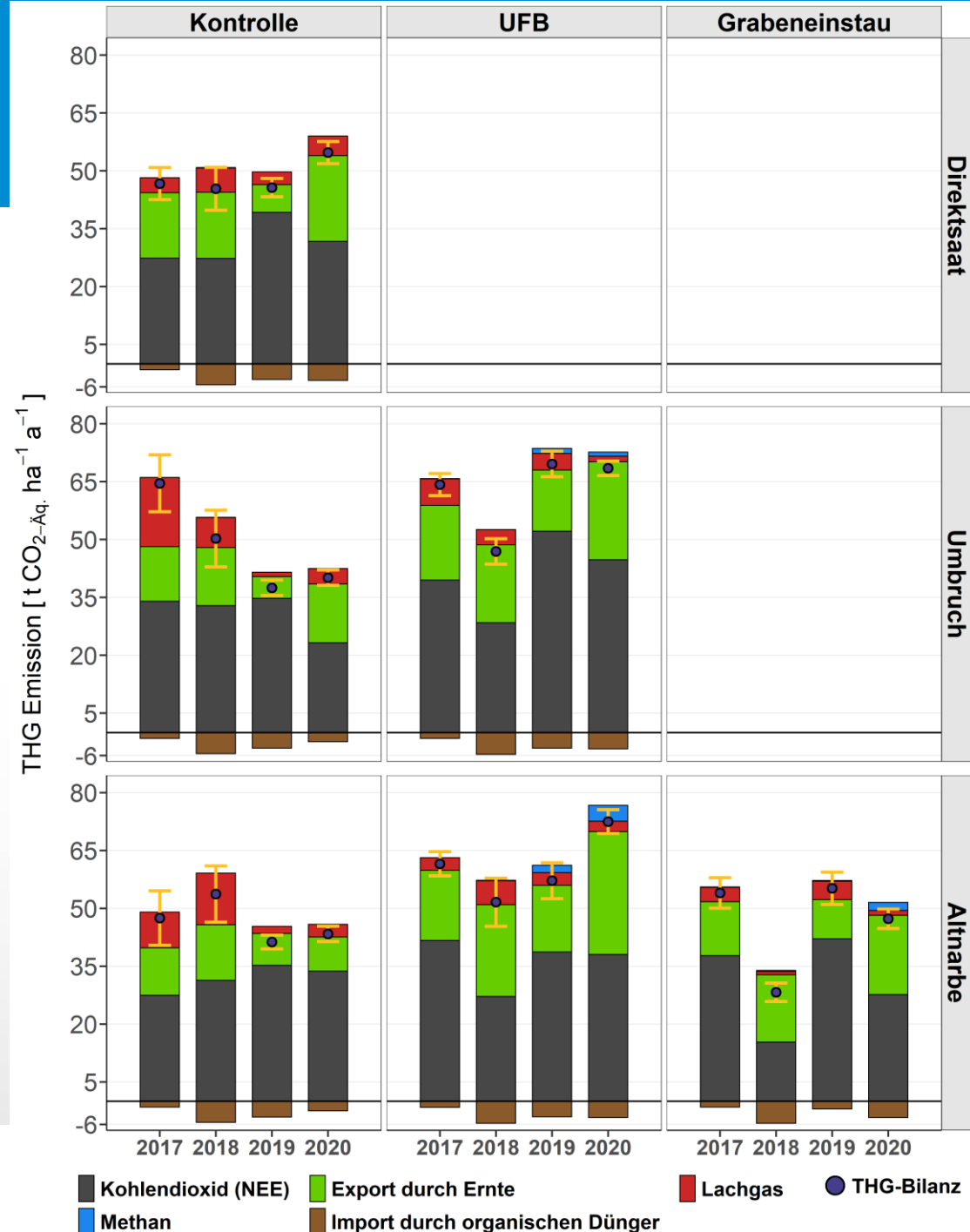


- Trockene Verhältnisse beim Umbruch
- UFB Umbruch: erhöhte Emissionen über 1,5 Jahre (Abbildung)
- Kontrolle Umbruch: stark erhöhte Emissionen ($\sim 200\%$) erstes Jahr nach Umbruch, dann Abschwächung des Effekts
- Kontrolle Direktsaat: niedrigere Emissionen ($\sim 60\%$) erstes Jahr nach Erneuerung, setzt sich bis zu Mäusekalamität 2020 fort

