

Warum unsere Moore so wichtig sind

Prof. Dr. Matthias Drösler & Team

08.11.2024



Eine Moorreise durch:

Boden

Bösfeld (mit Gullen und Mocken)

Dürre

Au

Kühmoos

Guggenmoosen

Riedhausen

Ewigkeit

Hübscher

Wilhelmsdorf



Moore und Auen in Deutschland

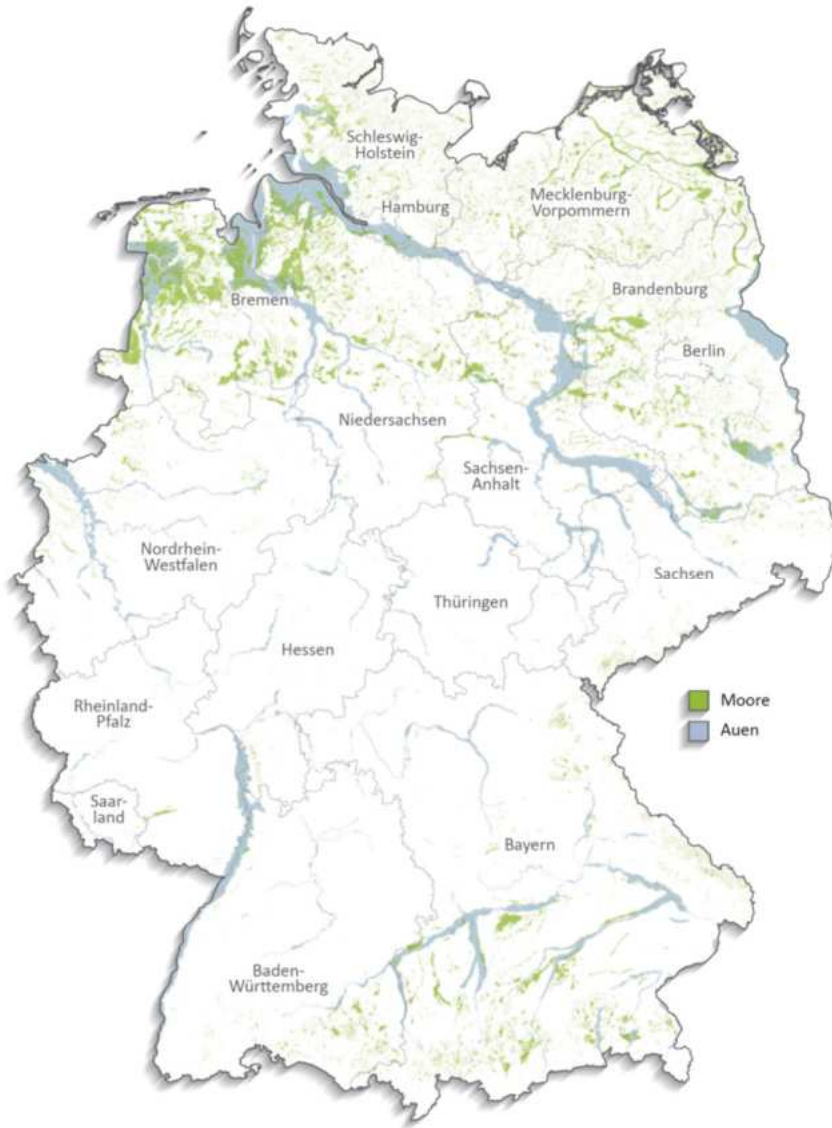
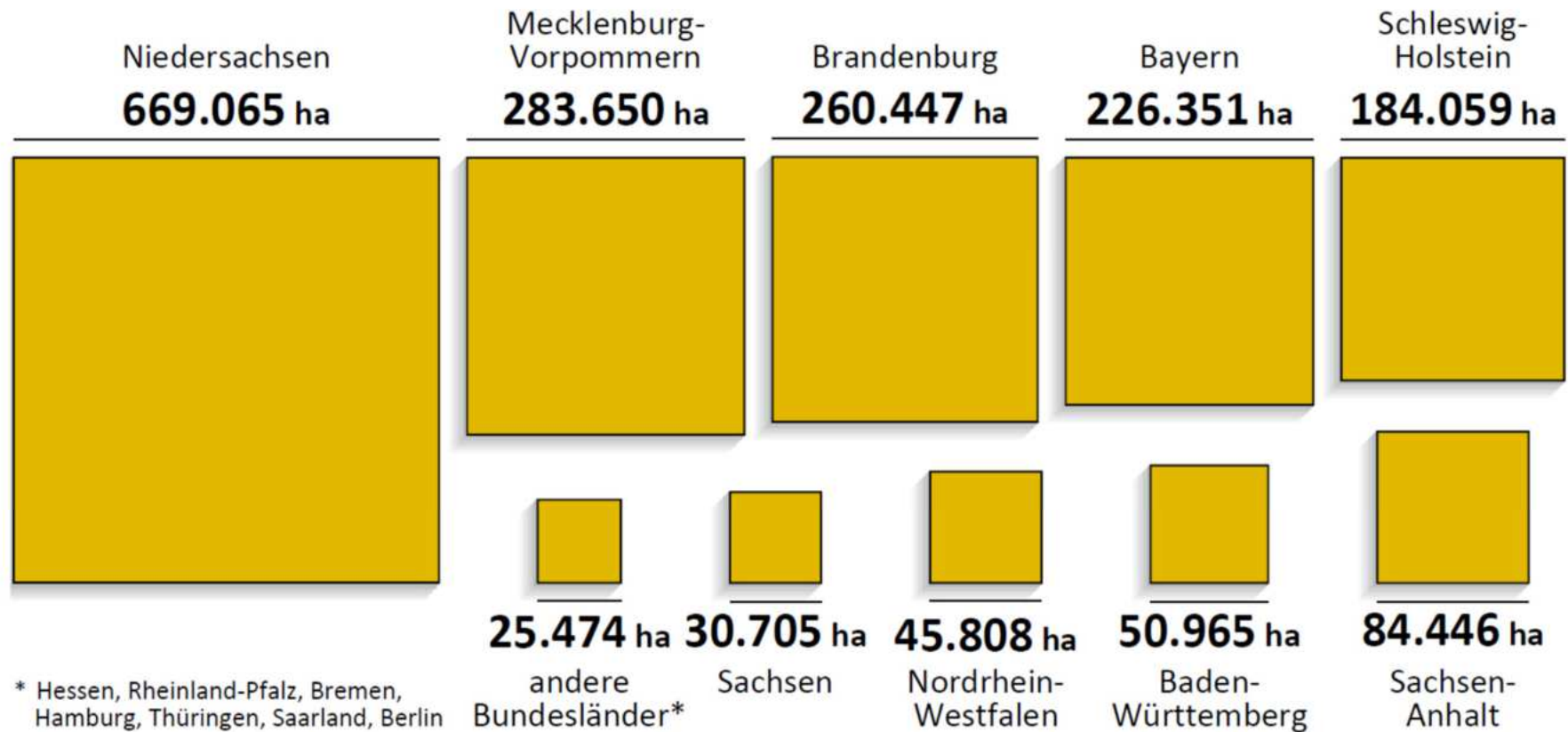


Abbildung 4: Verbreitung der Moore und Auen in Deutschland¹⁹

Moore:
1.93 Mio ha organischer Boden

Wittnebel et al. 2024

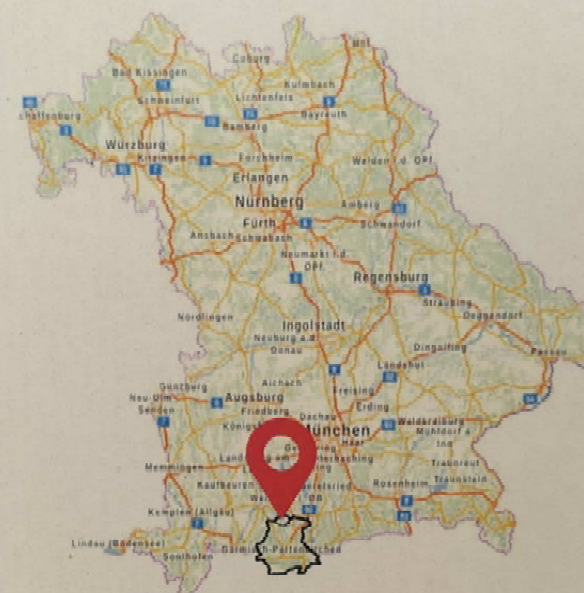
Moorflächen in den Bundesländern



Leopoldina 2024



Hochmoor aus Torf über tiefem Schotter (Oberpleistozän)



Kurzinformation:

Die starke Torfzersetzung weist auf eine Entwässerung des Standortes hin.

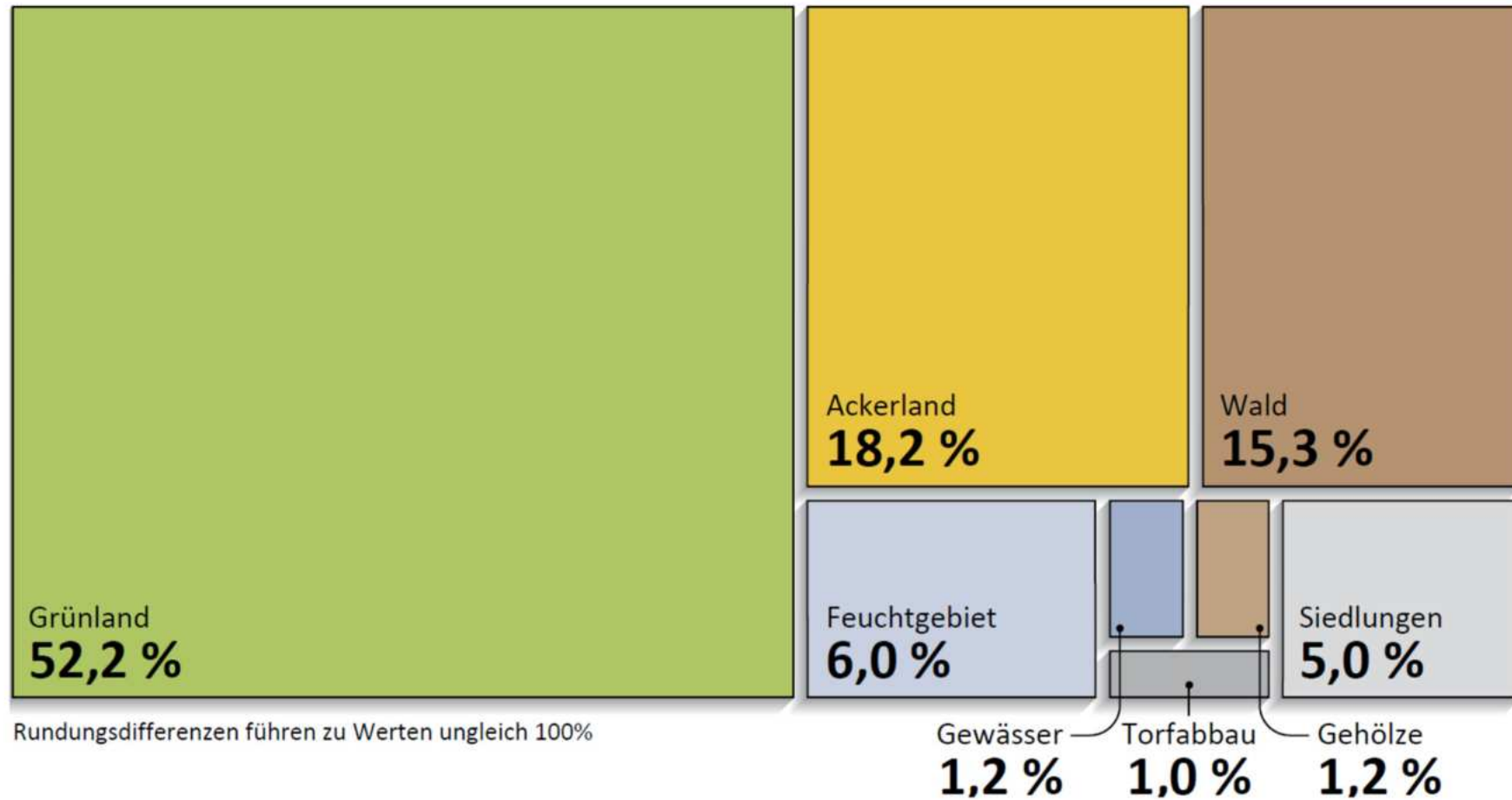
Standortinformation:

Mittelgründiger, wechselfeuchter Standort mit geringen Nährstoffreserven.

