



GREIFSWALD
MIRE
CENTRE



Der GEST-Ansatz zur Bewertung von THG-Emissionen von Mooren

—

Möglichkeiten und Besonderheiten bei der Anwendung auf Waldmoorstandorten

Felix Reichelt & John Couwenberg



a) GEST-Ansatz

- Direkte THG-Messungen sind super wichtig
- ABER: zu teuer und aufwändig für das Monitoring von großen Flächen
- Proxies nötig



a) GEST-Ansatz

- Direkte THG-Messungen sind super wichtig
- ABER: zu teuer und aufwändig für das Monitoring von großen Flächen
- Proxies nötig

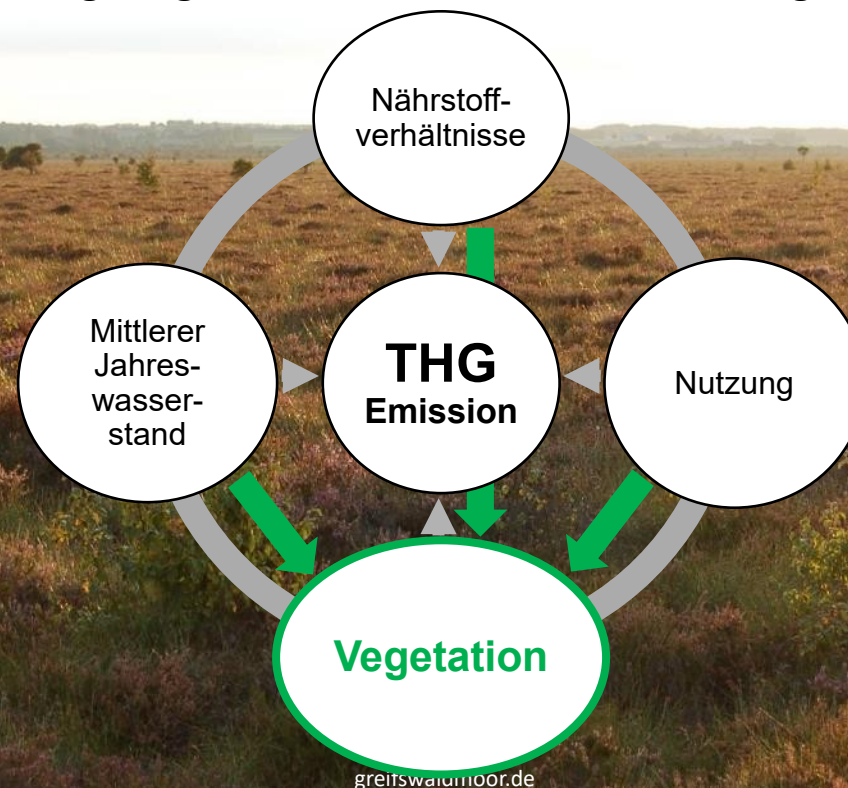
IPCC:

- Landnutzung
- Wasserstand
- Vegetation



a) GEST-Ansatz

- Vegetation ist eng verbunden mit Wasserstand, Nährstoffverhältnissen, ...
- Vegetation hat selbst Einfluss auf Emissionen
- Vegetationskartierung vergleichsweise schnell, leicht und günstig



Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy

John Couwenberg · Annett Thiele · Franziska Tanneberger · Jürgen Augustin ·
Susanne Bärtsch · Dimitry Dubovik · Nadzeya Liashchynskaya · Dierk Michaelis ·
Merten Minke · Arkadi Skuratovich · Hans Joosten

Couwenberg et al. 2011, Hydrobiologia

Abstract Drained peatlands in temperate Europe are a globally important source of greenhouse gas (GHG) emissions. This article outlines a methodology to assess emissions and emission reductions from peatland rewetting projects using vegetation as a proxy. Vegetation seems well qualified for indicating GHG fluxes from peat soils as it reflects long-term water level, affects GHG emissions via assimilate supply and aerenchyma and allows fine-scaled mapping. The

methodology includes mapping of vegetation types characterised by the presence and absence of species groups indicative for specific water level classes. GHG flux values are assigned to the vegetation types following a standardized protocol and using published emission values from plots with similar vegetation and water level in regions with similar climate and flora. Carbon sequestration in trees is accounted for by estimating the annual sequestration in tree biomass from forest inventory data. The method follows the criteria of the Voluntary Carbon Standard and is illustrated using the example of two Belarusian peatlands.

Electronic supplementary material The online version of this article (doi:[10.1007/s10750-011-0729-x](https://doi.org/10.1007/s10750-011-0729-x)) contains supplementary material, which is available to authorized users.

b) Meta-Analyse und THG-Datenbank

Die THG-Daten:

- aus publizierten und anderen Quellen gesammelt
+ dazugehörige Daten zu Standortbedingungen

WENN angegeben / verfügbar:

- **Torf:** Typ, Mächtigkeit, C/N, N, P, Trophie, EC, LOI, Lagerungsdichte, Wassergehalt, Porosität, Zersetzungsgrad, pH, ...
- **Wasser:** pH, mittlerer Wasserstand, niedrigster/höchster Wasserstand, Fluktuationen
- **Vegetation:** Vegetationstyp, Pflanzentypen, Liste der Pflanzenarten
- **Nutzung:** Düngung, aktuelle Nutzung, frühere Nutzung

b) Meta-Analyse und THG-Datenbank

Die THG-Daten:

- aus publizierten und anderen Quellen gesammelt
+ dazugehörige Daten zu Standortbedingungen

WENN angegeben / verfügbar:

- **Torf:** **Typ**, Mächtigkeit, C/N, N, P, Trophie, EC, LOI, Lagerungsdichte, Wassergehalt, Porosität, Zersetzungsgrad, pH, ...
 - **Wasser:** pH, **mittlerer Wasserstand**, niedrigster/höchster Wasserstand, Fluktuationen
 - **Vegetation:** **Vegetationstyp, Pflanzentyp, Liste der Pflanzenarten**
 - **Nutzung:** Düngung, aktuelle Nutzung, frühere Nutzung
- ...und wenn Messmethodik vertrauenswürdig dokumentiert!

b) Meta-Analyse und THG-Datenbank

- Seit 2011/2015: immer mehr THG-Daten verfügbar
- Dänemark, Deutschland, Niederlanden, S Schweden, W Polen, N Frankreich, Belarus
- Gesamt: 1079 THG-Jahresmessungen
 - CH₄: 410 (2011: 140 [+290%])
 - CO₂: 320 (2011: 60 [+530%])
 - N₂O: 349 (2011: 128 [+270%])

b) Meta-Analyse und THG-Datenbank

- Seit 2011/2015: immer mehr THG-Daten verfügbar
- Dänemark, Deutschland, Niederlanden, S Schweden, W Polen, N Frankreich, Belarus
- Gesamt: 1079 THG-Jahresmessungen
 - CH₄: 410 (2011: 140 [+290%])
 - CO₂: 320 (2011: 60 [+530%])
 - ~~• N₂O: 349 (2011: 128 [+270%])~~ → bisher kein geeigneter Proxy