Jährliche Treibhausgasbilanzen

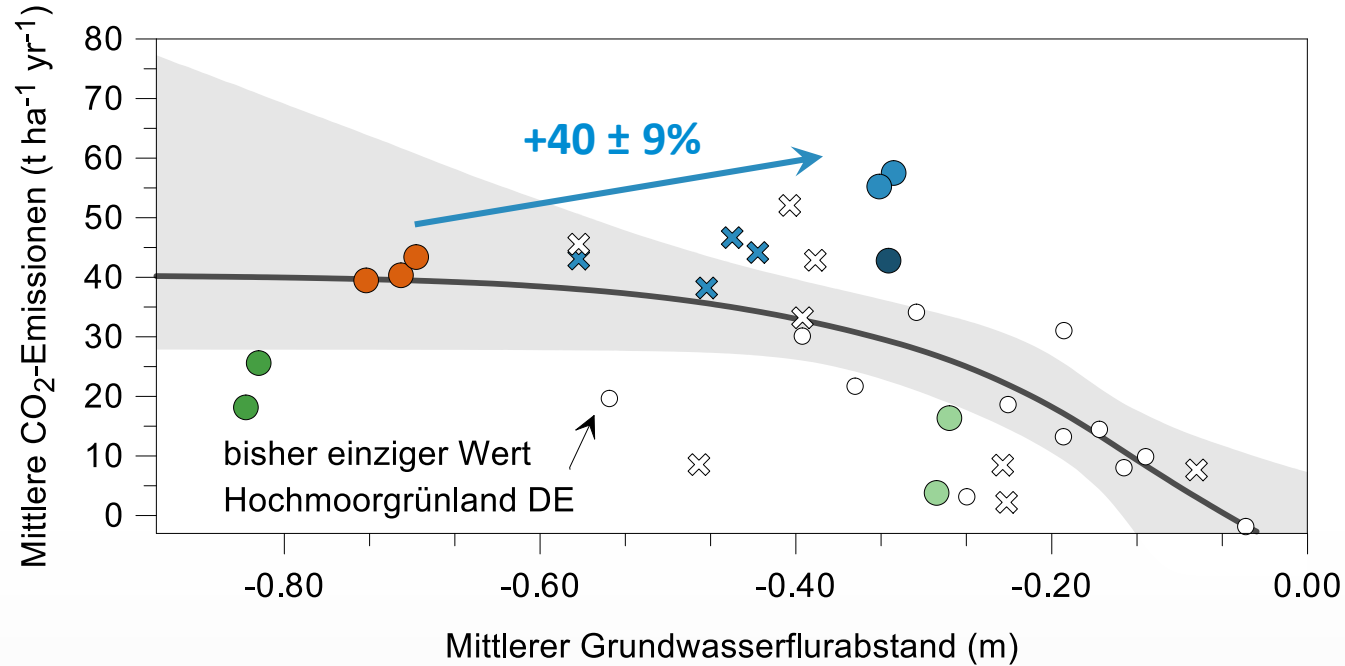
Alle Messvarianten Hochmoorgrünland

- Kontrollvarianten bezüglich CO₂ (NEE + Export) ähnlich und trotz Rekordsummer 2018 und Mäusekalamitäten 2019 über die Jahre weitgehend konstant.
- UFB: erhöhte CO₂-Emissionen
- Höchste CO₂-Emissionen UFB in nassesten Jahren (2019 und 2020)
 - nach vier Jahren kein Verklingen eines möglichen Übergangseffekts zu erkennen
- UFB und Grabeneinstau: Niedrigere Lachgas- und höhere Methanemissionen als Kontrollvarianten
- Grabeneinstau: ähnliche CO₂-Emissionen wie Kontrollvarianten