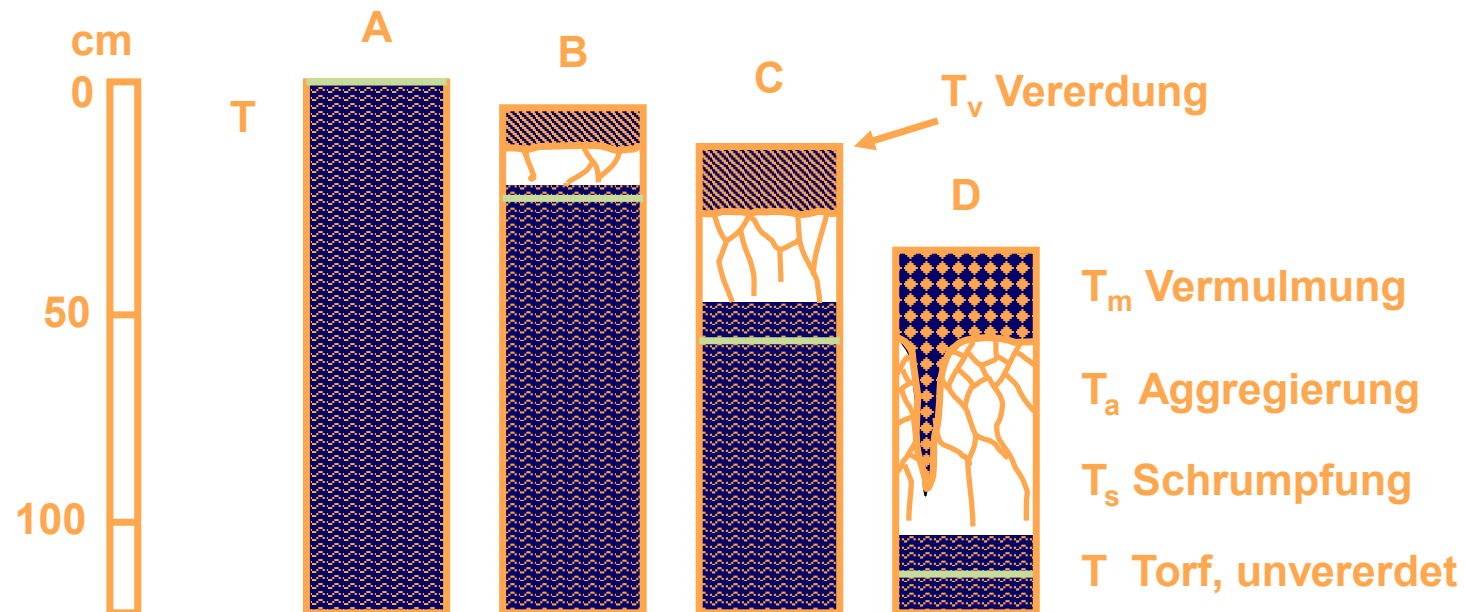
Information zum Profil:

Maße:	150 cm x 33 cm
Gewicht:	10 kg
Aufnahmeort:	Uffing
	Landkreis Garmisch-Partenkirchen
Aufnahmedatum:	22.09.1994

Nutzung der Moore



Bodenentwicklung im Moor



A = wachsendes Moor, unentwässert

B = mäßig entwässertes Moor

C = stark entwässertes Moor

D = stark degradiertes Moor (Vermulmung, Torfschwund)

Bodenhöhenverlust

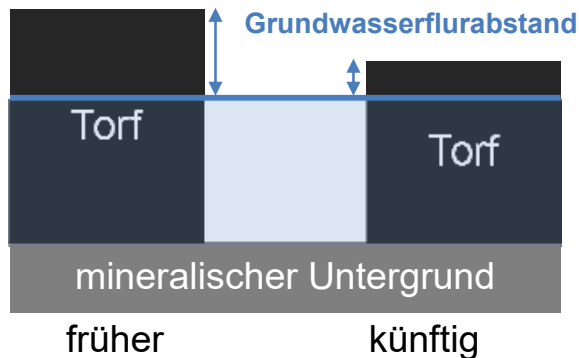


Kultiviertes Niedermoor
(Durchströmungsmoor);
Donaumoos

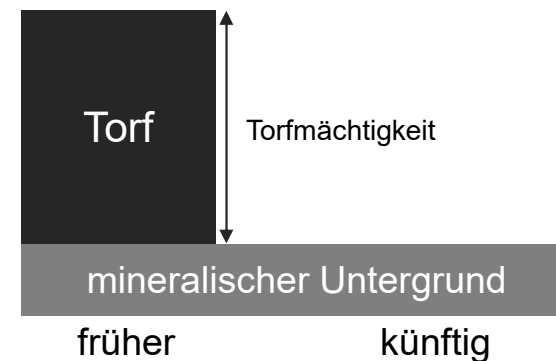
Endlichkeit der landwirtschaftlichen Moornutzung

Durch Entwässerung kommt es zu **Torfschwund**. Dies führt zu zwei möglichen Szenarien:

Das **Grundwasser** wird erreicht (**Überschreitung kritischer Grundwasserflurabstände**) und die bisherige trockene Bewirtschaftung wird nicht mehr möglich sein:



Vollständiger Verlust des Torfkörpers und Erreichen des unfruchtbaren, mineralischen Untergrunds
z.B. Kies, Seeton, z.T. Almkalk



Abschätzung der Endlichkeit über **Torfsackungsraten**.

Endlichkeit der landwirtschaftlichen Moornutzung

Etwa 40% der landwirtschaftlich genutzten Moorböden werden in den kommenden **30 Jahren** nicht mehr wie bisher nutzbar sein; davon

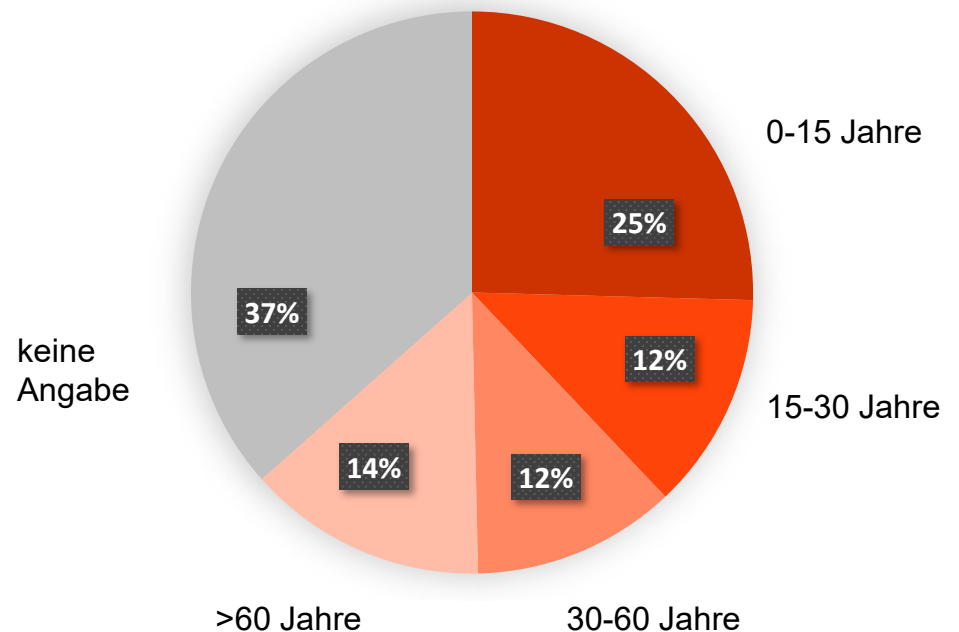
ca. **25%** innerhalb der nächsten **0-15 Jahre**

ca. **12%** in den nächsten **15-30 Jahren**

➔ **Boden soll erhalten bleiben bzw. wiederhergestellt werden.**



© Agroscope (Gabriela Brändle, Urs Zihlmann), LANAT (Andreas Chervet), Schweiz



Bösfeld









Hydrologische Extreme als Folge langjähriger Entwässerung

Bodendegradation (Vermulmung) und **Bodenverdichtung** (als Resultat langjähriger Entwässerung) führen zu Extremen:

Moorhexe



Foto: Matthias Drösler

Bei trockenen unbedeckten Moorflächen (Acker) kann Winderosion entstehen – im Bayerischen Donaumoos hat diese (aufgrund des regelmäßigen Auftretens) einen Namen: Moorhexen

Trockenrisse



Foto: Bastian Zwack

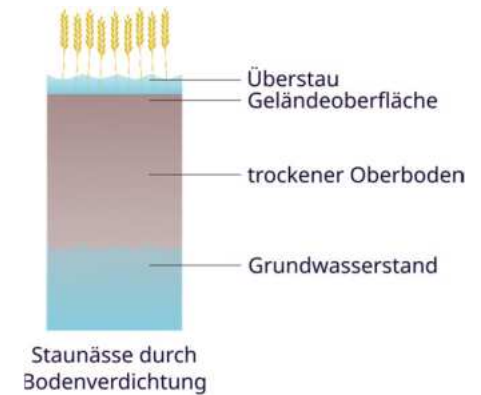
Risse im Oberboden durch anhaltende Trockenheit und geringer Wasserleitfähigkeit von degradierten Torfen (Trockene Blumenerde); Langenweiher, Bayerisches Donaumoos.

Staunässe (Überstau)



Foto: Bastian Zwack

Staunässe nach Starkregenereignis in Karolinenfeld, nahe Rosenheim, aufgrund des nahezu wasserundurchlässigen Oberbodenhorizonts in Folge langjähriger Entwässerung.



Dürre

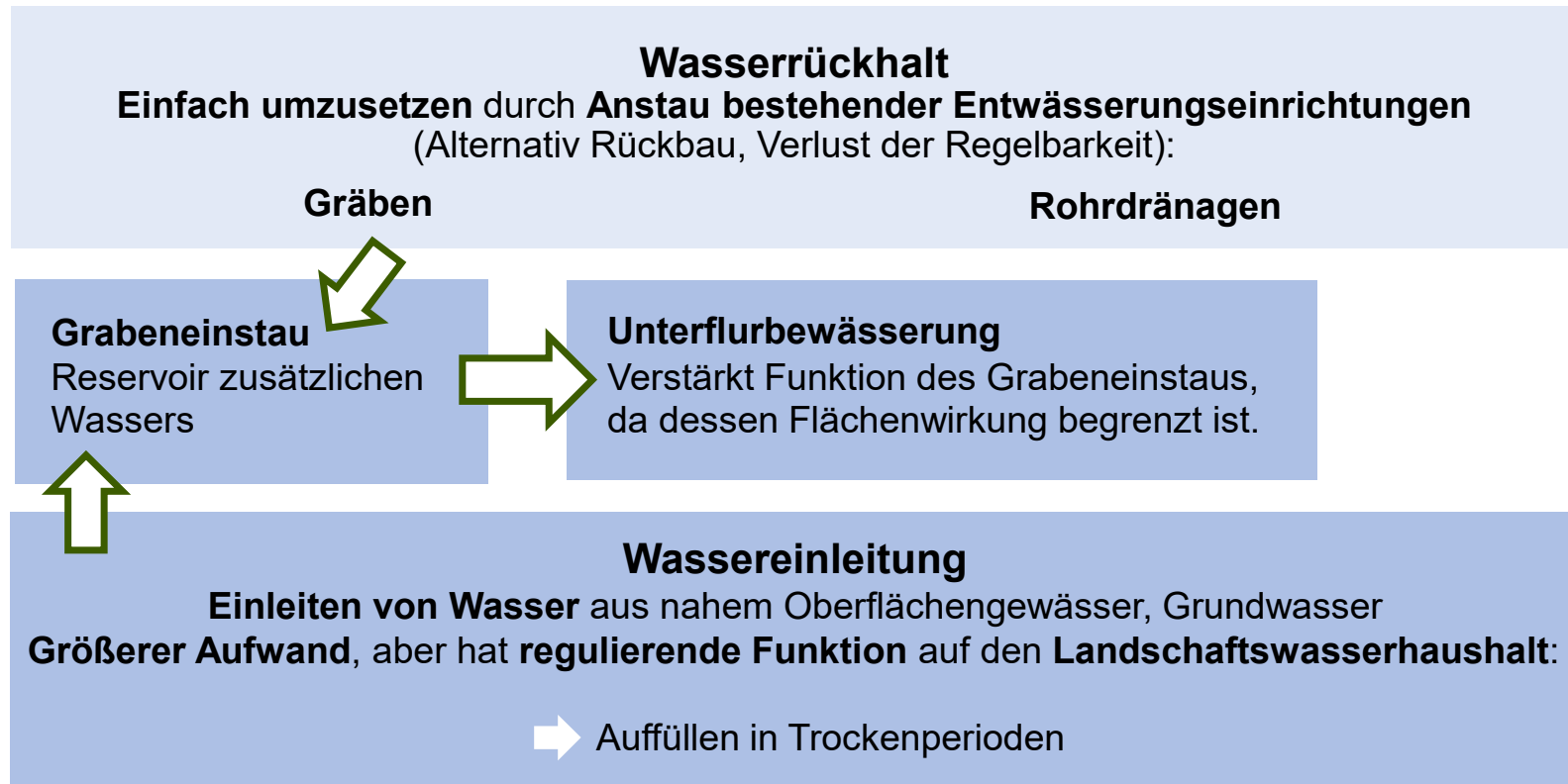








Wasserregelungstechniken



➔ Wiedervernässung klappt nur mit Einverständnis der Anrainer.
Regelbare Techniken erleichtern landwirtschaftliche Nutzung mit Standardtechnik.

Gräben



Graben ohne Stauwehr



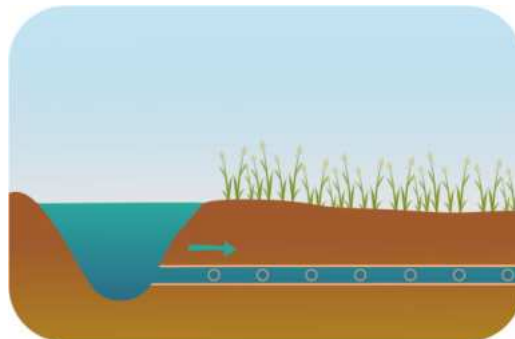
Graben mit Stauwehr inklusive Schieber

Fotos: Eva Schmidt

Bereits bestehende **Entwässerungsgräben** werden mit **Stauwehren** aufgestaut, sodass Wasser aus der Fläche zurückgehalten wird. Mithilfe eines **Schiebers** kann der **Wasserstand** manuell geregelt werden.