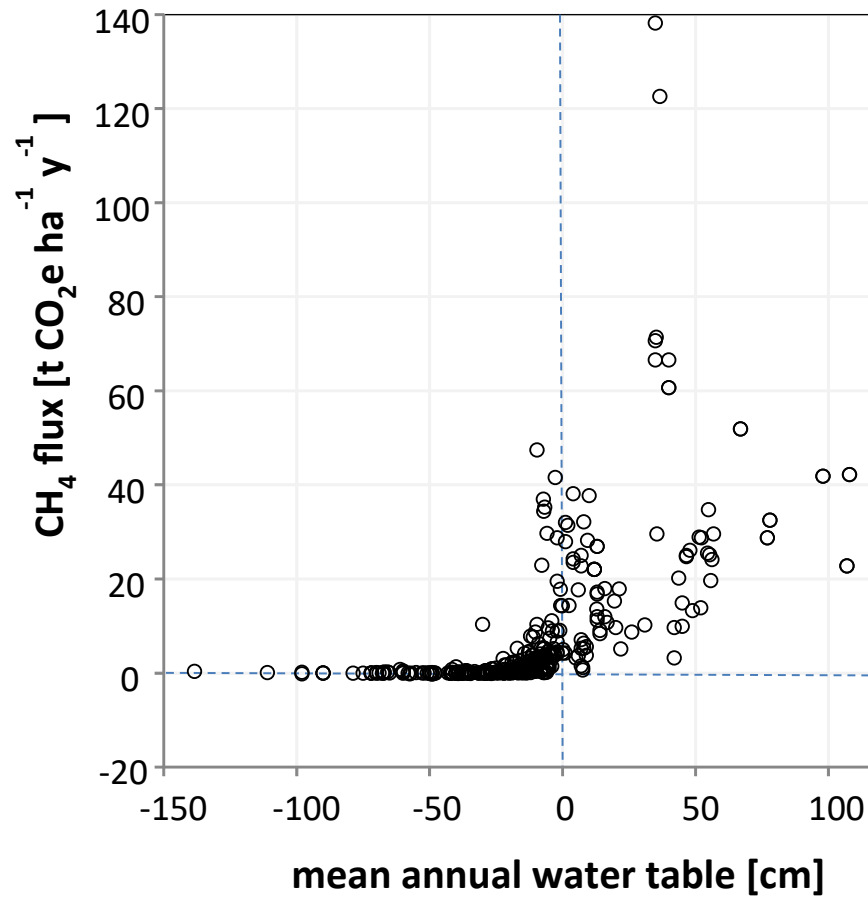
b) Meta-Analyse und THG-Datenbank

Mit den Daten vertraut werden



b) Meta-Analyse: Wasserstand

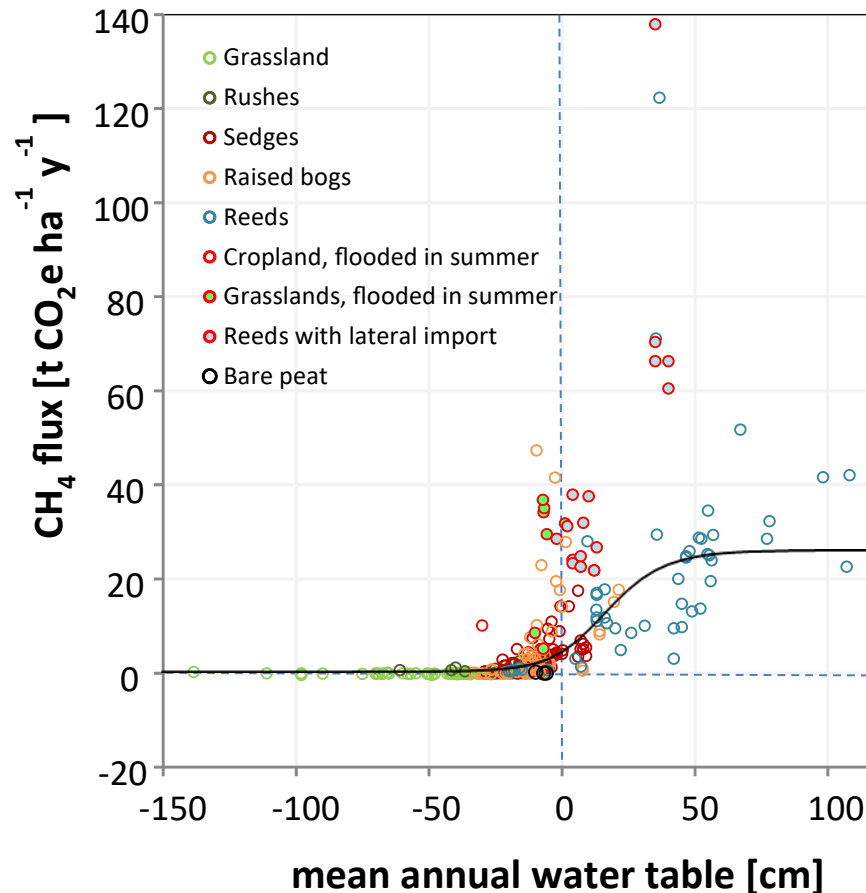
Methan



b) Meta-Analyse: Wasserstand + Vegetation

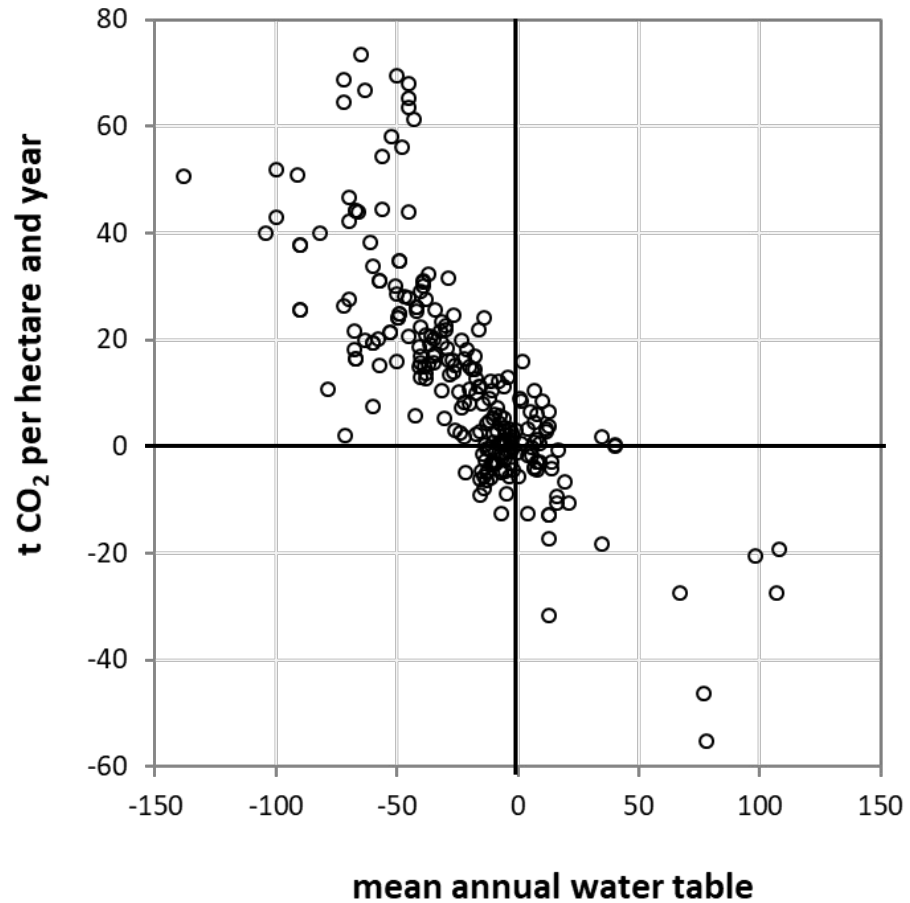
Methan

Unterschiedliche
Vegetationsklassen
zeigen unterschiedliche
Emissionen



b) Meta-Analyse: Wasserstand

CO₂

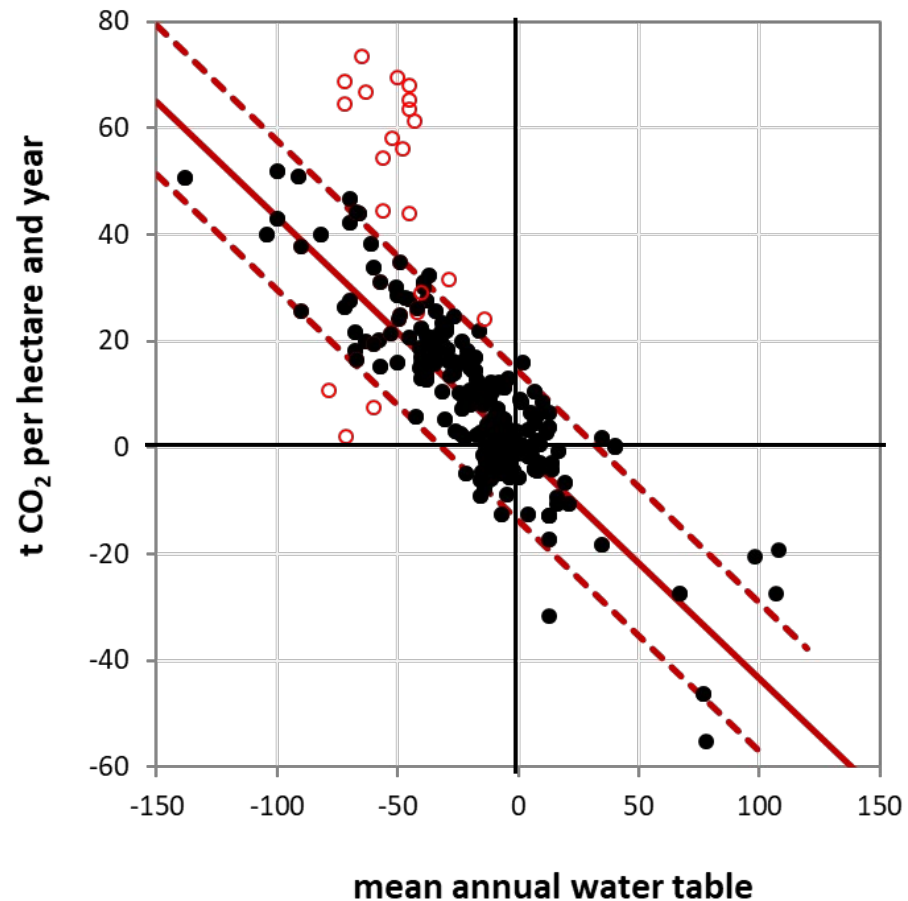


b) Meta-Analyse: Wasserstand

CO₂

Manche Messungen fallen
aus der Reihe

→ „strange ducks“