Einordnung mittlere jährliche CO₂-Emissionen

Hochmoorgrünland



- Modellfit ohne Daten von SWAMPS und aus dem Gnarrenburger Moor.
- CO₂-Emissionen hoch, aber Großteil der Daten aus Hochmoorgrünländern in DE von sehr extensiven Standorten.
- Niederlande (WEIDEVELD et al., 2021): kaum Effekte der UFB, da kaum Wasserstandseffekt.
- Gnarrenburger Moor: Daten vorläufig, extrem hohe Lachgasemissionen.
- Folgende Folien: Erklärungsansätze für hohe CO₂-Emissionen im Ipweger Moor

Bisherige Studien

- Hochmoorgrünland DE (Tiemeyer et al., 2016)
- ⊗ Hochmoorgrünland (Kontrolle) (Weideveld et al., 2021)
- ⊗ Unterflurbewässerung (Weideveld et al., 2021)

SWAMPS

- Kontrolle
- Unterflurbewässerung
- Grabeneinstau

Gnarrenburger Moor

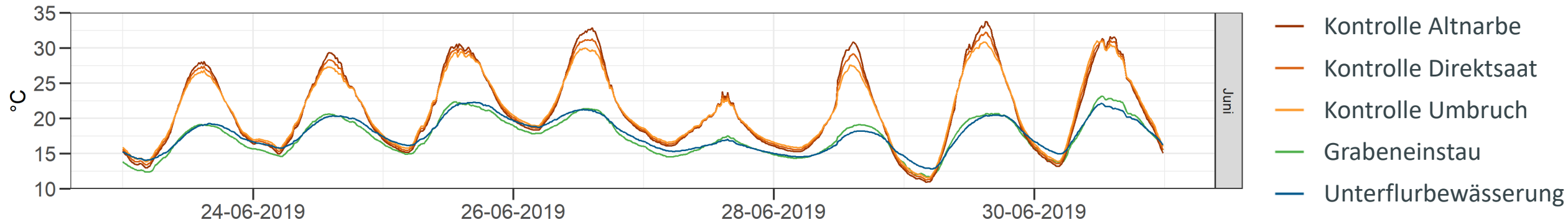
- Kontrolle
- Unterflurbewässerung

~ Gompertz-Modell

Vergleichsdaten: TIEMEYER et al. (2016), WEIDEVELD et al. (2021)