➡ **Dränagen** leiten das Grabenwasser in die Fläche

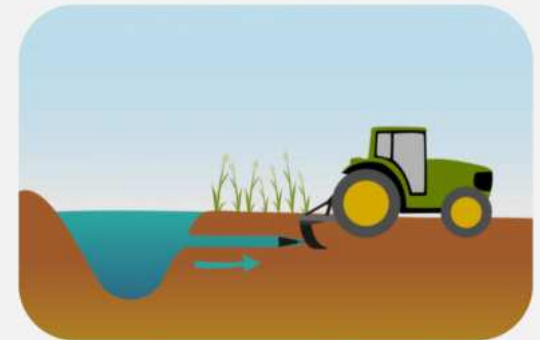
➡ Dortiger Wasserstand wird erhöht



Modifikationen:

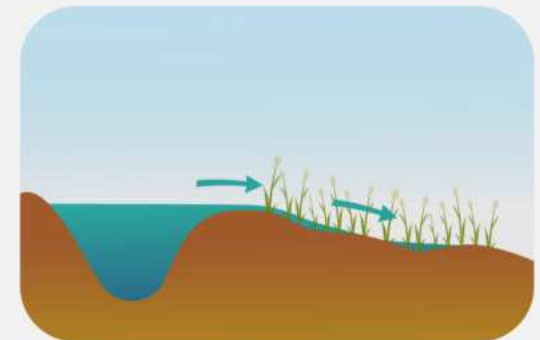
Rohrlose Unterflurbewässerung

Vom Graben ausgehend wird ein Hohlraum gezogen, durch den Wasser in die Fläche geleitet wird.

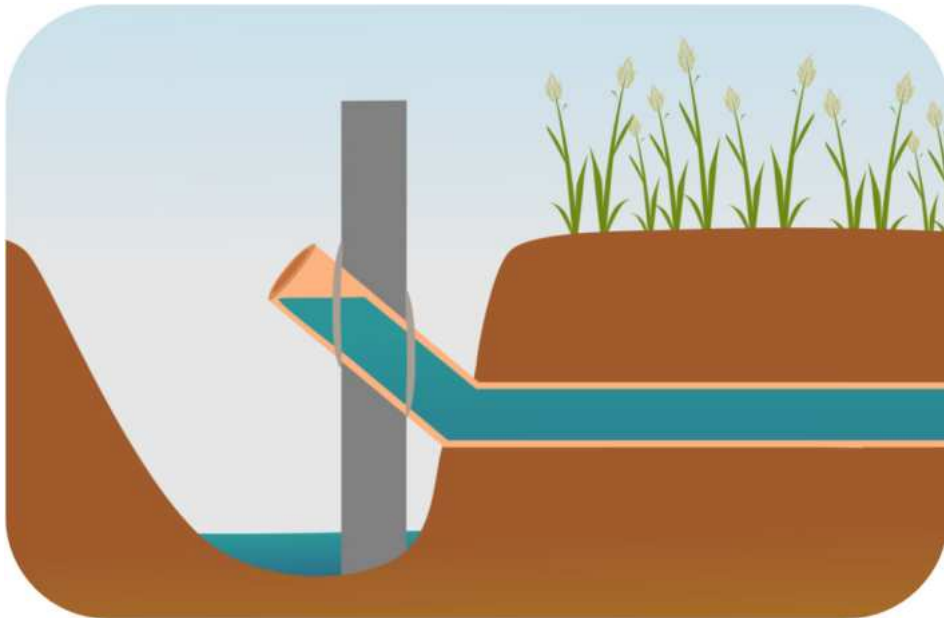


Hangparallele Überrieselung

- Wird bei geneigten Flächen und höhenlinienparallelen Gräben angewendet.
- Da der Grabenwasserstand höher ist als die Grabenschulter, wird das Wasser abschüssig geleitet.



Regelung von Dränagen

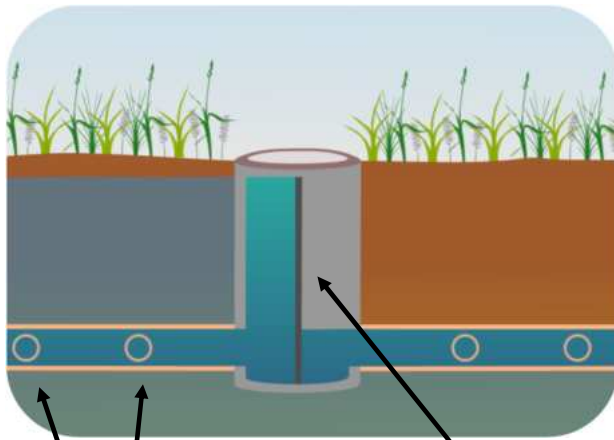


Mündet eine Dränage direkt in einen Graben, kann durch Anbringen eines **schwenkbaren Rohraufsatzes** der Wasserrückhalt in der Fläche erhöht und das Wasser bei Bedarf abgelassen werden.

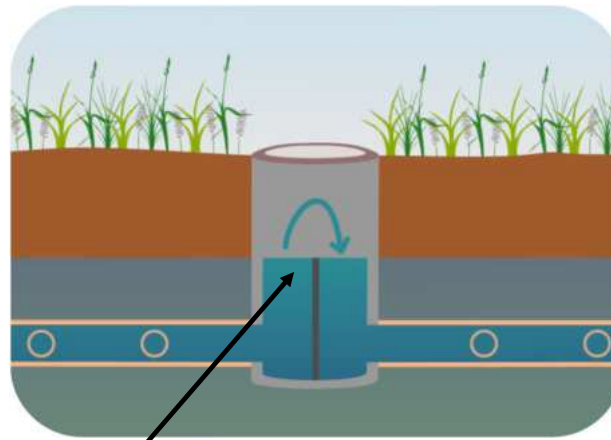
Diese Maßnahme bietet sich daher vor allem in **niederschlagsreichen Regionen** an, wo der vorhandene Bodenwasserspeicher schnell durch Niederschlagswasser aufgefüllt werden kann.

Schachtsystem an Dränagen

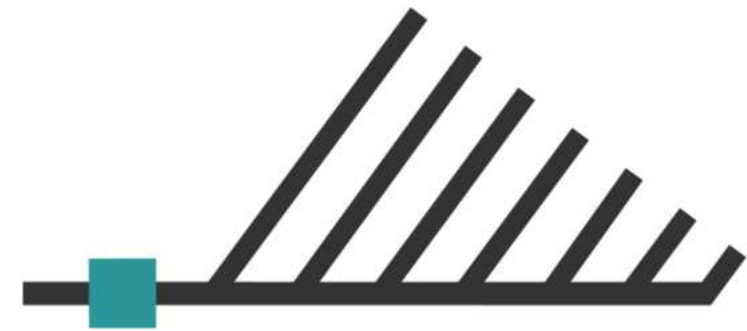
- Ein Schacht wird an einem **Knotenpunkt** im **Dränagensystem** angeschlossen.
- Ein **höhenverstellbarer Schieber** ermöglicht den Wasserrückhalt in der oberliegenden Fläche.



In die Fläche führende Dränagen



Schieber ermöglicht Steuerung des Wassers



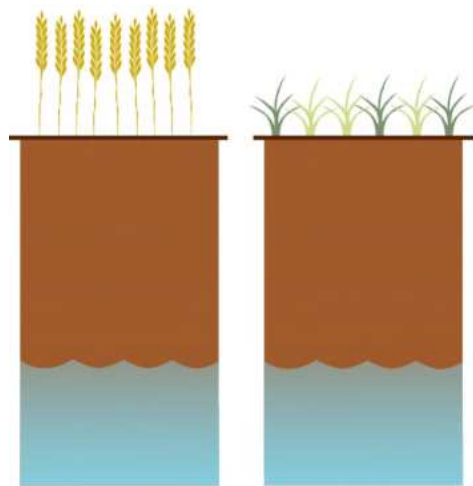
Stauschacht

➔ Schachtsystem nur anwendbar bei **großen Systemen** (Fischgrätldränagen)

Klimaschutz durch Moorbodenschutz

Ausgangszustände

Entwässert

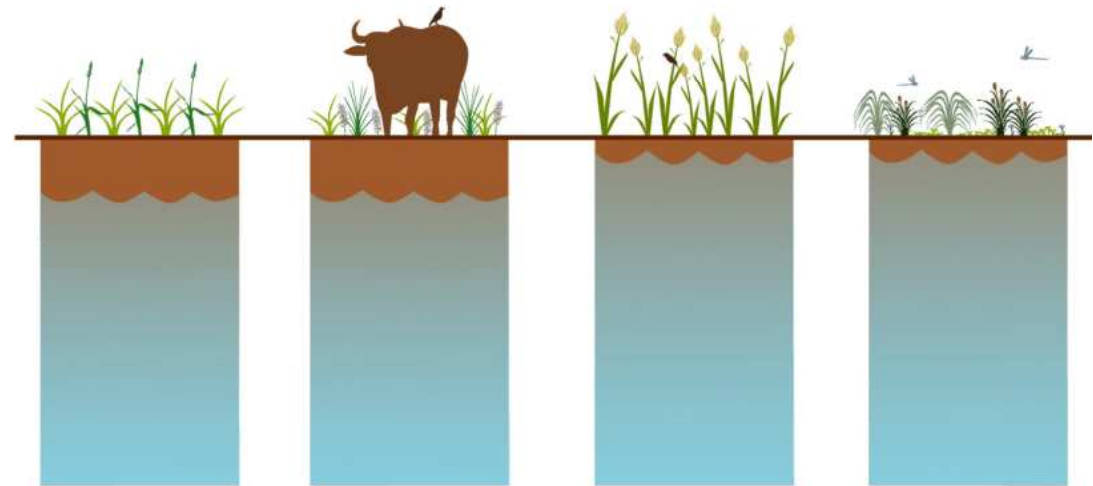


Acker

Grünland

Moorverträgliche Zielzustände

Angehobener Wasserstand



Schnittnutzung
für Futter

Weidenutzung

Anbau -
Paludikultur

Renaturierung



Wasserstandsanhhebung als Grundvoraussetzung für Moorbodenschutz





Weidenutzung auf Moorstandorten

Eignung der Rasse für Moorstandorte abhängig von Faktoren wie:

- Klauengesundheit
- Robustheit
- Trittsicherheit
- Futterverwertung
- Fleischleistung
- Trotzen von Insektendruck

Positive Erfahrungen im Projekt mit folgenden Rassen:



Foto: Lennart Gosch

Murnau-Werdenfelser



Foto: Teresa Koller

Dexter



Foto: Arbeitsgemeinschaft
Schwäbisches Donaumoos
e.V.

**Schottische
Hochlandrinder**



Foto: Lennart Gosch

Wasserbüffel





Guggemoosen



THG-Messungen: Hauben und Eddy





Treibhausgasmessungen

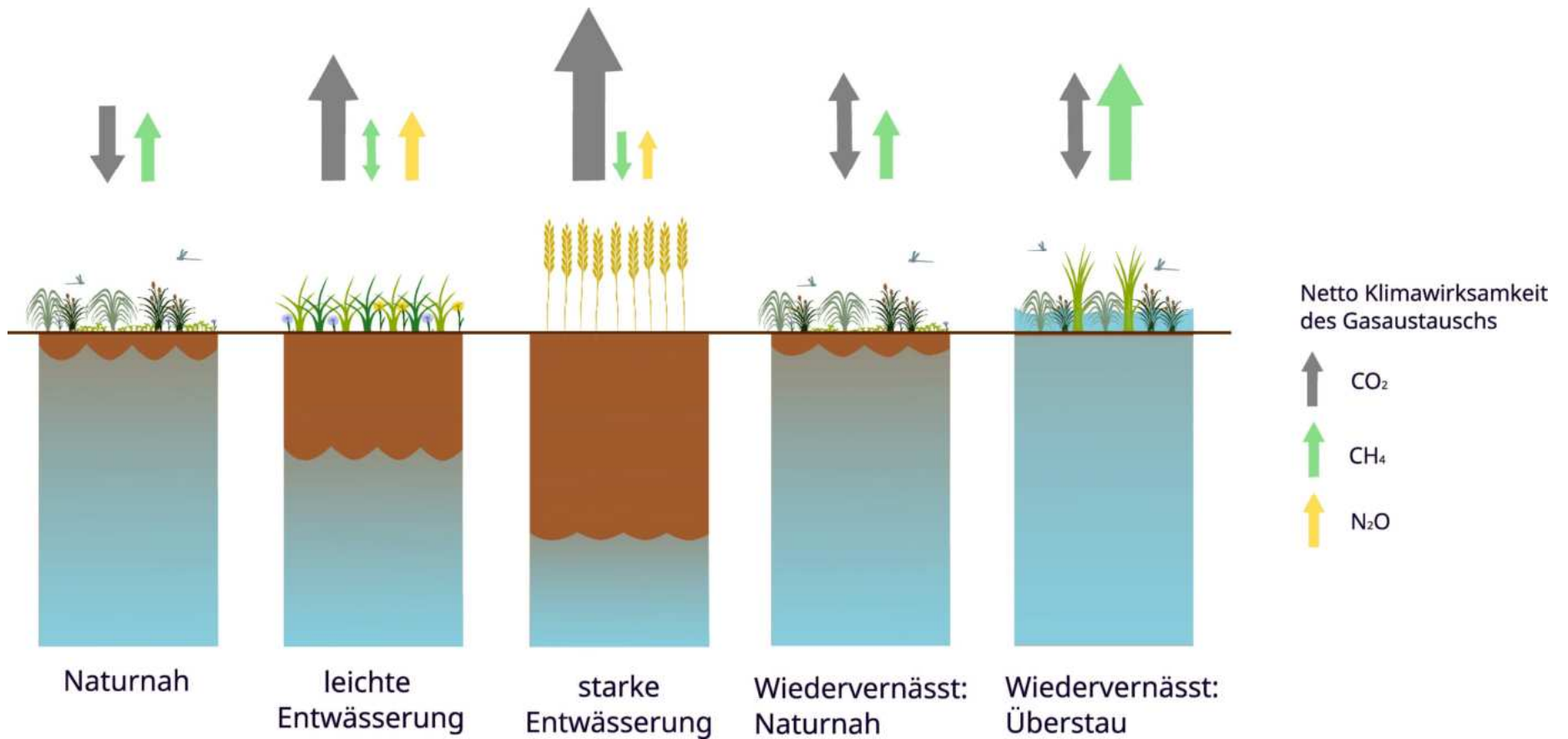
Ausgewertete Treibhausgasmessungen (KliMoBay-Vorhaben)