(Anmoorstandorte)

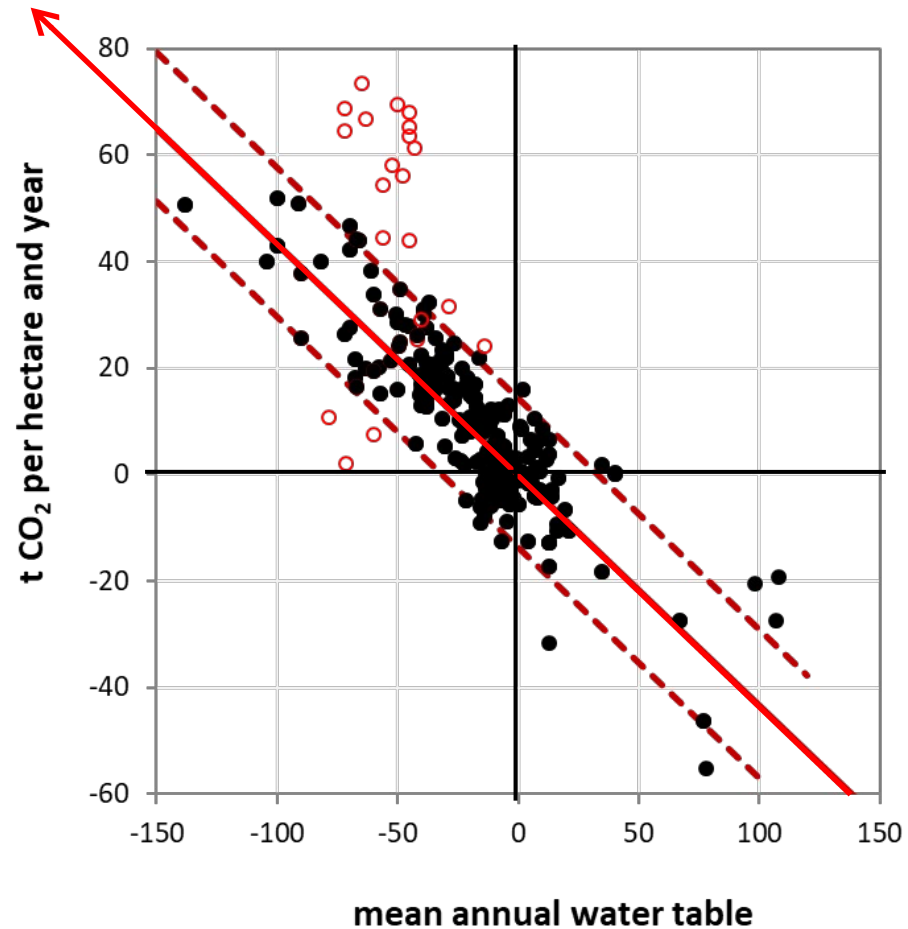


b) Meta-Analyse: Wasserstand

+ 10 cm Entwässerung = + 5 t CO₂ ha⁻¹ y⁻¹

CO₂

Klarer Trend für Moor-
böden



3) Von Messdaten zu GEST und Emissionsfaktoren

- Abgrenzung von Vegetationsklassen, welche die Treibhausgasflüsse in Verbindung mit einem kohärenten Satz von Standortbedingungen am besten beschreiben (= GEST → Greenhouse Gas Emission Site Type)
- → Dies ist ein iterativer Prozess
- Berechnung von Emissionsfaktoren (EF) als Mittelwerte für jeden GEST

