



Schlussbericht

Ökonomische und hydrologische Analyse zum Wiedervernässungs- und Treibhausgas- minderungspotenzial von landwirtschaftlich genutzten Mooren in Baden-Württemberg (LandMoRe BW)

Laufzeit: 19.12.2024-31.12.2025



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

**Fachgebiet Landwirtschaftliche
Betriebslehre (UHOH)**

Dr. Christian Sponagel

Dr. Eckart Petig

Dr. Elisabeth Angenendt

M. Sc. Tristan Herrmann

Prof. Dr. Enno Bahrs

universität freiburg

Professur für Hydrologie (UFR)

Prof. Dr. Markus Weiler

Dipl. Hydrologe Andreas Steinbrich

Dipl. Hydrologe Hannes Leistert

Gefördert
durch



Baden-Württemberg
Ministerium für Ernährung,
Ländlichen Raum und Verbraucherschutz

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	VI
1 Einleitung.....	1
2 Methodik und Arbeitsprogramm	3
2.1 Fragestellung und Überblick über den verwendeten Modellverbund	3
2.2 Arbeitsprogramm	5
2.3 Datengrundlage für die hydrologische Analyse	15
3 Ergebnisse	17
3.1 Beschreibung der Untersuchungsregion.....	18
3.2 Ökonomische Analyse	22
3.2.1 Erfassung der landwirtschaftlichen Nutzung auf entwässerten Moorstandorten in der Untersuchungsregion	22
3.2.2 Berechnung des Referenzszenarios.....	26
3.3 Hydrologische Analyse	27
3.4 Wiedervernässungs- und Treibhausgasminderungspotenzial für die ausgewählte Untersuchungsregion	34
3.4.1 Beschreibung des Moorschutzszenarios	34
3.4.2 Darstellung der PALUD Ergebnisse	36
3.4.3 Diskussion der PALUD Ergebnisse	44
3.4.4 Darstellung der EFEM Ergebnisse	46
3.4.5 Diskussion der EFEM Ergebnisse	51
4 Einordnung der Ergebnisse in Bezug auf die Forschungsfragen	52
5 Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen.....	55
5.1 Aus hydrologischer Sicht	55
5.2 Aus ökonomischer Sicht	56
6 Zusammenfassung.....	58
Literatur	60
Anhang	64

Abkürzungsverzeichnis

ASG Rhein	Anteil Schneeschmelz- und Gletscherschmelz-Wasser am Rheinabfluss
ATKIS	Amtliches Topographisches Informationssystem
AWGN	Amtliches Wasserwirtschaftliches Gewässernetz Baden-Württemberg
BK50	Bodenkundliche Einheiten 1:50.000 Baden Württemberg
BK50rog	Aus den Bodenkundliche Einheiten 1:50.000 abgeleiteter Datensatz mit bodenhydraulischen Parametern für das Modell RoGeR.
CH ₄	Methan
CO ₂ eq	CO ₂ -Äquivalente
DüV	Düngeverordnung
EFEM	Economic Farm Emission Model
GA-Daten	Daten des Gemeinsamen Antrags
GV	Großvieheinheiten
IKRS	Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes
LEL	Landesanstalt für Landwirtschaft, Ernährung und Ländlichen Raum
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
LGL-BW	Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg
LGRB	Landesamt für Geologie Rohstoffe und Bergbau Baden Württemberg
PALUD	Parcel based agronomic land use decision model
RoGeR	Runoff Generation Research Model
THGE	Treibhausgasemissionen