Datenaufbereitung von Hauben und Eddy-Kovarianz-Messungen, erhoben zwischen 1999-2021 in den bayerischen Mooren

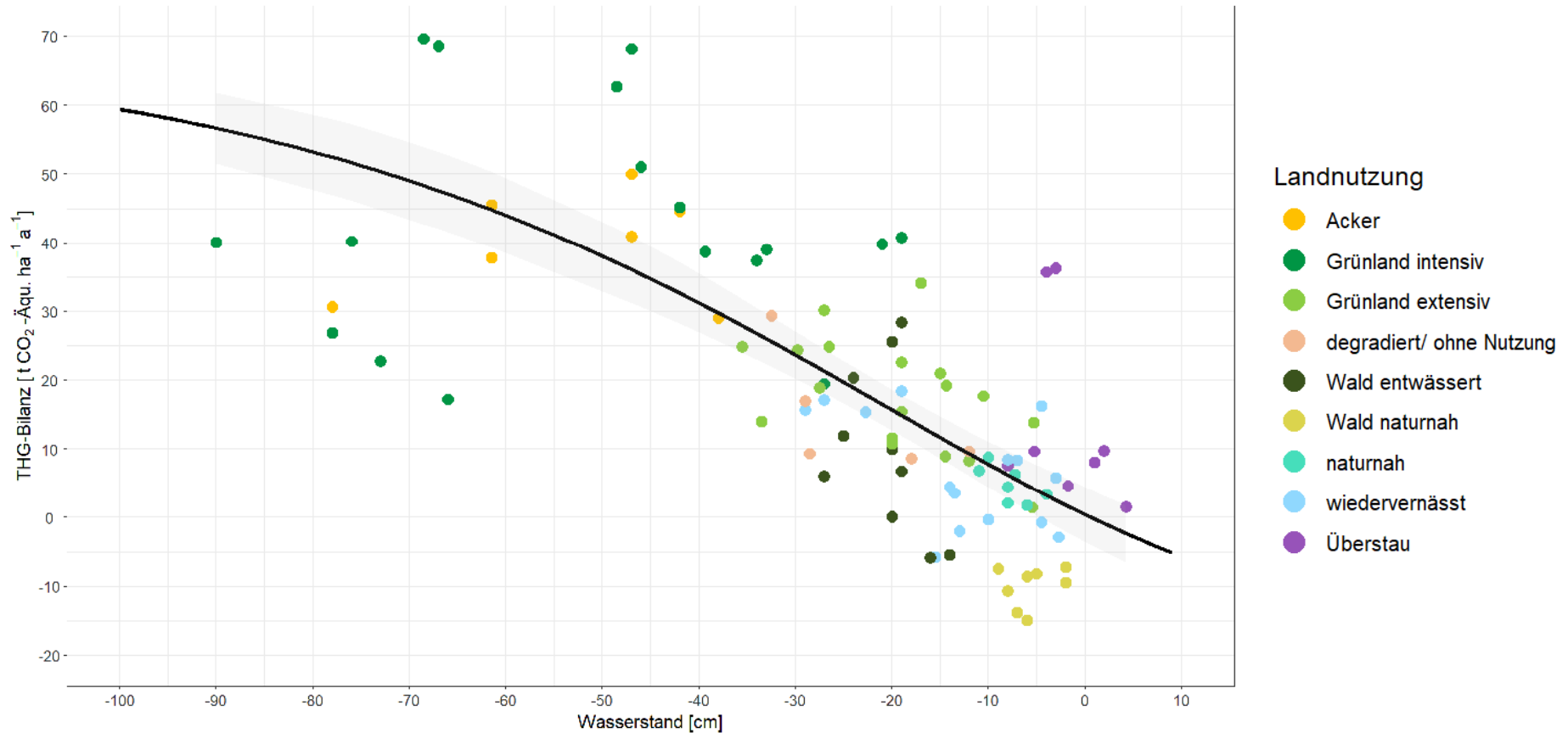
- 7 Moorregionen
- 81 Standorte/ Treatments
- 148 Jahresscheiben



Treibhausgasflüsse in Mooren



Treibhausgasemissionen in Abhängigkeit vom Wasserstand

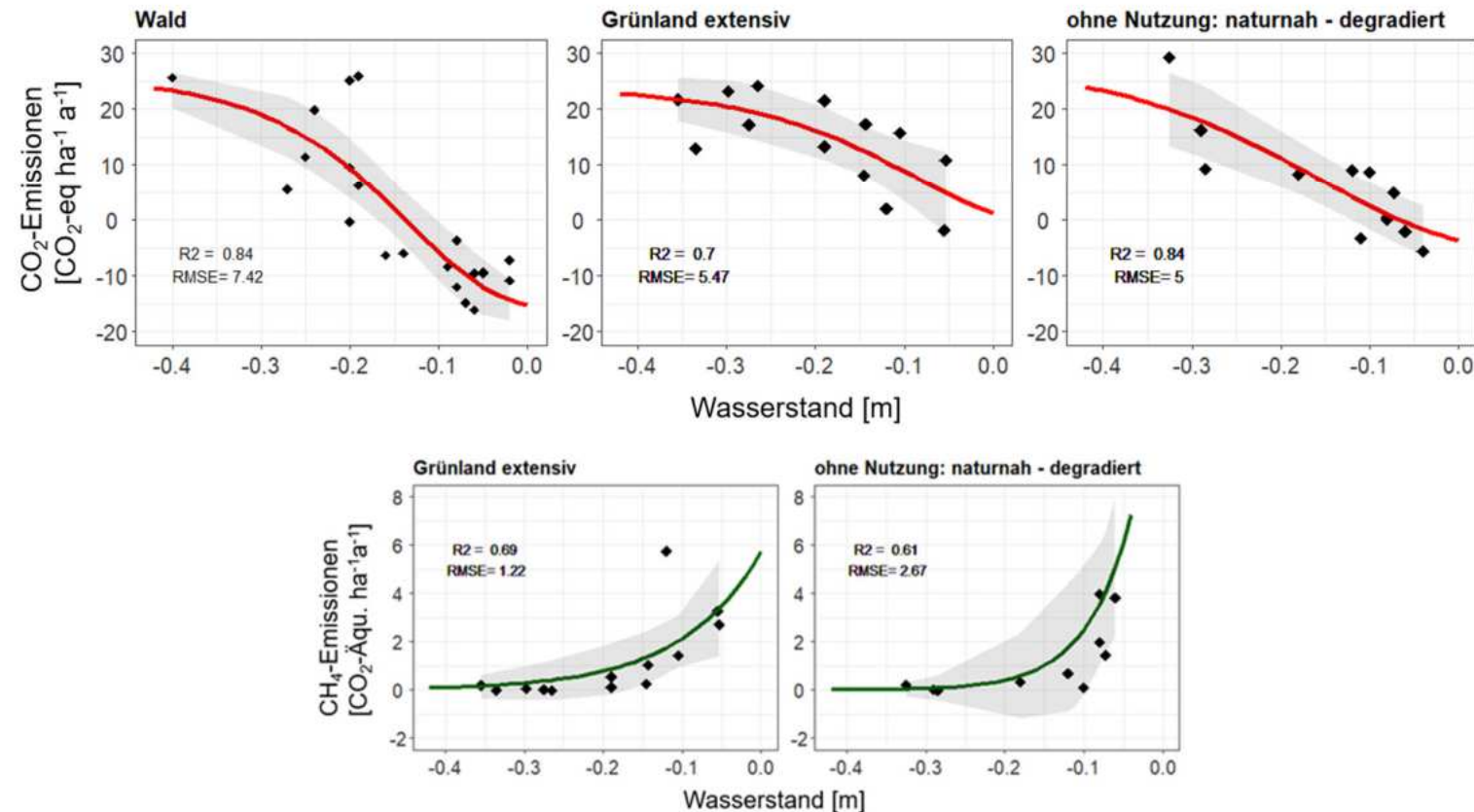


Die höchsten Treibhausgasemissionen treten auf intensiv genutzten Flächen auf.

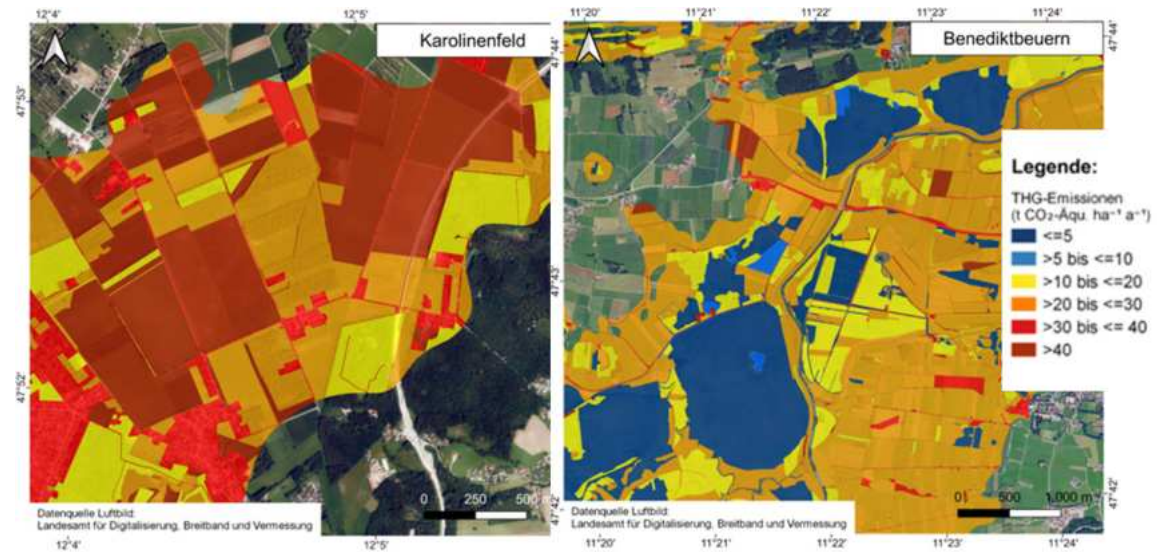
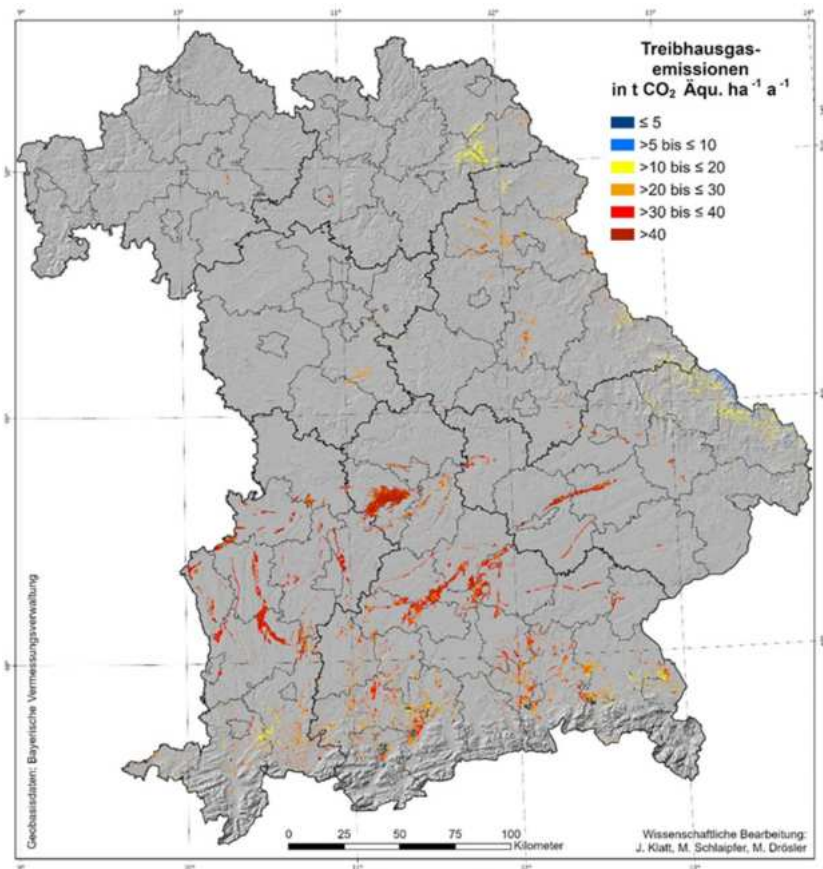
Klimarelevanz und Treibhausgase Modellierung - Abhängigkeiten

Es wurden individuelle **Abhängigkeitskurven/ Modelle** für **verschiedene Landnutzungen** für die Gase **CO₂** und **CH₄** gebildet. Für Ackernutzung wurde keine Funktion gefunden

Angewandt wurden für CO₂ Gompertz-Funktionen und für CH₄ eine exponentielle Funktionen nach Tiemeyer et al. 2020