Erklärungsansätze für erhöhte CO₂-Emissionen der UFB

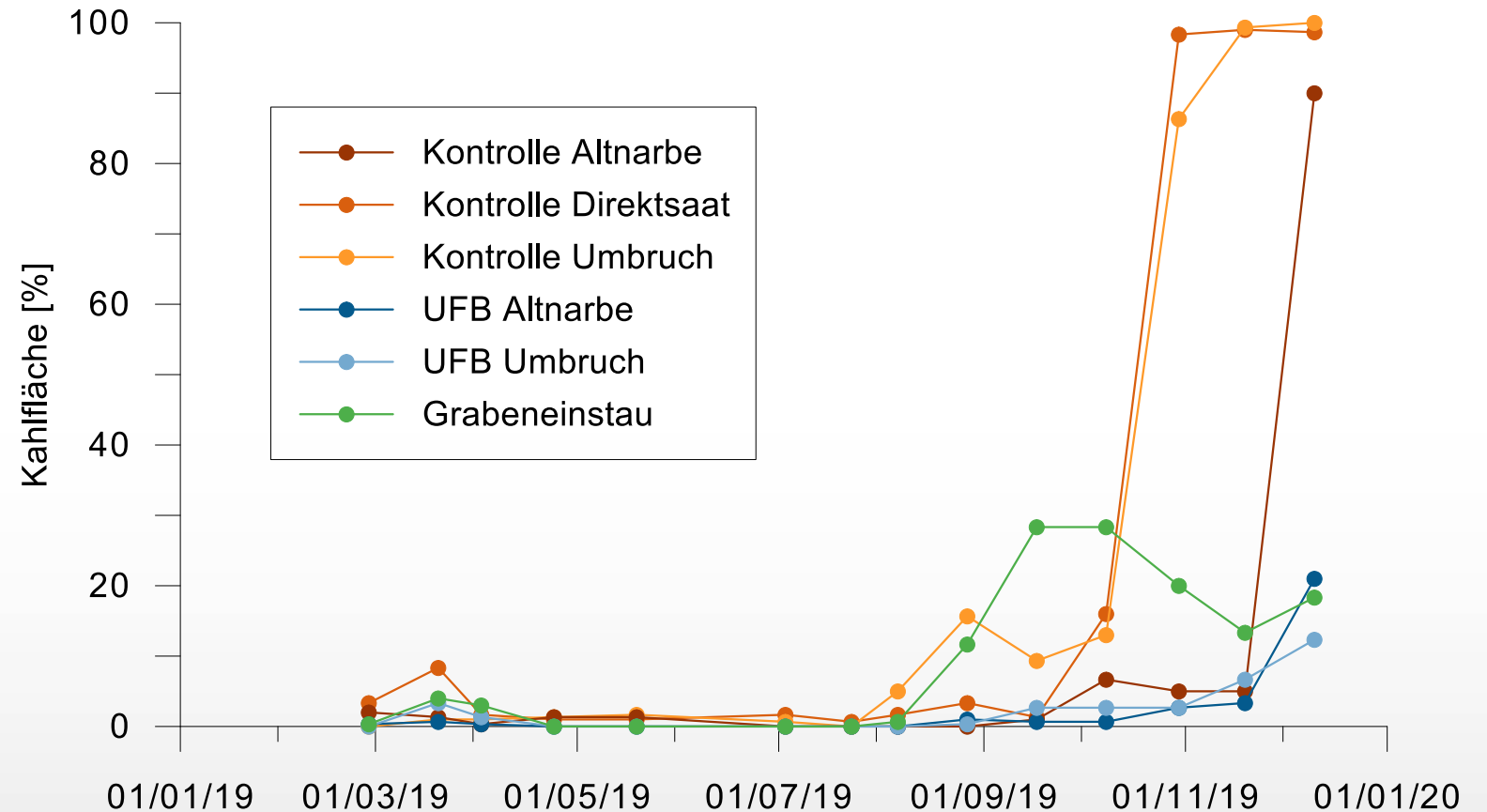
- Hohe Temperaturen 2018 und 2019



- Bodentemperaturen in 2 cm Tiefe in einer Beispielwoche im Juni 2019
 - Hohe Lufttemperaturen betreffen alle Messvarianten, aber puffernder Effekt durch hohe Wassergehalte bei UFB und Grabeneinstau: höhere CO₂-Emissionen trotz niedrigerer Bodentemperaturen
- Witterung kein plausibler Erklärungsansatz für Unterschiede zwischen Kontrolle und UFB