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modellverknüpfung und Datenaustausch zur Untersuchung des Wiedervernässungspotenzials landwirtschaftlich genutzter organischer Böden in Baden-Württemberg	4
Abbildung 2: Lage der für die Analysen ausgewählten Moorflächen	15
Abbildung 3: Moorstandorte in Baden-Württemberg anhand der WFS Historischen Moorbodenkarte (LUBW, 2025)	17
Abbildung 4: Landwirtschaftlich genutzte Moorflächen in der Untersuchungsregion Oberschwaben	18
Abbildung 5: Lorenzkurve der Verteilung der Moorflächen auf die Betriebe, welche im Untersuchungsraum überhaupt Flächen auf Moorböden bewirtschaften nach eigener Auswertung der GA-Daten 2024 und der BK50-Moor (LGRB, 2023)	20
Abbildung 6: Anteil der LF auf Moorböden nach Größenkategorie der landwirtschaftlichen Betriebe nach eigener Auswertung der GA-Daten 2024 und der BK50-Moor (LGRB, 2023)	20
Abbildung 7: Übersicht über die Summe der LF auf Moorstandorten nach Betriebsgrößenklassen nach eigener Auswertung der GA-Daten 2024 und der BK50-Moor (LGRB, 2023)	21
Abbildung 8: Landwirtschaftliche Nutzung der Moorflächen nach Landkreis und Betriebsgrößenkategorie (Quelle: GA-Daten von 2024, BK50-Moor (LGRB, 2023)	23
Abbildung 9: Landwirtschaftliche Nutzung nach Landkreis und Betriebsgrößenkategorie (Quelle: GA-Daten 2024)	23
Abbildung 10: Mittlere langjährige Jahresabflusssumme aus den Moorflächen	28
Abbildung 11: Langjähriger mittlerer Gesamtabfluss der hydrologischen Einzugsgebiete, in denen die Moorflächen liegen.	29
Abbildung 12: 11-Jahres-Mittelwerte des Grundwasserflurabstandes für jeden Tag im Jahr für einen Musterstandort und unterschiedliche Fließdistanzen zum nächsten Vorfluter (blau) bzw. zur nächsten Drainage (rot und grün)	30
Abbildung 13: Flächenanteile der Moorflächen an der Gesamtfläche der untersuchten Moorflächen für Klassen der modellierten mittleren Grundwasserflurabstände für die das Moorschutz- und das Referenzszenario. Die Grundwasserflurabstände beziehen sich auf die Oberfläche der Torflagen ...	31
Abbildung 14: Räumliche Verteilung der mittleren jährlichen Grundwasserflurabstände bezogen auf die Oberkante der Torf-Lage für das Moorschutzszenario	32
Abbildung 15: Änderung des Gesamtabflusses im Bodenseeeinzugsgebiet in Oberschwaben der zukünftigen Periode 2017-2100 im Vergleich zur Periode 1981-2010 für sieben Kombinationen von globalen und regionalen Klimamodellen	33
Abbildung 16: Mittlere Jahres-Gesamtabflüsse aus allen modellierten Moorflächen	33
Abbildung 17: Übersicht über die wiedervernässte Moorfläche in ha im Moorschutzszenario nach Landkreis und in Abhängigkeit der THGE-Vermeidungskosten	36

Abbildung 18: Darstellung der THGE-Reduktion durch Moorwiedervernässung in Abhängigkeit der THGE-Vermeidungskosten in der gesamten Untersuchungsregion sowie in den einzelnen Landkreisen	37
Abbildung 19: Darstellung der durchschnittlichen Größe der zusammenhängenden wiedervernässten Moorflächen in Abhängigkeit der THGE-Vermeidungskosten bzw. der im Modell inkludierten Prämie je t reduzierter CO ₂ eq nach Landkreis	38
Abbildung 20: Darstellung der THGE aus dem Pflanzenbau und der Tierhaltung in Bezug auf die jeweils verbliebene Restfläche nach Moorwiedervernässung in t CO ₂ eq je ha nach Landkreis.....	42
Abbildung 21: Boxplots der Veränderung der Gesamtdeckungsbeiträge der einzelnen Betriebe durch Moorwiedervernässung bei zunehmenden THGE-Vermeidungskosten bzw. zunehmender wiedervernässter Moorfläche nach Größenklassen und Landkreisen unter Angabe der jeweiligen Anzahl (n)	43
Abbildung 22: Änderung der LF und des Anbaus auf der Ackerfläche der Beispielbetriebe in Biberach	46
Abbildung 23: Änderung der LF und des Anbaus auf der Ackerfläche der Beispielbetriebe im Bodenseekreis	47
Abbildung 24: Änderung der LF und des Anbaus auf der Ackerfläche der Beispielbetriebe in Ravensbur.....	47
Abbildung 25: Änderung der LF und des Anbaus auf der Ackerfläche der Beispielbetriebe in Sigmaringen	48