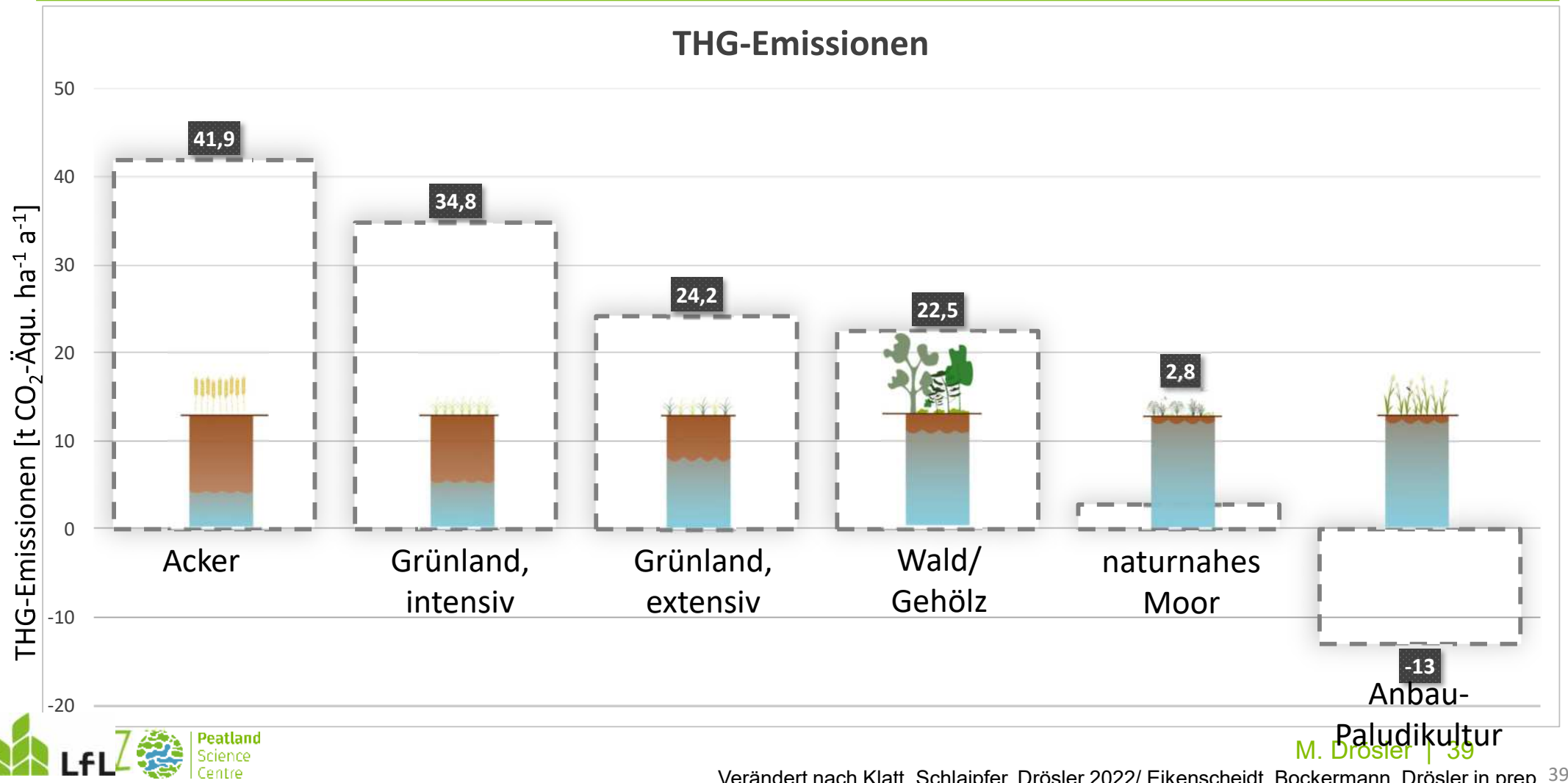
Klimarelevanz und Treibhausgase Mooremissionen

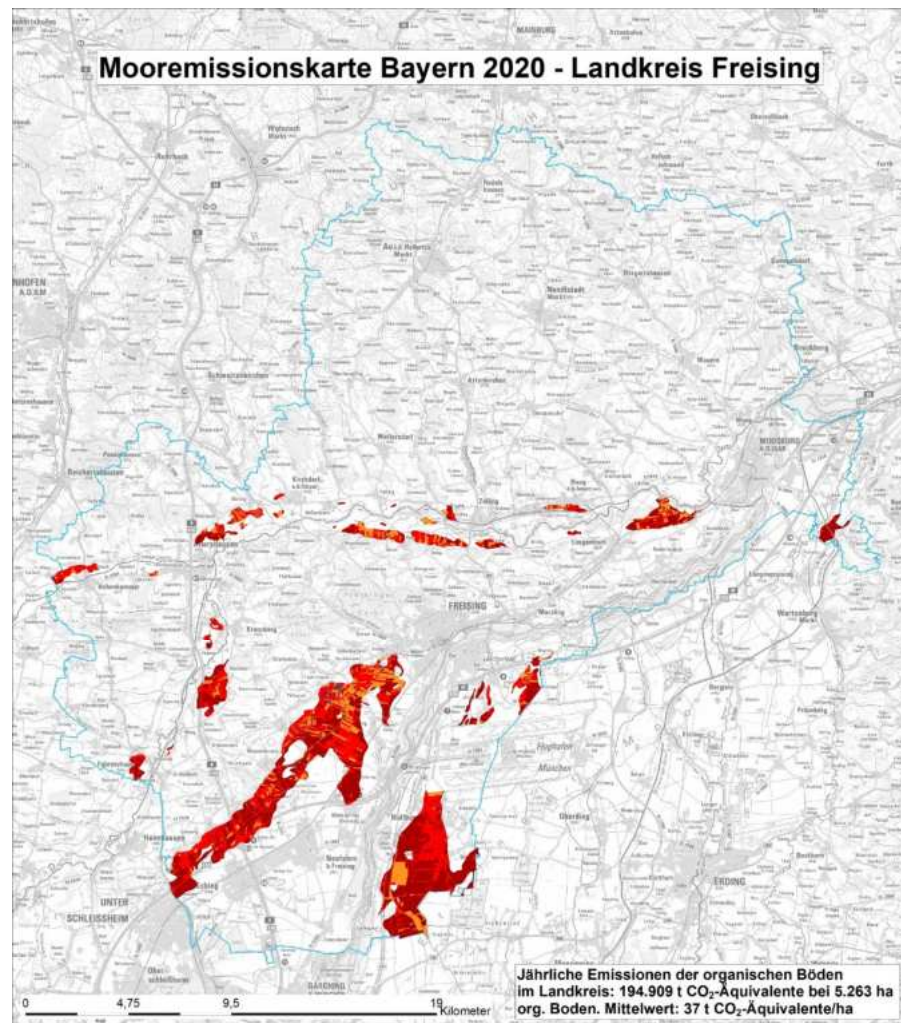


Landnutzung kombiniert mit der Wasserstandskarte bildet Modellierungsgrundlage für die neue Mooremissionskarte

Gesamtemission aus den bayerischen Mooren: 6,7 Mio. t CO₂-Äqu. a⁻¹ (5,7-7,3 Mio. t CO₂-Äqu. a⁻¹).

Mittlere Emissionen sind abhängig von Landnutzung und Wasserstand





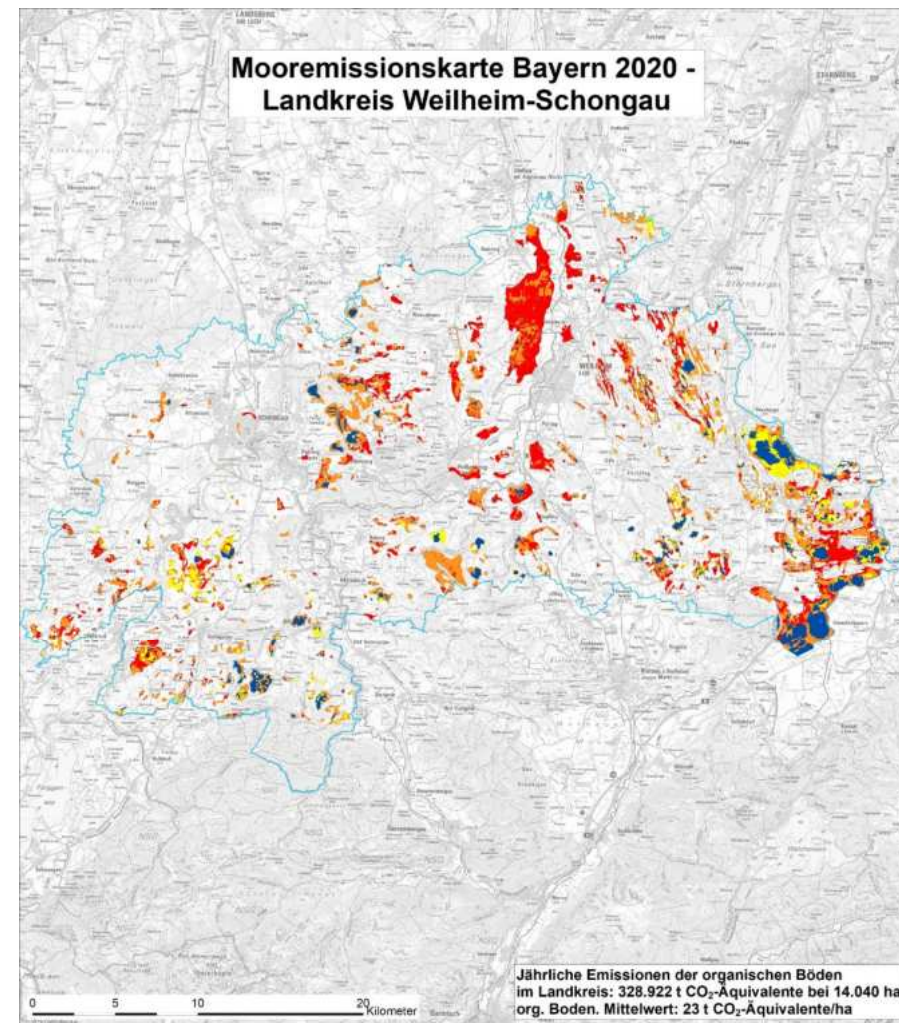
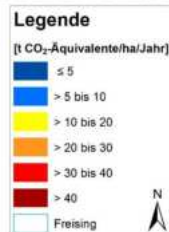
Klatt, J. et al. (2023). Abschlussbericht Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen in Mooren Bayerns (KlMoBay).
DOI 10.5281/zenodo.10202686

WEIHENSTEPHAN · TRIESDORF
University of Applied Sciences

**Peatland
Science
Centre**

Die Mooremissionskarte Bayern 2020 basiert auf:
- Moorbodenkarte (MBK25 - LfU) Stand: 2019
- Landnutzung/Vegetation aus ALKIS/InVeKoS
- Flurabstandskarte 2020 TUM/KlMoBay

Diese Daten dienen als Eingangsgrößen zur Berechnung der Emissionen mit einem statistischen Treibhausgasmodell. Ergänzende Informationen im Downloadbereich des PSC



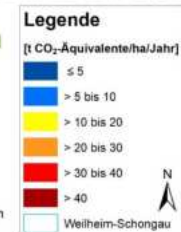
Klatt, J. et al. (2023). Abschlussbericht Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen in Mooren Bayerns (KlMoBay).
DOI 10.5281/zenodo.10202686

WEIHENSTEPHAN · TRIESDORF
University of Applied Sciences

**Peatland
Science
Centre**

Die Mooremissionskarte Bayern 2020 basiert auf:
- Moorbodenkarte (MBK25 - LfU) Stand: 2019
- Landnutzung/Vegetation aus ALKIS/InVeKoS
- Flurabstandskarte 2020 TUM/KlMoBay

Diese Daten dienen als Eingangsgrößen zur Berechnung der Emissionen mit einem statistischen Treibhausgasmodell. Ergänzende Informationen im Downloadbereich des PSC



MOORuse - Projekt

Modul 2



Umwelteffekte/
Klimarelevanz

Messung

Modellentwicklung

Parametrisierung

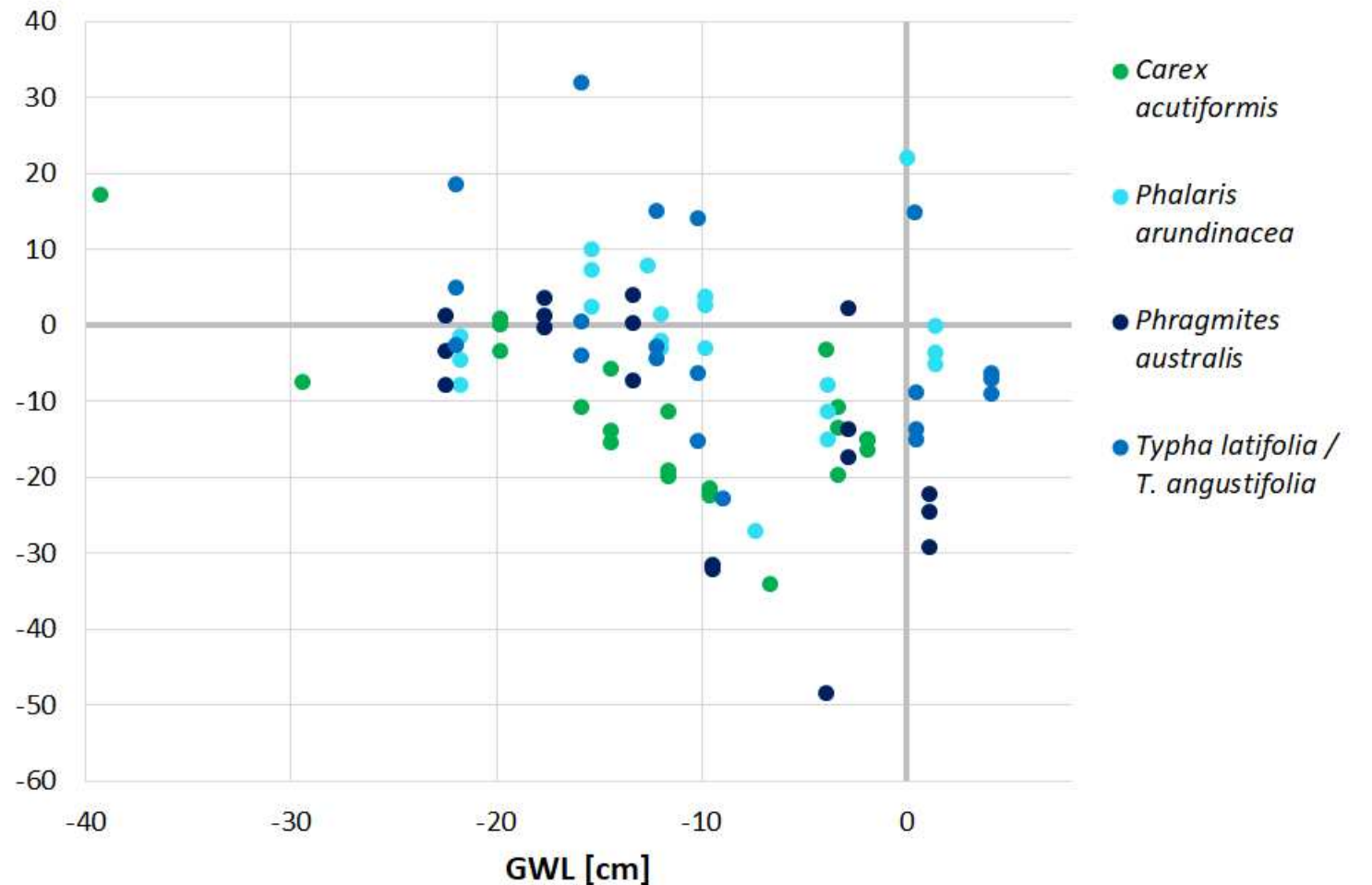
Validierung

Modellierung

Validierung

Modellierung

Validierung



MOORuse - Projekt

Modul 2



Umwelteffekte/
Klimarelevanz

Messung

Modellentwicklung

Parametrisierung

Validierung

Modellierung

Validierung

Modellierung

Validierung

Land use category	CO ₂ -C _{organic} (t C ha ⁻¹ yr ⁻¹)	CH ₄ organic (kg CH ₄ ha ⁻¹ yr ⁻¹)	N ₂ O-N _{organic} (kg N ha ⁻¹ yr ⁻¹)	GHG (t CO _{2eq} · ha ⁻¹ yr ⁻¹)
Forest land	7.0	6.0	1.7	26.6
Cropland	9.5	20.6	11.1	40.4
Grassland	8.0	21.7	4.2	31.7
Drained unutilized land	5.7	55.3	0.5	22.5
Peat extraction*	1.6	11.2	0.9	6.5
Settlement	8.6	23.4	4.6	34.2
Rewetted organic soils	-0.4	279	0.1	5.5

* without extracted peat, emissions from peat deposits only.