Erklärungsansätze für erhöhte CO₂-Emissionen der UFB

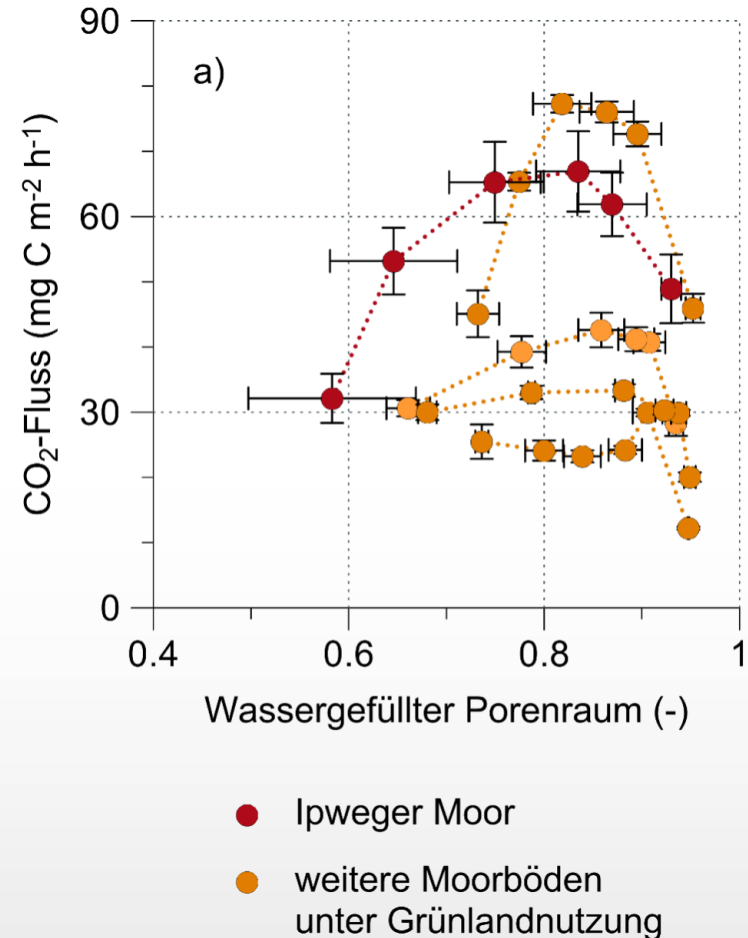
- Hohe Temperaturen 2018 ✘
 - Mäusekalamität 2019
- Mäusekalamitäten betrafen vor allem die Kontrollvarianten
- Diese wiesen jedoch über die Jahre konstante CO₂-Emissionen auf (Folie 16)
- Keine Auffälligkeiten in Rohdaten, die auf „Mausatmung“ hinweisen



Erklärungsansätze für erhöhte CO₂-Emissionen der UFB

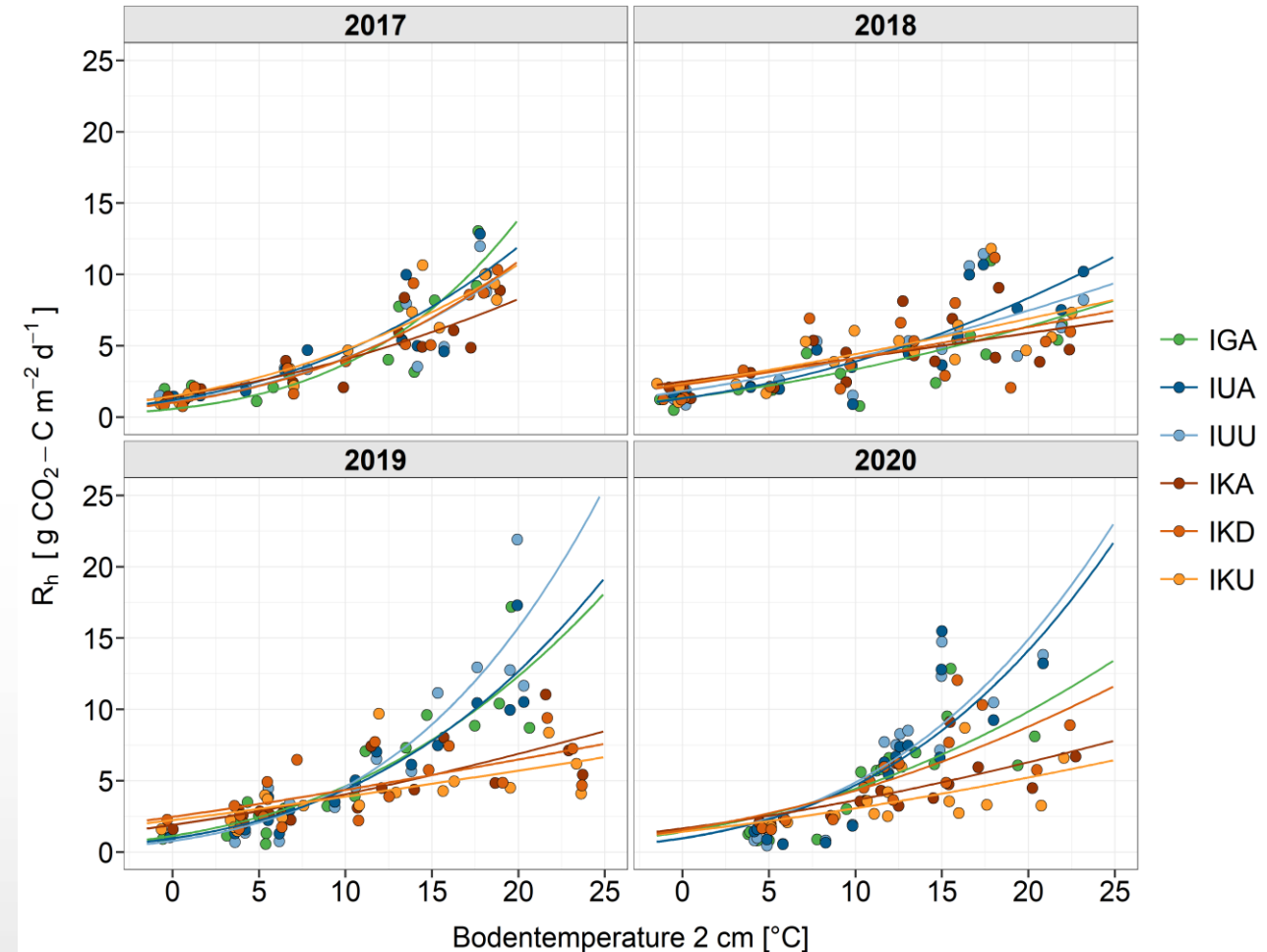
- Hohe Temperaturen 2018 ✘
- Mäusekalamität 2019 ✘
- Optimale Bodenfeuchte im Oberboden für mikrobiellen Umsatz bei gleichzeitig hohen Temperaturen
 - Inkubationsversuch mit Proben u.a. aus dem Ipweger Moor zeigte höchste Respirationsraten bei hohen Bodenfeuchten (SÄURICH et al., 2019)
 - Hochmoorböden: günstige Umsetzungsbedingungen vor allem im Oberboden (SÄURICH et al., 2019), auch hier ab ca. 20 cm Tiefe trotz tiefer Entwässerung gut erhaltener Weißtorf