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Treibhausgasemissionsfaktoren für verschiedenen Nutzungsarten und -intensitäten auf Moorstandorten.....	2
Tabelle 2:	Überblick über den Arbeitsplan während der Projektlaufzeit.....	6
Tabelle 3:	Vergleich der mittleren Kreiserträge der Jahre 2020 bis 2024 mit dem flächengewichteten mittleren Ertrag gemäß der Anbauverteilung im Jahr 2024 nach den GA-Daten und den angenommenen drei Ertragsstufen	7
Tabelle 4:	Übersicht über den Datensatz zu den Biogas- und Biomethananlagen in der Untersuchungsregion mit unterstelltem Substratmix und Einspeisevergütungen	9
Tabelle 5:	Beispielbetriebe für die ökonomische Analyse der Auswirkungen des Moorschutzszenarios mit EFEM.....	10
Tabelle 6:	Emissionsfaktoren der unterschiedlichen Landnutzungen auf organischen Böden	13
Tabelle 7:	Landwirtschaftliche Flächennutzung in der Untersuchungsregion	19
Tabelle 8:	Anteil der landwirtschaftlich genutzten Moorböden nach Flächennutzungskategorien	19
Tabelle 9:	Struktur der Tierhaltung in der Untersuchungsregion	21
Tabelle 10:	Ackerbauliche Nutzung der Moorfläche gemäß BK50-Moor (LGRB, 2023) und den GA-Daten 2024	22
Tabelle 11:	Schnittthäufigkeiten des Grünlands auf mineralischen und organischen Böden	24
Tabelle 12:	Flächenanteile des Grünlands für die im Gemeinsamen Antrag 2024 Maßnahmen im Rahmen der Öko-Regelung oder FAKT II beantragt wurden	25
Tabelle 13:	Übersicht der Landnutzung in den GA-Daten und den beiden ökonomischen Modellen.....	26
Tabelle 14:	Rinderbestand in der Untersuchungsregion in GV aus gemäß der HIT-Datenbank zum 03.11.2024 (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2025a) und Werte die in den beiden Ökonomischen Modellen abgebildet werden.	27
Tabelle 15:	Potenziell wiedervernässbare Acker- und Grünlandfläche sowie des maximale Treibhausgasemissionsminderungspotenzial	34
Tabelle 16:	Übersicht über die Größe der zusammenhängenden Moorflächen in den Landkreisen.....	35
Tabelle 17:	Darstellung der Flächenumfänge der landwirtschaftlichen Nutzung nach Kultur bzw. Umfang der wiedervernässten Moorfläche in der Referenz (REF) sowie bei THGE-Vermeidungskosten von 70 € und 200 € je t CO ₂ eq	39
Tabelle 18:	Übersicht über die Anzahl der Rinder bzw. Milchkühe in der Referenz sowie deren Veränderung im Moorschutzszenario bei THGE-Vermeidungskosten von 70 € bzw. 200 € je t CO ₂ eq	40