c) Von Messdaten zu GEST und Emissionsfaktoren

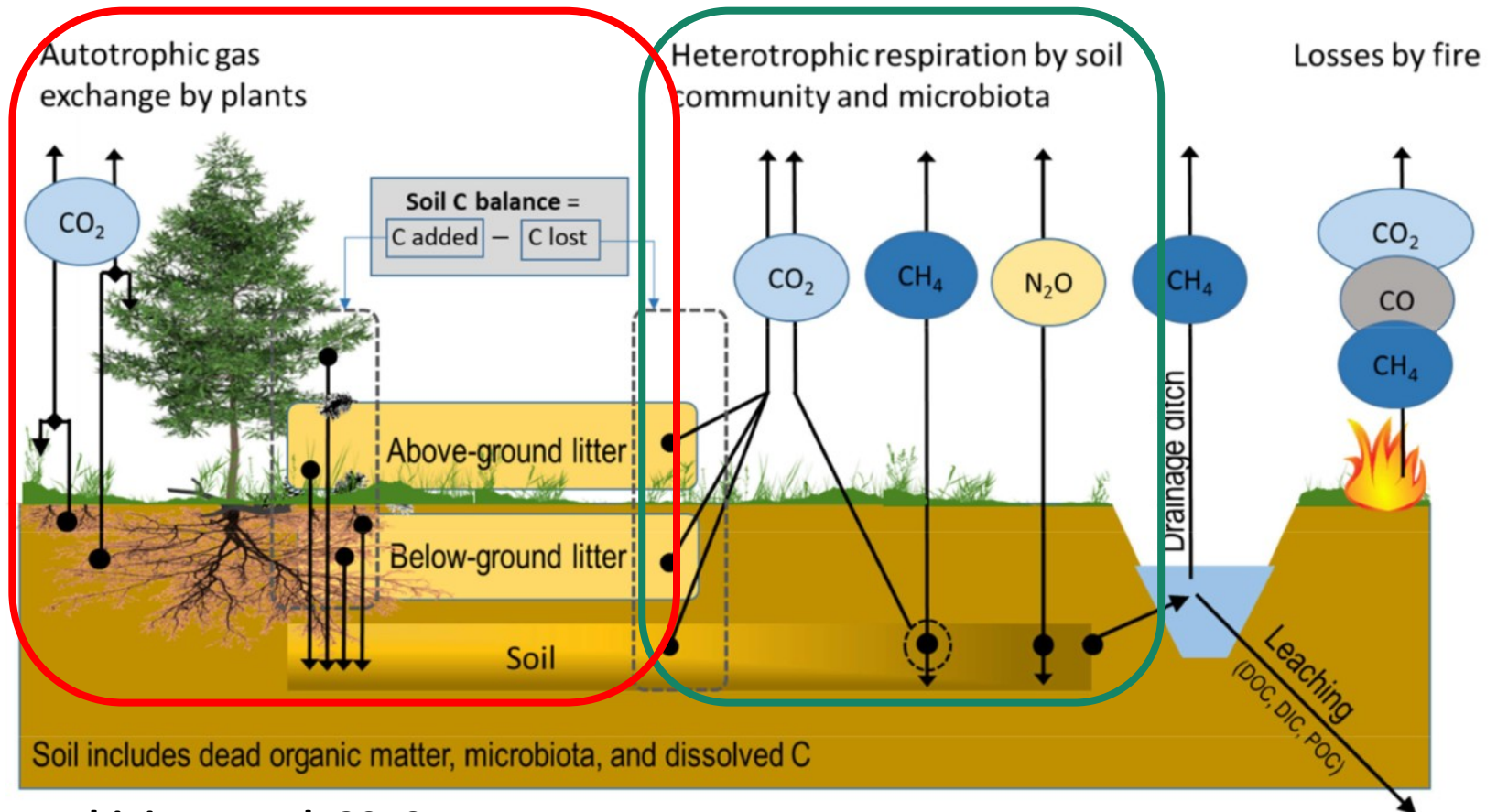
- Aktuell können wir 30 GESTs und 11 Special GESTs abgrenzen:
- 13 GESTs beschreiben genutzte Standorte
 - 10 GESTs für Grünlander
 - 2 GESTs für Äcker
- 17 GESTs beschreiben ungenutzte Standorte
 - 7 Hochmoor-GESTs
 - 10 Niedermoor-GESTs
- 11 “special GESTs” beschreiben abweichende Bedingungen und “strange ducks”
 - Anmoore, extrem nasse/trockene Jahre, Sonderstandorte (z.B. mit lateralen Stoffimport)

Von Offenland...

...zu Waldmooren

4) THG-Emissionsmessung von Waldmooren

THG-Messbedingungen schwieriger als in unbestockten Mooren



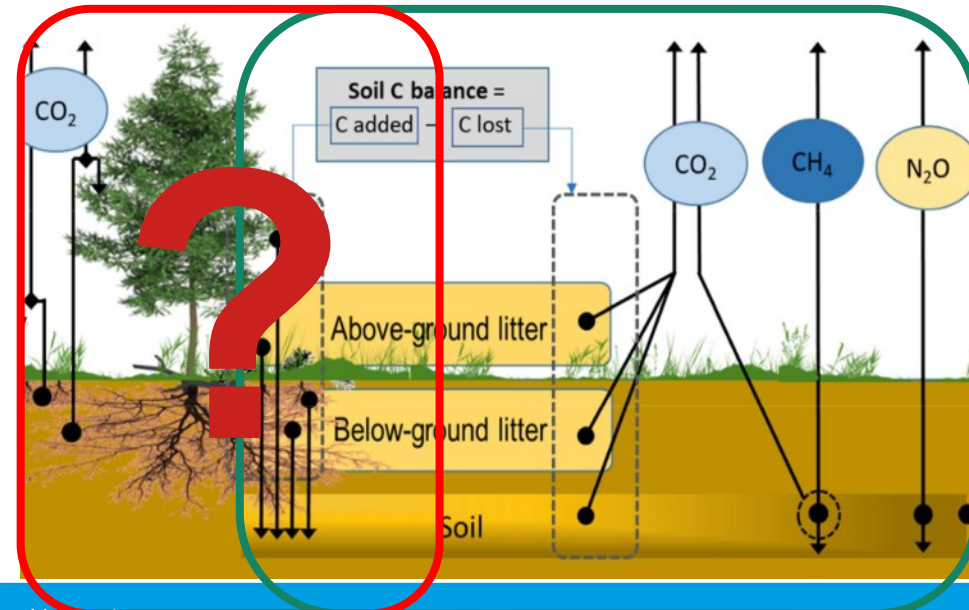
Jauhiainen et al. 2019

4) THG-Emissionsmessung von Waldmooren

Ziel: Quantifizierung der Änderungen im Boden-Kohlenstoff

1) Haubenmessung:

- Mit Bäumen → schwer 'unter die Haube' zu bekommen
- Ohne Bäume → Wurzelrespiration → CO₂ von außerhalb des Messsystems
- Keine vollständige Bilanz!