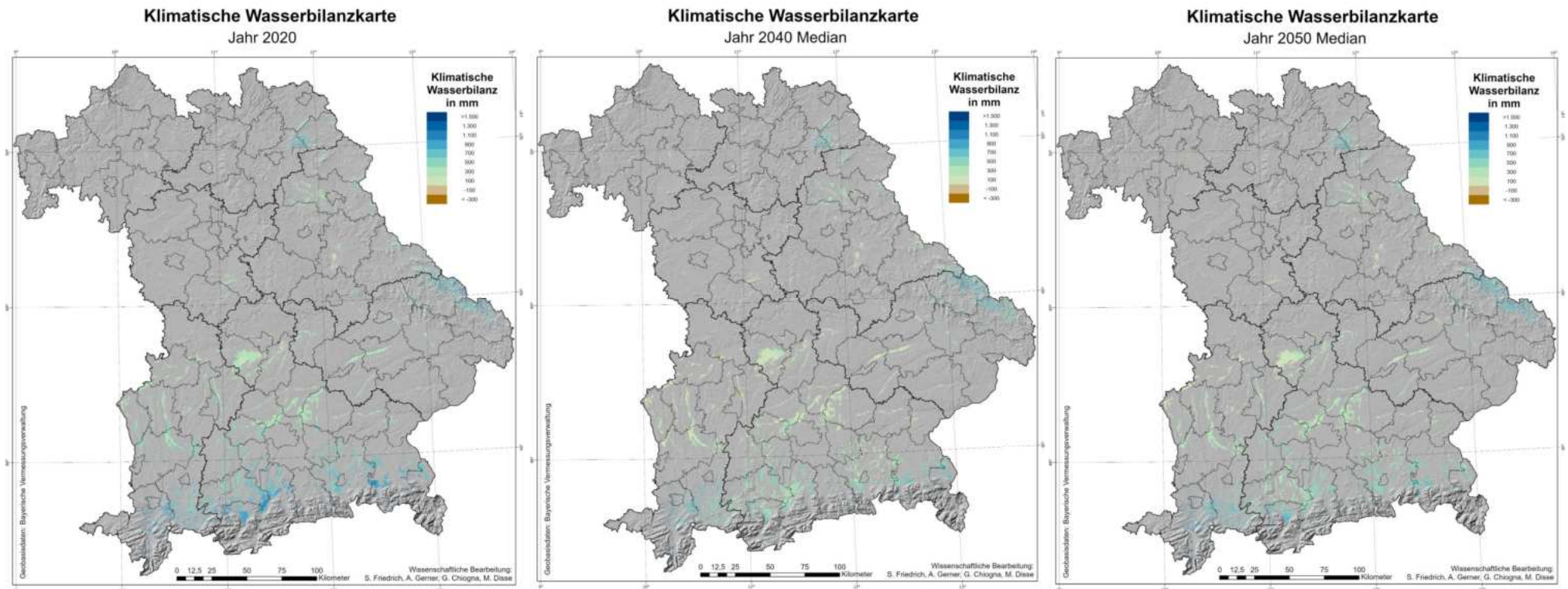
Paludikultur wiedervernässt (n=43, GWL 4 to -10.2 cm)	-31.7	270.5	0.1	-13.0 ± 13.9
Paludikultur teilwiedervernässt (n=38, GWL -11.7 to -22.5 cm)	-9.5	30.7	0.7	-1.0 ± 9.8

max.
Reduktion-
potential

>50
t CO₂-äq ha⁻¹ a

Regionale Klimaprojektionen

Klimatische Wasserbilanz



Insbesondere im Alpenvorland verringert sich der Wasserüberschuss, insgesamt ist aber auch in den kommenden Jahrzehnten eine positive Wasserbilanz in den bayerischen Mooren zu erwarten

Karten basieren auf Daten des DWDs und die Projektionen 2040 und 2050 auf den Daten der LMU (ClimEx-Projekt)

MOORadapt - Projekt

Field experiment

Agriculturally used grassland in a drained fen, Freisinger Moos, Bavaria 2017

intensive grassland: 2 harvests + organic fertilizer (2 applications, 160 kg N_{tot} ha⁻¹)

vs

sedge-dominated grassland: 1 harvest, no fertilizer

Rewetting as a potential climate mitigation strategy

- aimed at -10 cm (20 to 30 cm above reference GWL)

Simulated predicted **climate warming**

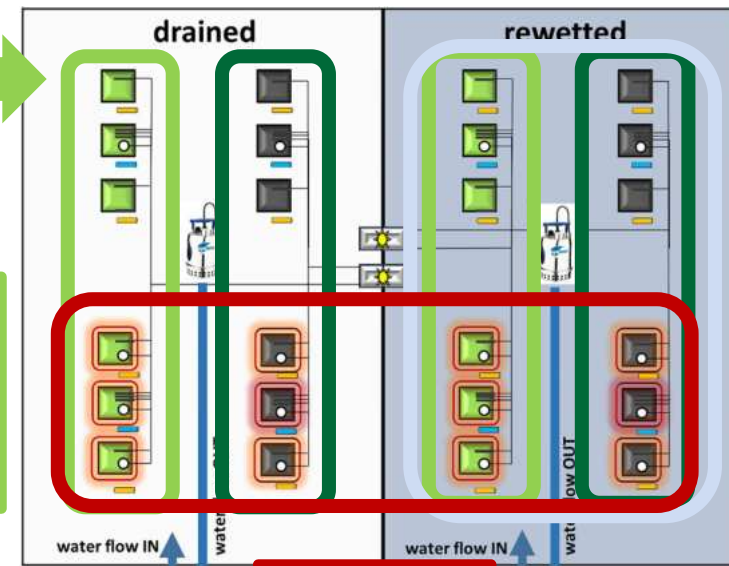
- aimed at +1 °C increase of annual mean air temperature
- use of open top chambers



Carex acutiformis grassland
land use shift

reference:
Intensive grassland

GWL -35.0 cm
Temp 9.1 °C



rewetting
GHG mitigation
via paludiculture



warming
climate change

MOORadapt – Projekt Results

CO₂ exchange

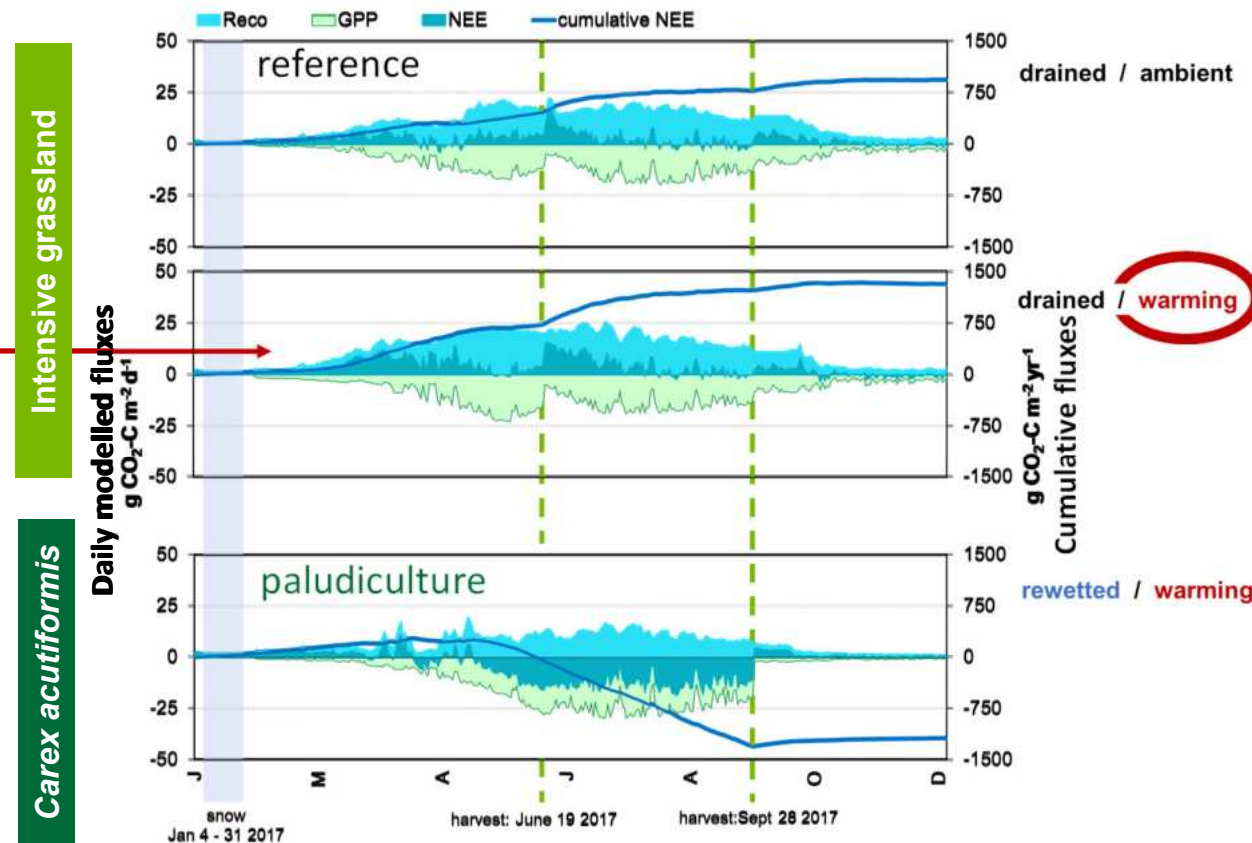
Modelled flux dynamics follow general **seasonal and management-related trends** responding to air and soil temperatures, photosynthetically active radiation, and harvest events

Reco fluxes

- **Warming** significantly enhances fluxes under current drained conditions
- fluxes were significantly higher in the **intensive grassland**
- **Water level increase** significantly reduces fluxes

GPP fluxes

- No significant effect of warming or water level (as in yield)
- **Rewetting** combined with **land use change** leads to significantly higher GPP fluxes



MOORadapt – Projekt Results

Overall annual budgets

Balances dominated by CO₂ fluxes

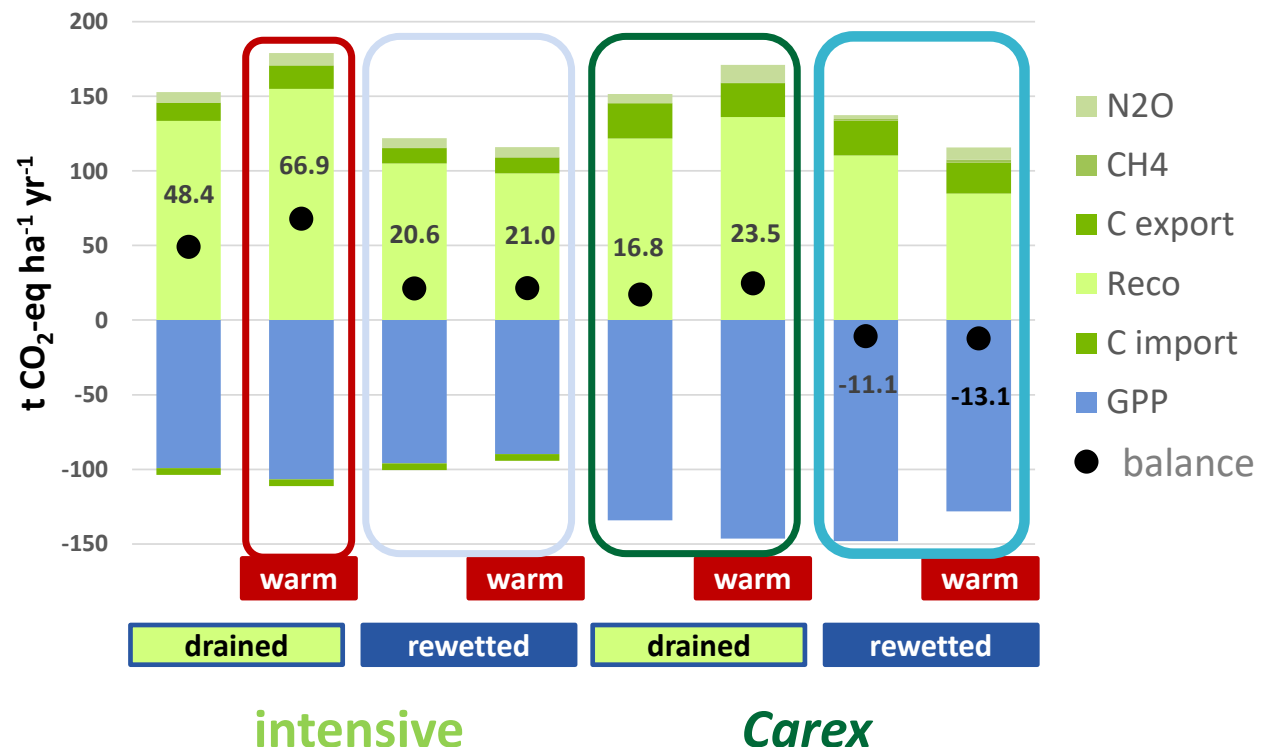
Warming increased total GHG emissions under drained conditions in the intensive grassland system by around 18 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹.