Tabelle 19:	Übersicht über die Stromerzeugung bzw. die Umsatzerlöse der Biogas- und Biomethananlagen in der Referenz sowie deren Veränderung im Moorschutzszenario bei THGE-Vermeidungskosten von 70 € bzw. 200 € je t CO ₂ eq	41
Tabelle 20:	Übersicht über die Anzahl der Betriebe mit einem Gesamtdeckungsbeitragsverlust bei mittlerer Moorwiedervernässung (50,2%der Fläche bei 70 € je t CO ₂ eq) nach Betriebsgröße und Landkreis ...	43
Tabelle 21:	Übersicht über die Anzahl der Betriebe mit einem Gesamtdeckungsbeitragsverlust bei maximaler Moorwiedervernässung (98 %der Fläche bei 200 € je t CO ₂ eq) nach Betriebsgröße und Landkreis	44
Tabelle 22:	Auswirkungen des Moorschutzszenarios auf die Tierhaltung (Milchkühe und Färsen) in den Beispielbetrieben in den jeweiligen Landkreisen.	49
Tabelle 23:	Modellierte Änderung des Gesamtdeckungsbeitrag der Beispielbetriebe (EFEM).....	50
Tabelle 24:	Reduktionsminderung durch die Wiedervernässung der betrieblichen Moorstandorte und damit verbundene Vermeidungskosten	51
Tabelle 25:	Übersicht über die in verschiedenen Studien ausgewiesenen THGE-Vermeidungskosten für die Wiedervernässung landwirtschaftlich genutzter Moorstandorte	55
Tabelle 26:	Übersicht über die THGE-Vermeidungskosten bei exemplarischen Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft	55

1 Einleitung

Treibhausgasemissionen (THGE) aus organischen Böden, insbesondere aus landwirtschaftlich genutzten Standorten, betreffen insbesondere CO₂-Emissionen aus dem Abbau organischer Substanz, aber in geringerem Maß auch N₂O- und CH₄-Emissionen.

Ob Torf in einem Moorkörper erhalten bleibt, der Abbau zumindest begrenzt abläuft oder eine starke Zehrung der organischen Substanz vorhanden ist, dafür ist der mittlere Grundwasserstand unter Flur im Sommer der entscheidende Einflussfaktor. Schlüsselmaßnahme für Klimaschutz ist daher die Anhebung des Wasserstandes auf entwässerten Standorten (Angenendt et al., 2021):

- **Aus Klimaschutzsicht optimal** ist die Wiedervernässung bis hin zu moorerhaltendem Wasserstandsmanagement mit nachfolgender Renaturierung oder Paludikultur. Die höchsten Effekte erreicht man mit einer Vollvernässung mit einem Wasserstand, der sich dauerhaft zwischen 0 und 10 cm unterhalb der Oberfläche befindet (Greifswald Moor Centrum, 2019, WBAE and WBW, 2016).
- **Moorzehrungsmindernde Bewirtschaftungsverfahren** sind die Anhebung des Grundwasserstandes mit Umwandlung von Acker- in Grünland und angepasste Bodenbearbeitung. Bereits ab Wasserständen von höchstens 20 cm unter Flur ist im Vergleich zu einer traditionellen landwirtschaftlichen Nutzung bereits eine deutliche Klimaschutzwirkung möglich (DLV, 2019).

Eine reine Nutzungsextensivierung ohne Anhebung des Wasserstandes stellt keine effektive Klimaschutzmaßnahme dar (Osterburg et al., 2019; Tiemeyer et al., 2016). Ein Verzicht auf Grünlandumbruch oder Vermeidung der Entwässerung verhindert jedoch zumindest eine weitere Erhöhung der THGE und eine Nutzungsextensivierung erlaubt ggf. höhere Wasserstände.

In Deutschland werden ca. 940.000 ha organische Böden landwirtschaftlich als Acker- oder Grünland genutzt. Obwohl im Vergleich zu Niedersachsen (31 %), Mecklenburg-Vorpommern (20 %) oder Brandenburg (17 %) nur 2,2 % dieser landwirtschaftlich genutzten Moore in Baden-Württemberg liegen, tragen sie erheblich zu den THGE bei. So emittierten sie im Jahr 2023 etwa 1,1 Mt CO₂-Äquivalente (CO₂eq). Dies entspricht der Größenordnung von ca. 25 % der THGE des Sektors Landwirtschaft in Baden-Württemberg (Fuß et al., 2025; Vos et al., 2025).