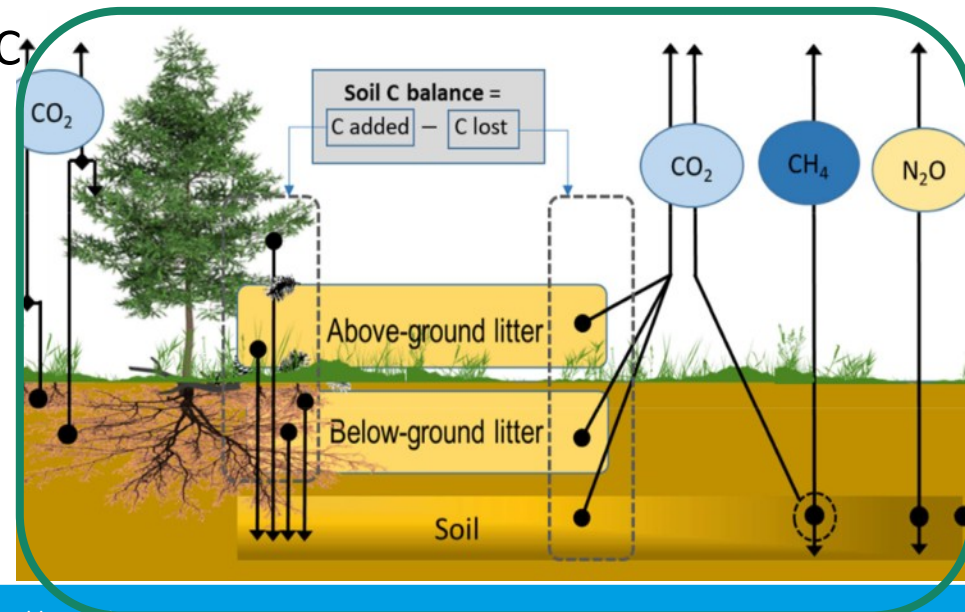


4) THG-Emissionsmessung von Waldmooren

Ziel: Quantifizierung der Änderungen im Boden-Kohlenstoff

2) Eddy Covariance Messung:

- Vollständige Messung möglich, **ABER:**
- Hohe Messtürme → großer Footprint → große homogene Bestände nötig
- Keine Trennung Baum und Boden-C
- Momentaufnahme, deckt nicht vollständige Forstzyklen ab



4) THG-Emissionsmessung von Waldmooren

Wegweisende Studien:

1) Korkiakoski et al. 2019 - THG-Emissionen nach Kahlschlag (EC + Hauben)

- Hohe CO₂-Emissionen nach Kahlschlag (Zersetzung von Torf + Rodungsrückständen, Reduktion von Primärproduktion, Rückgang von Bodenvegetation)

2) Jauhiainen et al. 2019 - Review zu C-Flüssen temperater + borealer Waldmoore:

- Nur 11/13/15 Publikationen mit hohem Potential für Quantifizierung von jährlichen CO₂/CH₄/N₂O-Bilanzen temperater Waldmoore
- Häufig Mangel an Standortdaten (Wasserstände, Bodencharakteristik)

3) Mäkiranta et al. 2008 - komplizierter Versuchsaufbau “Trenching + Cross-checking”:

- Trennung von Emissionsanteilen aus Torf, Streu, Wurzelrespiration durch Abtrennen der Wurzeln bzw. Entfernung der Streu → 3 Varianten: nur T, T+S, T+W
- Bisher nie wiederholt worden...

4) THG-Emissionsmessung von Waldmooren

Studien zu allgemein gültigen Emissionsfaktoren:

- 4) **Escobar et al. 2022** – Vergleich THG von restaurierten + natürlichen Waldmooren
- Regenerationszeit spielt entscheidende Rolle → 3-Phasen-Konzept zeigt kurzfristig kleine aber langfristig vielversprechende Erfolge
- 5) **Tiemeyer et al. 2020** – Emissionsfaktoren für nationale Berichterstattung (Tier 2)
- Bisher keine Messdaten für Waldmoor-CO₂-Emissionen integriert
 - → abgeleitet an Gesamtdatensatz (Offenland), daher vermutlich überschätzt
 - Nur 2 Kategorien vorhanden (drained forest land + rewettet organic soils)
- **Bisher keine differenzierten EF für verschiedene Waldmoorstandorte und Wasserstufen verfügbar**

5) Praxisanwendung Pöllwitzer Wald (DBU)

Kompromiss-Lösung: Trennung in Teilbilanzen



„Boden & bodennahe Vegetation“
(= GESTs)

„Bestockung“
(Kohlenstoffspeicher in Holzbiomasse)

- Annäherung über konservative angepasste Offenland-GESTs
- Verbreitung organischer Böden im UG
- Ist-Zustand von Vegetation & Wasserständen
- Erwarteter Zielzustand nach Maßnahmenumsetzung