Daten Inkubationsversuch: Säurich et al. (2019)



Erklärungsansätze für erhöhte CO₂-Emissionen der UFB

- Hohe Temperaturen 2018 ✘
- Mäusekalamität 2019 ✘
- Optimale Bodenfeuchte im Oberboden für mikrobiellen Umsatz bei gleichzeitig hohen Temperaturen ✓
- Erhöhte Temperatursensitivität unter günstigen Bodenfeuchtebedingungen (siehe auch MÄKIRANTA et al., 2009)
 - Bodenatmung (R_h) über vereinfachte Abschätzung ermittelt (GILMANOV et al., 2007)
 - Hohe Temperatursensitivität tritt v.a. in den letzten beiden besonders feuchten Messjahren auf



Erklärungsansätze für erhöhte CO₂-Emissionen der UFB

- Hohe Temperaturen 2018 ✘
- Mäusekalamität 2019 ✘
- Optimale Bodenfeuchte im Oberboden für mikrobiellen Umsatz bei gleichzeitig hohen Temperaturen ✓
- Erhöhte Temperatursensitivität unter günstigen Bodenfeuchtebedingungen (siehe auch MÄKIRANTA et al., 2009) ✓
- Verbesserter Nährstoffrückhalt durch Wasserrückhalt ?
- Nicht untersucht: Mögliche Emissionsminderung durch Wasserstandsanhebung und Extensivierung



Schlussfolgerungen

- **Kleiüberdeckung:** THG-Emissionen entsprechen Niedermoorstandorten mit ähnlichen Moorwasserständen.
- **Niedermoorgrünland:** Geringe Effekte vermutlich aufgrund geringer Anhebung der Moorwasserstände.
- **Hochmoorgrünland:** Trotz deutlich angehobener Moorwasserstände lagen sowohl CO₂- als auch THG-Emissionen der Messvarianten mit Unterflurbewässerung deutlich über denen der Kontrolle, während beim Grabeneinstau kein Unterschied festzustellen war.
- Bisherige Ergebnisse zur Emissionsminderung durch extensiv genutztes Nassgrünland und *Sphagnum*-Paludikulturen werden durch die Ergebnisse nicht in Frage gestellt, da diese Systeme keine Düngung erhalten und im Falle der Paludikulturen auf standorttypische Pflanzen und naturnahe Wasserstände setzen.
- Aufgrund der erhöhten Treibhausgasemissionen kann die Unterflurbewässerung derzeit nicht als Klimaschutzmaßnahme für intensiv bewirtschaftetes Hochmoorgrünland empfohlen werden.