Dabei ist zu berücksichtigen, dass lediglich die N₂O-Emissionen im Rahmen der nationalen Berichterstattung dem Sektor Landwirtschaft zugeordnet werden. Die CO₂- und CH₄-Emissionen werden dem Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft angerechnet. Betrachtet man jedoch die N₂O-Emissionen auf organischen Ackerböden, so liegen sie

beim Winterweizenanbau in Baden-Württemberg bei mittlerer Düngungsintensität etwa dreimal so hoch wie auf mineralischen Böden¹.

Es liegen bereits umfangreiche Forschungsergebnisse zu den Treibhausgasemissionen aus landwirtschaftlich genutzten Mooren vor (vgl. Tabelle 1). Diese Ergebnisse zeigen, dass sowohl die Ackernutzung (ca. 35 bis 40 t CO₂eq/ha) als auch die intensive Grünlandnutzung (GL) auf tief drainierten organischen Böden (ca. 31,7 bis 41 t CO₂eq/ha) mit den höchsten THGE verbunden sind und welches Vermeidungspotenzial durch eine Wiedervernässung erreicht werden kann.

Tabelle 1: Treibhausgasemissionsfaktoren für verschiedenen Nutzungsarten und -intensitäten auf Moorstandorten

Quelle	Emissionen in t CO ₂ eq/ha/a ⁻¹ bei					
	Acker	Grünland intensiv genutzt, drainiert	Grünland intensiv genutzt, feucht	Grünland extensiv genutzt, drainiert	Grünland extensiv genutzt, feucht	Wiedervernässung
Tiemeyer et al., (2016)	-	36,1	28,8	18,2	-	-
Tiemeyer et al., (2020)	40,4	31,7	-	-	-	5,5
Streck et al., (2017)	28,0	41,0	-	25,0	-	6,0
Krimly et al., (2014)	38,3	34,3	-	18,7	7,0	1,0
Osterburg et al., (2019)	34,9	33,5	21,7	-	-	7,4
Mittelwert	35,4	35,3	25,3	20,6	7,0	5,0

Quelle: Angenendt et al. (2021)

Aus theoretischer Sicht ist die Wiedervernässung von Mooren daher mit einem hohen THGE-Minderungspotenzial und vergleichsweise geringen THGE-Vermeidungskosten verbunden. Das praktische Wiedervernässungspotenzial steht jedoch vor zahlreichen Herausforderungen. So ist zwar der Gesamtanteil an landwirtschaftlich genutzten organischen Böden auf Landesebene gering, doch der Anteil an Moorflächen an der Betriebsfläche einzelner Betriebe in den Moorregionen variiert erheblich (vgl. Krimly et al., 2016). Dies führt zu einer sehr individuellen Betroffenheit durch Moorschutzmaßnahmen, die möglicherweise die bisherige Nutzungsform der Fläche einschränken oder unmöglich machen könnte. Dies ist umso relevanter, da ein hoher Anteil an landwirtschaftlich genutzten organischen Böden in typische Futterbauregionen (z.B. Voralpines Hügel- und Moorland sowie Donau-Iller-Lech-Platte) mit hoher Nutzungsintensität des Grünlands sowie einer hoher Viehbesatzdichte liegt.

Zudem können nicht nur einzelne landwirtschaftliche Flächen wiedervernässt werden, sondern die Maßnahmen können auch die umliegenden Flächen in ihren Nutzungsoptionen beeinflussen. Eine erfolgreiche Wiedervernässung der bisherigen landwirtschaftlich genutzten Moor-

¹ Eigene Berechnungen nach (Vos et al., 2025)

standorte wird auch in Baden-Württemberg maßgeblich davon abhängen, ob künftig ausreichend Wasser verfügbar bleibt – ein Faktor, der durch die Auswirkungen des Klimawandels zunehmend mit Unsicherheiten behaftet ist.