Rewetting reduced the emissions of the intensive grassland to around 21 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹.

Reduced land use with *Carex* reduced the emissions in similar magnitude.

Paludiculture (rewetting combined with reduced land use and *Carex*) resulted in **net cooling** with an uptake of 13.1 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ even under warming conditions.

GHG balances (GWP100, IPCC AR5) with the relative contribution of the included components



Szenarien Treibhausgasminderung – Exkurs Bayern

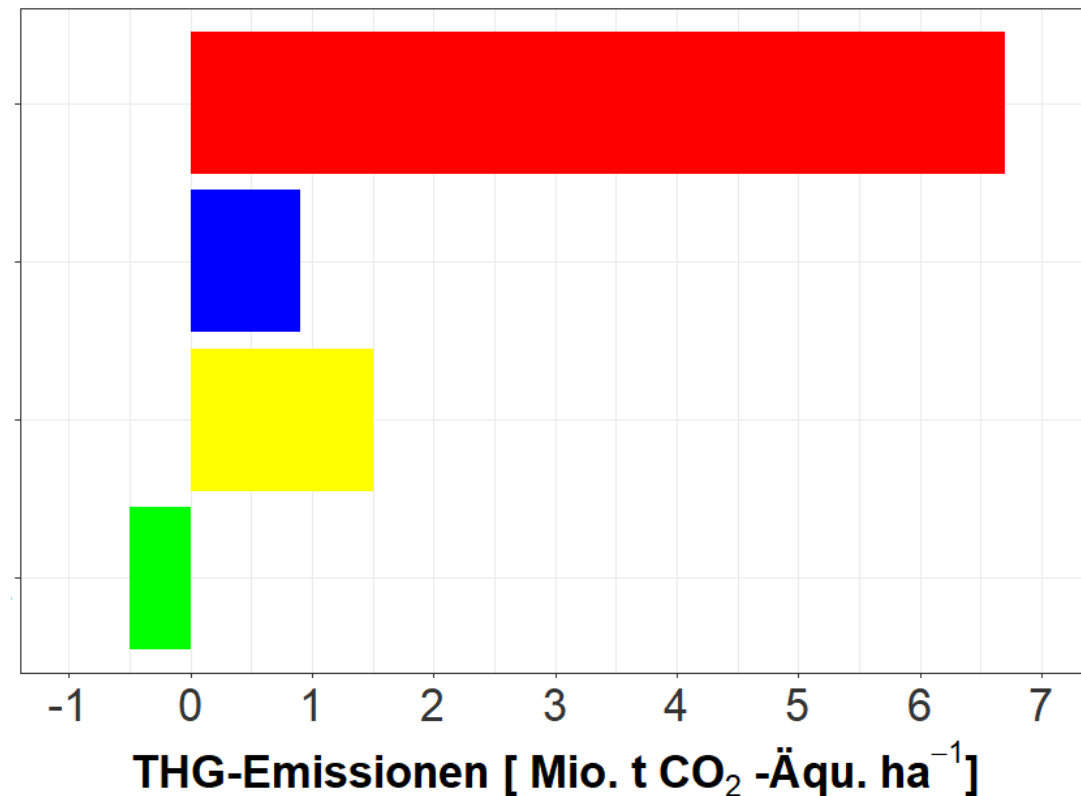
Handlungsszenarien Effekte

Baseline-Szenario: Mooremissionen Jahr 2020

Renaturierungsszenario: Renaturierung weitgehend aller Flächen

Durch Anpassung der Landnutzung optimiertes Potenzial

Durch Anpassung der Landnutzung optimiertes Potenzial plus Intensivgrünland zu Paludikultur





Riedhausen
Lkr. Ravensburg

Beispiele für Anbau-Paludikulturen



Rohrglanzgras



Schilf



Segge



Rohrkolben



Fotos: Ella Papp

	Rohrglanzgras	Schilf	Segge (Sauergras)	Rohrkolben
Etablierung	<i>Etablierung über Saatgut möglich</i>	<i>Etablierung über Saatgut möglich wenn danach Wasserstand auf Geländeoberfläche angehoben wird</i>	<i>An der effizientesten Art der Etablierung wird aktuell geforscht</i>	<i>Etablierung über Saatgut möglich wenn danach Wasserstand auf Geländeoberfläche angehoben wird</i>
Ernte	<i>Der Erntezeitpunkt richtet sich nach der angestrebten Verwertungsart der Biomasse Biogas: im Sommer Stoffliche Nutzung: Winter, erste Ernte nach 2 Jahren</i>	<i>jährlich einmal, für stoffliche Nutzung im Winter, erste Ernte nach 4-5 Jahren</i>	<i>jährlich einmal, zwischen Sommer und Winter (einschließlich), für stoffliche Nutzung im Winter, erste Ernte im 2ten Jahr</i>	<i>jährlich einmal, bevorzugt im Winter erste Ernte nach 2 Jahren</i>
Trockenmasse-erträge	$11,56 \pm 0,33 \text{ t ha}^{-1}$	$11,59 \pm 4,08 \text{ t ha}^{-1}$	$9,76 \pm 2,23 \text{ t ha}^{-1}$	$7,56 \pm 1,14 \text{ t ha}^{-1}$

Rohrglanzgras – Donbaumoos - Langenmosen



Anbau-Paludikulturen: Zahlreiche Verwertungsmöglichkeiten



Stofflich:

- Baustoffe (Dämmmaterial, Platten etc.)
- Biokunststoffe
- Verpackungsmaterial
- Papierersatz
- Pflanzenkohle etc.
- Möglichkeit der Auffaserung - große Nachfrage nach Verpackungsmaterial

➡ Binden des Kohlenstoffs über einen langen Zeitraum

Energetisch:

- Biogas
- Thermisch
 - Verwendung als Cosubstrat in Anlagen > 100kW

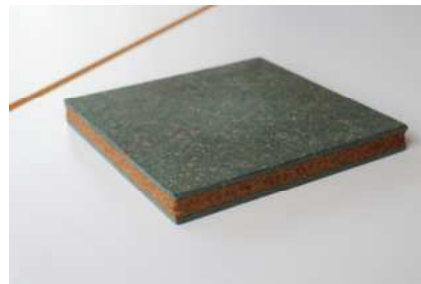


In den nächsten Jahren ist eine hohe Marktdynamik zu erwarten.

Paludikulturen: Stoffliche Verwertungsmöglichkeiten



Verpackungs-
industrie (z.B.
Obstschalen)



Möbelbau,
hochwertige
Oberflächen



Papier



Bauplatten, z.B.
Trockenbauplatte für
Innenausbau



Einweggeschirr



Zaunpfosten



Dämmmaterial
(Schaumplatten)



Mehrwegbehälter
z.B. im
Lebensmittelbereich

Fotos: Ella Papp

Angepasste Landtechnik für unterschiedliche Wasserpegel



Fotos: Annika
Woortman

Traktor mit Zwillings-/ Breitbereifung und Scheiben-/ Trommelmähwerk

- Doppelbereifung/
Breitbereifung
(**straßentauglich**)
- Herkömmliche,
robuste Mähwerke
- Relativ **hohes Gewicht**
- **Nicht** geeignet zum
Einsatz bei
Paludikulturen
- Kaum Rüst- und
Wartungszeiten der
Mähwerke

Traktor mit Gitterrädern und Doppelmesser

- Kleine, leichte
Traktoren zur
Gewichtsreduzierung
- Gitterräder erhöhen die
Tragfähigkeit (**nicht
straßentauglich**)
- Viel Rüst- und
Wartungszeiten
- Doppelmesser zum
besonders
schonenden Mähen,
hoher
Wartungsaufwand

Mähtrac mit Doppelmesser

- Häufiger Einsatz durch
Förderungen
- Sehr leicht
- Bereifung bereitet
**teilweise Probleme
auf sehr nassen
Flächen**
- Doppelmesser zum
besonders
schonenden Mähen,
hoher
Wartungsaufwand

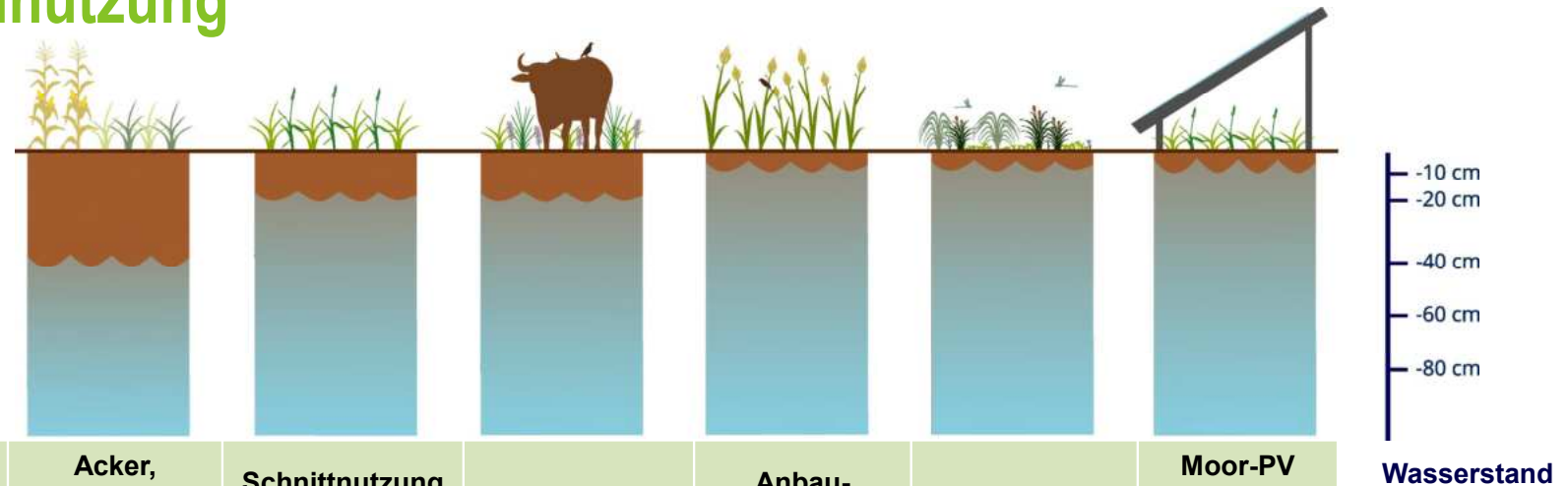
Pistenraupe

- Pistenraupe mit
Doppelmessermäh-
werk im Frontanbau
und integriertem
Ladewagen mit Pickup
(**nicht
straßentauglich**)
- **Geringer Bodendruck**
- Kaum Rüst- und
Wartungszeiten
- Beim **Wenden**
teilweise **Zerstörung
von Narbe, Boden
und Aufwuchs**

Einachsmäher mit Doppelmesser

- Einsatz vor allem bei
**sehr nassen und
unübersichtlichen
Stellen**
- **Manuelle Steuerung**
auf Moorflächen
notwendig
- Doppelmesser zum
besonders
schonenden Mähen
- Zusätzlicher **Anhänger**
für den **Transport**
notwendig

Bewertung der Umnutzung



	Acker, Grünland entwässert	Schnittnutzung für Futter	Weidenutzung	Anbau-Paludikultur	Renaturierung	Moor-PV nach EEG Standard
Produktivität	++	+	+	++	0	0
Wertschöpfung (Deckungsbeitrag)	++	+	+	0 (jetzt)/ ++? (bald)	0	++
Agrar-Umweltförderung	- (+)	+	+	++	--	--
Bodenerhalt	--	+	+	++	++	+
Wasserrückhalt	--	++	++	++	++	++
Klima	--	+	+?	++	++	++
Biodiversität	- / 0	+	++	+	++	?