- Ermittlung über Schätztabelle von Klein & Schulz 2011

5) Praxisanwendung Pöllwitzer Wald (DBU)

Lage:

- Vogtland/Thüringen westlich von Greiz

Teilziel:

- Kohlenstoffbilanz für Wiedervernässung

Besonderheit:

- Zahlreiche teilweise kleinflächige Mulden mit Anmoor- und Torfböden
- Insgesamt 8,3 ha
- Teilweise mit Fichten/Kiefern bestockt



Breinl (1995)

5) Praxisanwendung Pöllwitzer Wald (DBU)

A) Ist-Zustand von Vegetation & Wasserständen

- Stichprobenartige Erfassung von Torfmächtigkeit und Vegetation
- Klassifizierung von 4 Ausgangs-Standorttypen (Tab)

Typ	Bodenvegetation	Bäume	Torfmächtigkeit
A1 trocken	Nadelstreu und/oder Blaubeere	Fichten und Kiefern- Hochwald bis Plenterwald mit Sturmwürfen	ca. 5-10 cm amorphe Torfreife
A2 vergrast	Glyceria, Rohrglanzgras, Reitgräser	meist Lichtungen, vereinzelt Birken oder Fichten, viele Sturmwürfe	10 cm
A3 Sehr feucht bis nass, wechselnd	meist mit Polytrichum und Torfmoosen, z.T. mit Binsen	Lichtungen	5-40 cm, max. 130 cm
A4 mit Überstau	aktuell offene Wasserstellen, randlich Torfmoose, Polytrichum, Seggen und flutenden Süßgräsern	Lichtungen	bis zu 70 cm

A1



K. Keßler 2020

A2



K. Keßler 2020

A3



K. Keßler 2020

A4



K. Keßler 2020

5) Praxisanwendung Pöllwitzer Wald (DBU)

B) Erwarteter Zielzustand nach Maßnahmenumsetzung

- Definition von Ziel-Standorttypen (Tab.)
- Entwicklung von Übergangs-, Schwingrasen- und Quellmooren erwartet

Ziel:



Typ	Bodenvegetation	Bäume	Torfmächtigkeit
Z1 kurzfristig (< 5 Jahre)	Entwicklung zu offenen Wasserstellen mit flutenden Süßgräsern, randlich Torfmoose, Polytrichum und Seggen	Lichtungen	Abhängig vom Ausgangstyp
Z2 langfristig (> 5 Jahre)	Angepasste Vegetation aus Torfmoosen, Polytrichum und Seggen	Lichtungen	Abhängig vom Ausgangstyp

5) Praxisanwendung Pöllwitzer Wald (DBU)

C) Konservative Anpassung der GEST-Emissionsfaktoren (EF)

- Korrektur für geringmächtige org. Schichten
- Berücksichtigung von C-Senke optional für A4/Z1, fakultativ für Z2

Ziel:



Typ	Wasserstufe	Angepasste Emissionsfaktoren pro Hektar und Jahr	Referenz Emissionsfaktoren (GESTs Stand 2020)
A1	2+	2,5-5 t CO₂-Äq. (je nach Mächtigkeit der organ. Schicht)	Best estimate 5 t CO ₂ ha ⁻¹ yr ⁻¹ und 0 kg CH ₄ ha ⁻¹ yr ⁻¹ pro 10 cm Mächtigkeit
A2	3+/3~	5 t CO₂-Äq.	Best estimate 5 t CO ₂ ha ⁻¹ yr ⁻¹ und 0 kg CH ₄ ha ⁻¹ yr ⁻¹ pro 10 cm Mächtigkeit
A3	4+	5,5 t CO₂-Äq.	GEST U3/U4/U5 4,3 t CO ₂ ha ⁻¹ yr ⁻¹ und 40 kg CH ₄ ha ⁻¹ yr ⁻¹ (sehr feuchte Heide, Wiesen, Hochstauden, Seggen, Torfmoose)
A4	5~	2,5-4,5 t CO₂-Äq. (je nach C-Festlegung)	GEST U7/U13 0 bis -1,8 t CO ₂ ha ⁻¹ yr ⁻¹ und 160 kg CH ₄ ha ⁻¹ yr ⁻¹ (nasse bis sehr nasse Torfmooschlenken)
Z1	5~	2,5-4,5 t CO₂-Äq. (je nach C-Festlegung)	GEST U7/U13 0 bis -1,8 t CO ₂ ha ⁻¹ yr ⁻¹ und 160 kg CH ₄ ha ⁻¹ yr ⁻¹ (nasse bis sehr nasse Torfmooschlenken)
Z2	5~	2,5 t CO₂-Äq.	GEST U9 -1,9 t CO ₂ ha ⁻¹ yr ⁻¹ und 160 kg CH ₄ ha ⁻¹ yr ⁻¹ (nasse Kleinseggenriede mit Mooschicht)

5) Praxisanwendung Pöllwitzer Wald (DBU)

Zwischen-Bilanz: THG-Emission „Boden + bodennahe Veg.“

- Pro Hektar und Jahr: **1,4 – 2,6 t CO₂-Äq. ha⁻¹ yr⁻¹** (MW: 2)
- Pro Jahr: **11,4 – 21,8 t CO₂-Äq. yr⁻¹** (MW: 17)
- Über 30 Jahre: **340 – 650 t CO₂-Äq.** (MW: 500)

→ relativ geringes THG-Einsparpotential, da THG-Emissionen vor Maßnahmenumsetzung schon gering (meist geringe organische Auflage, geringe Gesamtgröße der Potentialflächen)