2 Methodik und Arbeitsprogramm

2.1 Fragestellung und Überblick über den verwendeten Modellverbund

Im Rahmen des Forschungsprojektes haben wir folgende Fragestellungen untersucht:

- Wiedervernässungspotenzial landwirtschaftlich genutzter Moorstandorte aus hydrologischen Gesichtspunkten
- Treibhausgasminderungspotenzial durch Moorwiedervernässung
- Ökonomische und agronomische Auswirkungen der Wiedervernässung auf Regions- bzw. Sektorebene
- Bewertung der Effizienz der Moorwiedervernässung aus Klimaschutzperspektive

Um diese Forschungsfragen zu beantworten, haben wir in einem ersten Schritt die Verteilung landwirtschaftlicher Moorstandorte und deren derzeitige Nutzung in der Untersuchungsregion „Oberschwaben“ analysiert. Dabei betrachten wir nur den in Baden-Württemberg liegenden Teil und beziehen uns bei der Berücksichtigung aller relevanten agrarstatistischen Daten auf die Landkreise Biberach, Bodenseekreis, Ravensburg und Sigmaringen. Auf Basis umfangreicher GIS- und modellbasierter hydrologischer Bewertungen werden anschließend die Auswirkungen der derzeitigen Bewirtschaftungspraxis der Moorstandorte auf den Wasserhaushalt bewertet, aber auch auf deren Beitrag zur Wirtschaftlichkeit der landwirtschaftlichen Betriebe. Dabei werden insbesondere auch Merkmale der Betriebsstrukturen wie die Größe der zur Verfügung stehenden Betriebsfläche, sowie deren Anteil auf organischen Böden, aber auch Art und Umfang der Tierhaltung berücksichtigt. Die Ergebnisse dieser Analyse werden in den Kapiteln 3.2 und 3.3 beschrieben. Darauf aufbauend werden realistische Potenziale zur Wiedervernässung abgeleitet (Moorschutzszenario). Dabei werden auch mögliche Auswirkungen des Klimawandels in Baden-Württemberg berücksichtigt. Da derzeit keine wirtschaftlich tragfähigen Nutzungskonzepte für wiedervernässte Flächen außerhalb von Nischenanwendungen vorliegen, wird aus Gründen der Vereinfachung im Rahmen der modellbasierten Analyse angenommen, dass diese Flächen künftig nicht mehr landwirtschaftlich genutzt werden. Als Gesamtergebnis werden Handlungsempfehlungen zur Wiedervernässung landwirtschaftlicher Moorstandorte in Baden-Württemberg formuliert. Die Forschungsfragen wurden dabei überwiegend anhand einer integrierten, modellbasierten Analyse untersucht, die nachfolgend zusammenfassend beschrieben wird (Abbildung 1).