Vielen Dank!

Fragen: baerbel.tiemeyer@thuenen.de

Diese Untersuchungen wären nicht möglich gewesen ohne die tatkräftige Unterstützung durch studentische Hilfskräfte, Techniker*innen, Laborassistent*innen und die AG Organische Böden des Thünen-Institut für Agrarklimaschutz.

Besonderer Dank gilt den Landwirten für die Bereitstellung sowie Bewirtschaftung der Projektflächen sowie allen Projektbeteiligten, insbesondere Peter Gatersleben (LWK) u.a. für die immer zuverlässige N₂O-Probenahme!!

Das Projekt „SWAMPS“ wird durch Mittel des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE), das Niedersächsische Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz sowie das Niedersächsische Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz gefördert.



EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung



Foto: © S. Heller

Referenzen

- GILMANOV TG, SOUSSANA JF, AIRES L, ET MULTI AL. (2007) Partitioning European grassland net ecosystem CO₂ exchange into gross primary productivity and ecosystem respiration using light response function analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121: 93-120, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.008>
- HÜPPI R, FELBER R, KRAUSS M, SIX J, LEIFELD J, FUß R (2018) Restricting the nonlinearity parameter in soil greenhouse gas flux calculation for more reliable flux estimates. *PLoS ONE* 13(7):e0200876, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200876>
- MÄKIRANTA P., LAIHO, R., FRITZE, H., HYTÖNEN, J., LAINE, J., MINKKINEN, K. (2009) Indirect regulation of heterotrophic peat soil respiration by water level via microbial community structure and temperature sensitivity. *Soil Biology and Biochemistry* 40: 1592–1600, <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.01.004>
- OESTMANN J, TIEMEYER B., DÜVEL D, GROBE A, DETTMANN U (2021) Greenhouse gas balance of *Sphagnum* farming on highly decomposed peat at former peat extraction sites. *Ecosystems*, im Druck, <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00659-z>
- POYDA A, REINSCH T, KLUB C, LOGES R, TAUBE F (2016) Greenhouse gas emissions from fen soils used for forage production in northern Germany. *Biogeosciences* 13: 5221–5244, <https://doi.org/10.5194/bg-13-5221-2016>
- SÄURICH A, TIEMEYER B, DETTMANN U, DON A (2019). How do sand addition, soil moisture and nutrient status influence greenhouse gas fluxes from drained organic soils? *Soil Biology and Biochemistry* 135: 71–84, <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.04.013>
- SCHRIER-UIJL AP, KROON PS, HENDRIKS DMD, HENSEN A, VAN HUISSTEDEN J, BERENDSE F, VEENENDAAL EM (2014) Agricultural peatlands: towards a greenhouse gas sink – a synthesis of a Dutch landscape study. *Biogeosciences* 11: 4559–4576, <https://doi.org/10.5194/bg-11-4559-2014>
- TIEMEYER B, ALBIAC BORRAZ E, AUGUSTIN J ET MULTI AL. (2016) High emissions of greenhouse gases from grasslands on peat and other organic soils. *Global Change Biology* 22: 4134–4149, <https://doi.org/10.1111/gcb.13303>
- TIEMEYER B, FREIBAUER A, ALBIAC BORRAZ E, ET MULTI AL. (2020) A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: data synthesis, derivation and application. *Ecological Indicators* 105838, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105838>
- WEIDEVELD STJ, LIU W, VAN DEN BERG M, LAMERS LPM, FRITZ C (2021) Conventional sub-soil irrigation technique does not lower carbon emissions from drained peat meadows. *Biogeosciences* 18: 3881–3902, <https://doi.org/10.5194/bg-18-3881-2021>