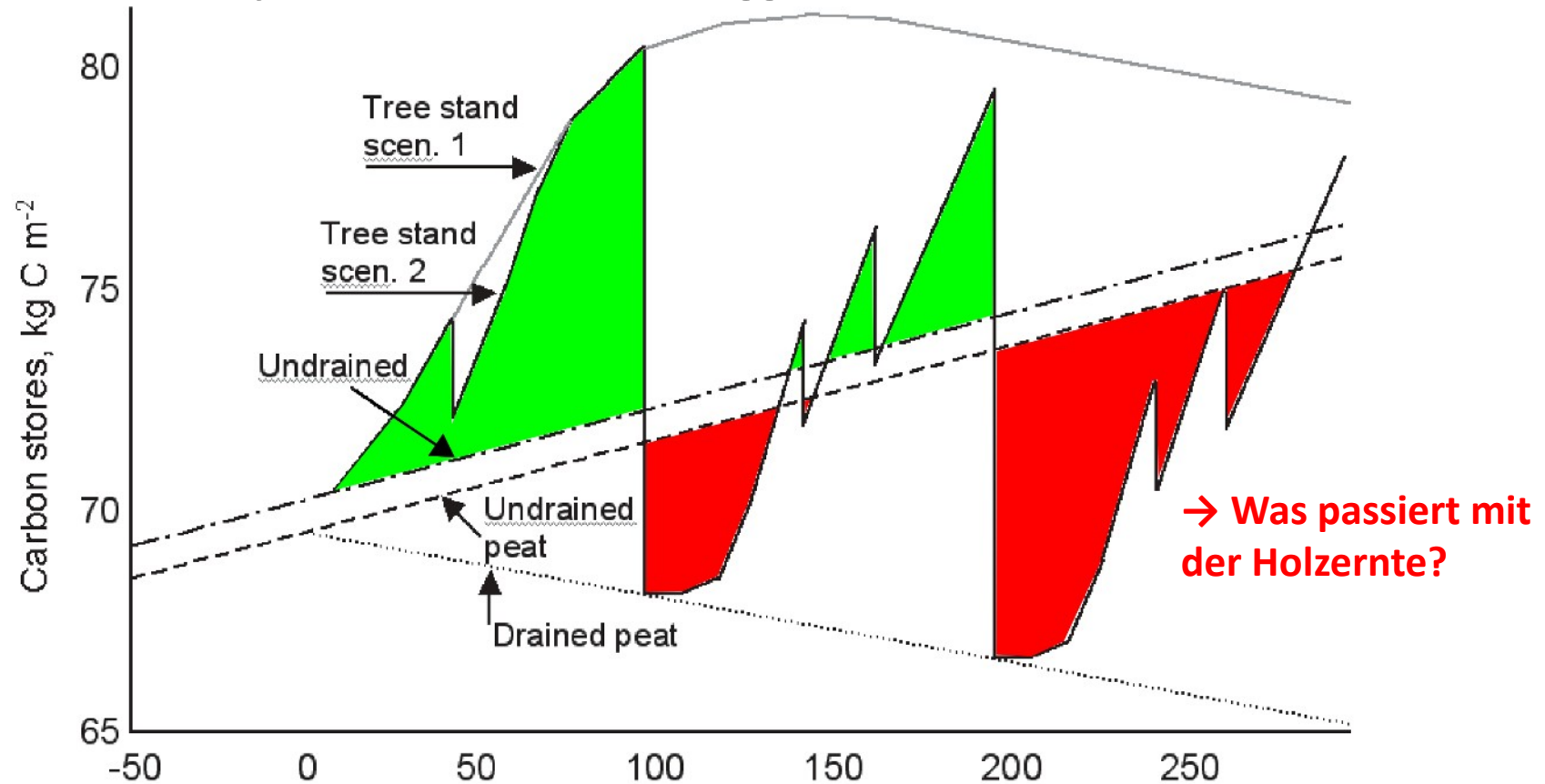
Kohlenstoffspeicher „Bestockung“

- Gesamt: **1.050 – 1.400 t CO₂-Äq**
- Im Holz ca. 2x soviel CO₂ gespeichert, wie Vernässung in 30 Jahren einspart

→ Entscheidende Frage: Was passiert mit dem Holz? Absterbeprozess oder Nutzung? Energetische Nutzung oder langfristige Holzproduktespeicher?

5) Praxisanwendung Pöllwitzer Wald (DBU)

Kohlenstoffdynamik borealer Großseggen-Kiefern-Niedermoorwald



Joosten & Clarke 2002

5) Praxisanwendung Pöllwitzer Wald (DBU)

Fazit:

- Entwässerungsbasierte Waldnutzung auf Moor ist klimaschädlich!
- Bisher fehlende Präzision bei Waldmoor-EF für Anwendung bei zertifizierten Kohlenstoffprojekten!
- Daher nur über Annahmen und allgemeines Prozessverständnis einschätzbar
- Pöllwitzer Wald: nur geringe THG-Einsparung, aber: **Torfmineralisierung gestoppt**
- **Und:** Wiedervernässung fördert **zusätzlichen Nutzen!**
 - Tümpel, Feuchtflächen, Bruchwälder → Struktur + Lebensräume
 - Rückhalt von Winterniederschlägen → Resilienz von angrenzenden Wäldern → Anpassung an Klimawandel
 - Nahrungshabitate
 - Verdunstungskühlung
 - ...



Vielen Dank!



**MOOR
MUSS
NASS!**

Kontakt: felix.reichelt@greifswaldmoor.de