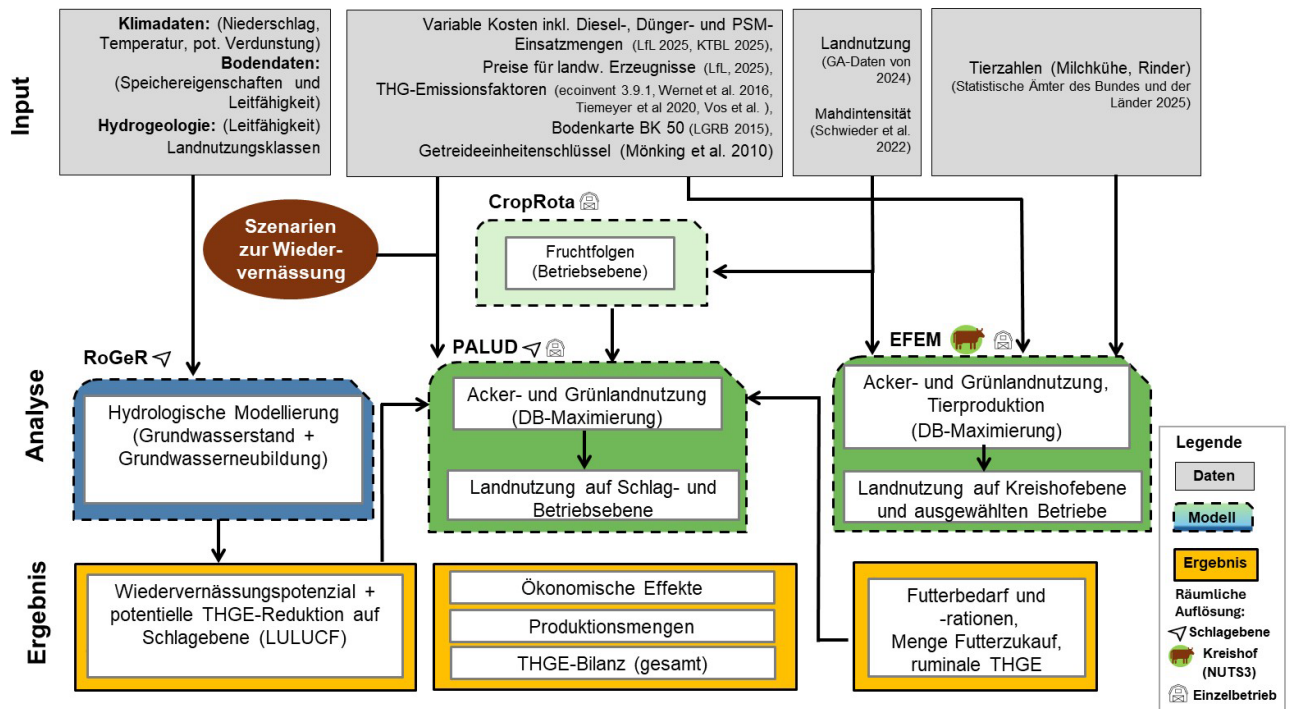


Abbildung 1: Modellverknüpfung und Datenaustausch zur Untersuchung des Wiedervernässungspotenzials landwirtschaftlich genutzter organischer Böden in Baden-Württemberg

Die ökonomische Analyse der Auswirkungen von Wiedervernässungsmaßnahmen erfolgt mithilfe zweier Modelle, die unterschiedliche Dimensionen der landwirtschaftlichen Produktion abbilden und am Fachgebiet für Landwirtschaftliche Betriebslehre etabliert sind. Das Modell EFEM (Economic Farm Emission Model) kann sowohl auf betrieblicher als auch auf regionaler Ebene eingesetzt werden (Bottom-up-Ansatz). Die Betriebsmittel- und Erzeugerpreise sind dabei exogen vorgegeben. In EFEM sind pflanzenbauliche und tierische Produktionsverfahren integriert, die sich in Erträgen, Intensitäten, Leistungen und Kosten je nach Region unterscheiden. An die Produktionsverfahren sind Komponenten zur Ermittlung der Treibhausgasemissionen gekoppelt, sodass eine vergleichsweise differenzierte, prozessbasierte Bilanzierung erfolgt. Der Vorteil von EFEM liegt in der sehr detaillierten Abbildung der Milchviehhaltung und des damit verbundenen Futterbedarfs. Dies ist für das geplante Forschungsvorhaben besonders relevant, da, wie zuvor beschrieben, der größte Anteil der landwirtschaftlichen Moorstandorte in Baden-Württemberg in intensiven Futterbauregionen liegt. Eine genauere Beschreibung der Funktionsweise und Anwendung von EFEM geben z. B. Krimly et al., (2016) und Petig et al., (2019).

Das Modell PALUD (Parcel based Agronomic Land Use Decision model) ist ein geodatenbasiertes Entscheidungsmodell zur Optimierung der Landnutzung. Auf Basis der Daten des Gemeinsamen Antrags werden schlagspezifische Fruchtfolgen und Deckungsbeiträge abgebildet. Durch die Verwendung weiterer Geodaten können auch unterschiedliche Ertragsfähigkeiten und Nutzungsintensitäten von Standorten bzw. Lage in naturschutzrechtlichen Schutzgebieten berücksichtigt werden. Unterschiedliche Landnutzungsalternativen wie z.B. mehrjährige Kulturarten können anhand eines Kapitalwerts der Fruchtfolgen verglichen werden. Das Mo-

dell wählt dann unter gegebenen Restriktionen diejenige Alternative aus, welche den Kapitalwert maximiert (vgl. Sponagel et al., 2022). Durch die räumlich explizite Modellierung mit PALUD war eine einfache Kopplung mit dem hydrologischen Modell RoGeR möglich.