Moorbauernprogramm Bayern:

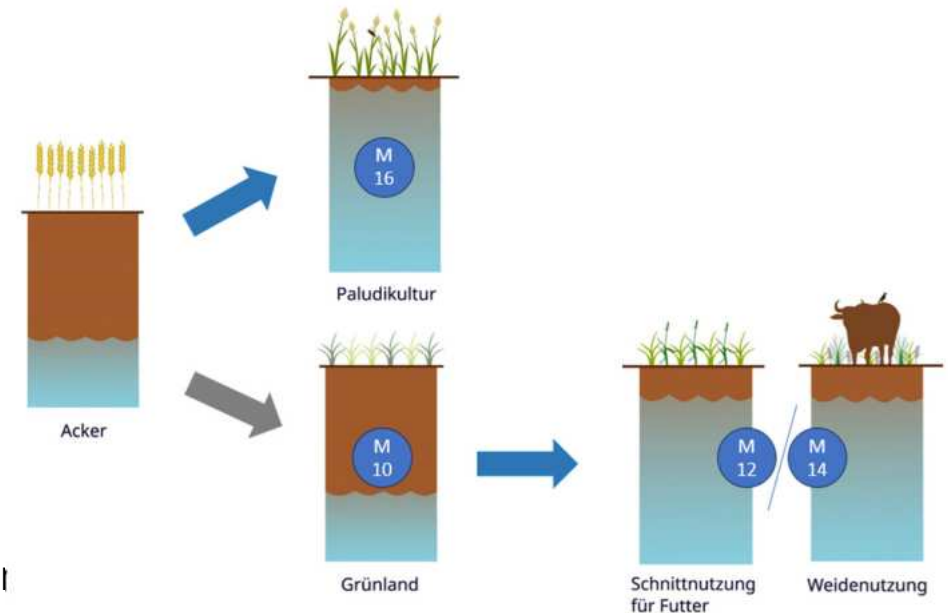
Hohe Förderungen für bayerische Pioniere:

2023: Umwandlung von Acker in Dauergrünland (**M10**)

2024: KULAP

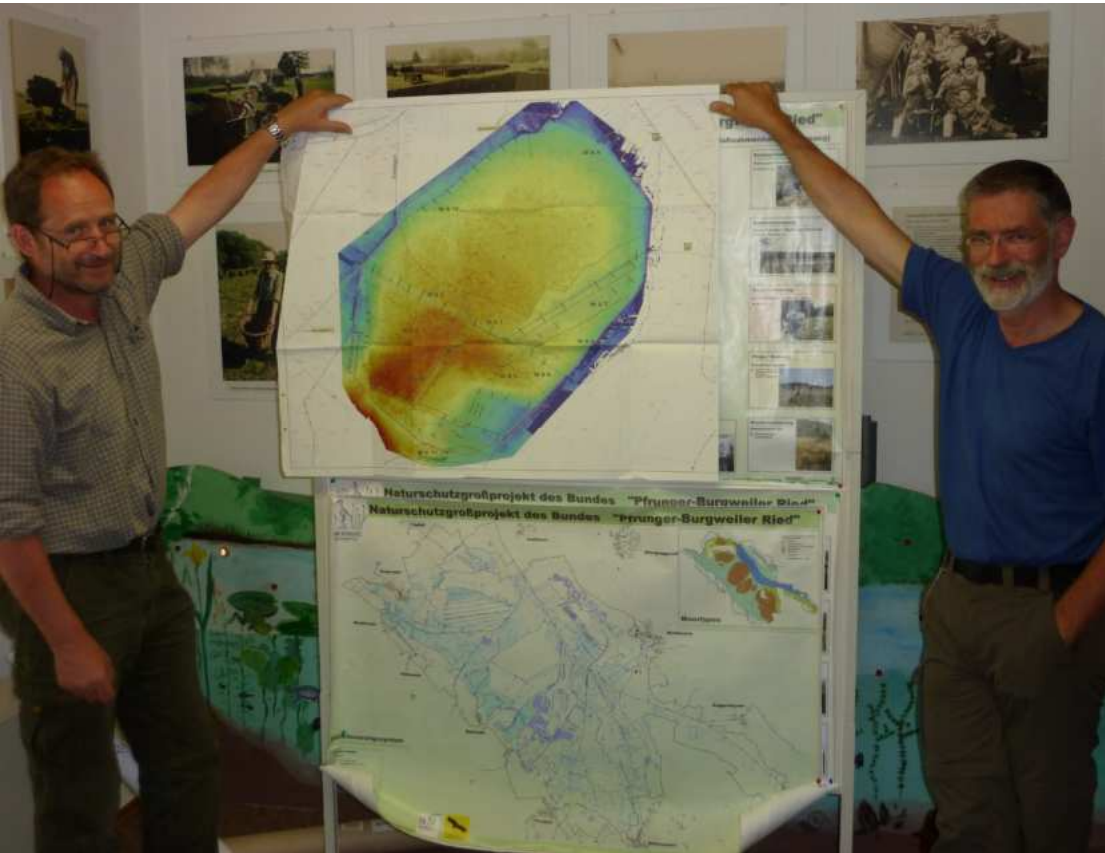
- Bewirtschaftung von nassem Grünland (Nachweis über
- Bewirtschaftung von wiedervernässtem Grünland bzw. Nassgrünland mit Stauziel (-20 cm unter Flur, Förderzeitraum 12 Jahre) (**M14**)
- Anbau von Paludikulturen mit Stauziel (-10 cm unter Flur, Förderzeitraum 12 Jahre) (**M16**)

Investivförderung für Wasserregelung bis 100% (Ländliche Entwicklung)





...2009





Klimaschutzleistung

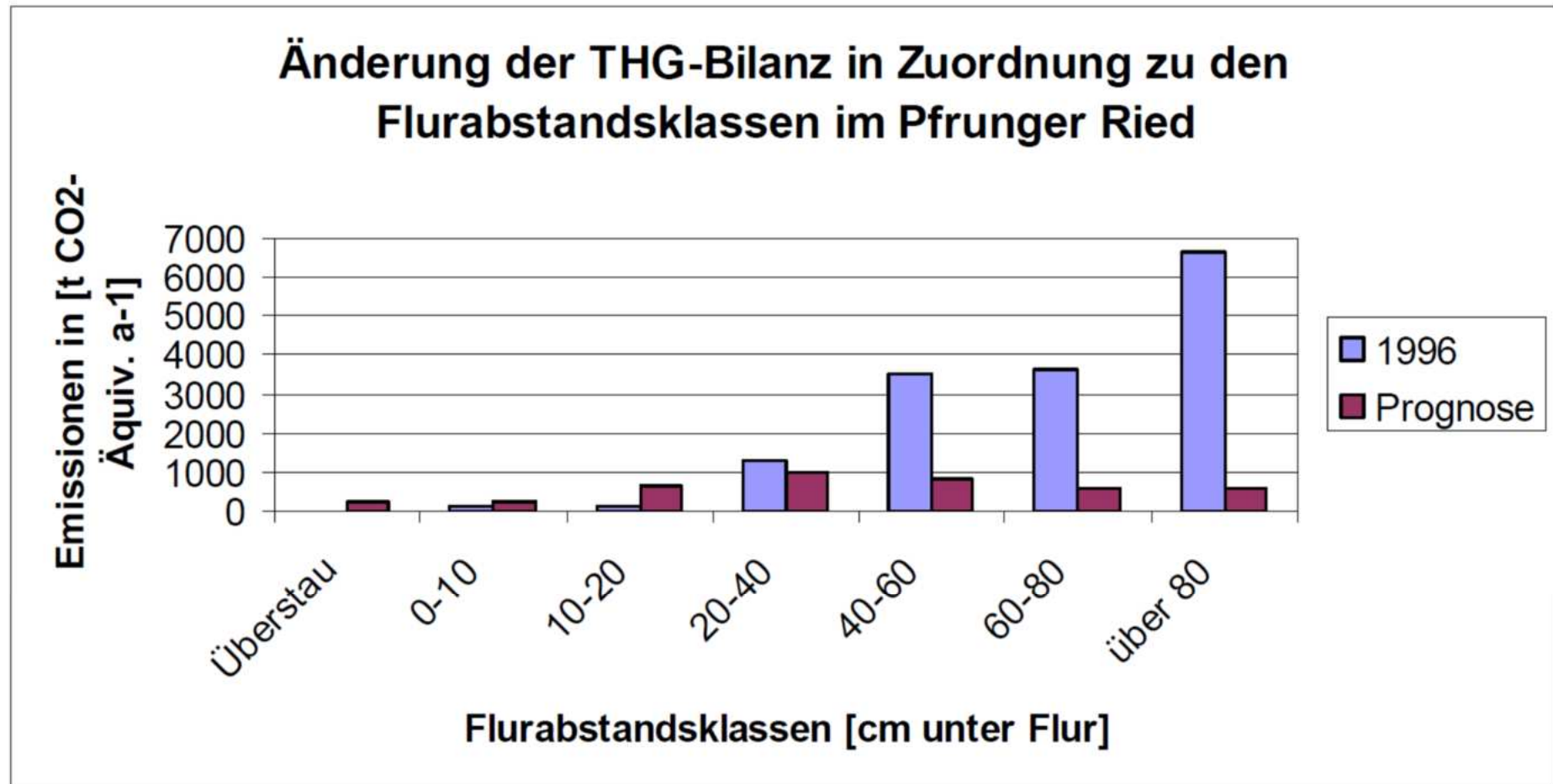


Abb. 46: THG-Bilanz im Pfrunger-Burgweiler Ried

Drösler et al. 2012

Klimaschutzleistung der vier Gebiete im Vergleich

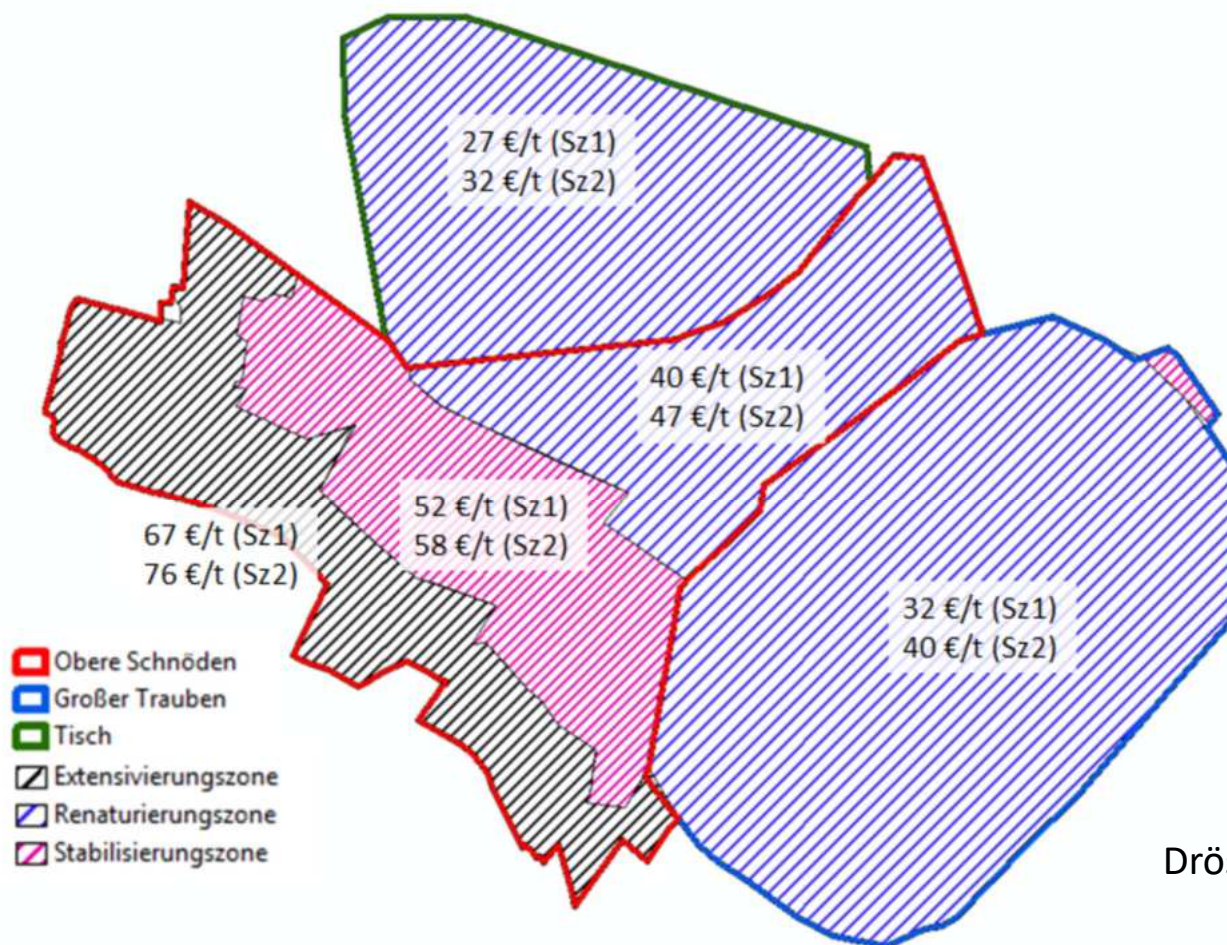
Gebiet	Gesamt- gebiets- größe [ha]	CO ₂ -Vermeidung [t CO ₂ -Äuqiv. a ⁻¹]	CO ₂ -Vermeidung pro Hektar [t CO ₂ -Äuqiv. ha ⁻¹ a ⁻¹]	Berechnungsme- thode
Wurzacher Ried	1.625 ^A 1.221 ^B	11.397 26.184 ^C	7 9.3 21.5	Modellierung (nach Drösler et al. 2011; s. Kap. 3.2)
Ochsen- moor	923	11.020 ^D 14.293 ^E 24.321 ^C	12 15.5 26.3	Modellierung (nach Drösler et al. 2011; s. Kap. 3.2)
Peenetal	14.925	57.271 ^F 79.516 ^G	3.8 5.3	Chronosequenz über Vegeta- tions- /Nutzungstyp (s. Kap.3.1)
Pfrunger- Burgweiler Ried	549	7.415	13.5	Modellierung (nach Drösler et al. 2011; s. Kap. 3.2)

Tab. 11: Vergleich der Einsparungsleistungen der verschiedenen betrachteten Gebiete.

A: Gesamtgebietsfläche; B Flächen-Einfluss der Maßnahmen; C Vision bei gesamtflächenhaft optimiertem Wasserstand (Klasse 0-10 cm) und Nutzungsaufgabe; D Modellierung mit Vorher-Wasserstand aus 1991; E Modellierung mit Vorher Wasserstand aus dem Mittelwert der Nutzungstypen der BMBF-Datenbank; F Konservativer Ansatz mit Überstau-EF aus dem Polder Zarnekov (Peenetal). G mit Überstau-Mittelwert aus der BMBF-Datenbank

Drösler et al. 2012

CO₂-Vermeidungskosten Pfrunger Burgweiler Ried



Drösler et al. 2012

Hübscher