Durch die kombinierte Nutzung von EFEM mit PALUD werden die Vorteile von beiden Modellen bei der Beantwortung der Fragestellungen genutzt. Zum einen können durch EFEM Entscheidungsstrategien, die auf Betriebsebene getroffen werden und die landwirtschaftliche Tierhaltung vergleichsweise gut abgebildet werden. Zum anderen ermöglicht PALUD die Optimierung der flurstückspezifischen Landnutzung und somit eine explizite Abbildung der landwirtschaftlich genutzten organischen Böden sowohl im Referenz- als auch im Moorschutzszenario. Dies ist besonders vor dem Hintergrund der räumlichen Konfiguration der Moorflächen relevant, d. h. wie groß sind die jeweils zusammenhängenden Moorflächen und welche Betriebe sind in welchem Ausmaß durch eine potenzielle Wiedervernässung betroffen.

PALUD bildet auch die Schnittstelle zum bodenhydrologischen Wasserhaushaltsmodell und Niederschlag-Abflussmodell RoGeR (Runoff Generation Research), das an der Professur für Hydrologie entwickelt wurde. Die grundlegenden Prozesskomponenten des Modells basieren auf den Modellen IN³M (Weiler, 2005) und Hillslope (Weiler und McDonnell, 2007). RoGeR ist physikalisch basiert und verwendet zeitlich (bis zu 5-minütige Zeitschritte) und räumlich hochaufgelöste Daten (bis zu 1 m²) zu den Boden- und Oberflächeneigenschaften sowie aktuelle Erkenntnisse zur Abflussbildung aus der internationalen Forschung. Es kann auf der Plot- oder Hangskala ebenso eingesetzt werden wie in meso-skalierten Einzugsgebieten. RoGeR wurde bislang für verschiedene Skalen und Prozesse in Baden-Württemberg sowie anhand von 145 Großberegnungsversuchen an 27 Standorten in Baden-Württemberg und der Schweiz validiert.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens bewertet das prozessbasierte, räumlich hochaufgelöste hydrologische Modell RoGeR die Auswirkungen auf die Bodenwasserdynamik und die Grundwasserneubildung in der Untersuchungsregion, auf Basis der Verschneidungsflächen aus Landnutzungsdaten, bodenkundlichen Kartiereinheiten (1:50.000) und hydrogeologischen Einheiten (1:50.000) sowie Klimadaten ab (Schwemmler et al., 2024; Steinbrich et al., 2021) anhand der derzeitigen landwirtschaftlichen Flächennutzung. Zusätzlich werden realistische Potenziale zur Wiedervernässung und der damit verbundenen Minderung der Treibhausgasemissionen abgeleitet, wobei auch zukünftige Klimabedingungen in die modellbasierte Analyse einfließen. RoGeR liefert dabei die Lage und den Umfang der potenziellen Wiedervernässungsflächen an PALUD. Durch die Kopplung mit EFEM können somit auch die ökonomischen Auswirkungen auf die Milchviehhaltung in den relevanten Untersuchungsregionen bewertet werden.

Die notwendigen Anpassungen und Erweiterungen der genutzten Modelle zur Beantwortung der gestellten Forschungsfragen werden im nächsten Kapitel erläutert.

2.2 Arbeitsprogramm

Tabelle 2 gibt einen Überblick über den Gesamtarbeitsplan. Die einzelnen Arbeitspakete und -schritte werden im Anschluss beschrieben.

Tabelle 2: Überblick über den Arbeitsplan während der Projektlaufzeit

	2024	2025											
	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
AP1: Konzeption der Analyse und Datenbeschaffung (UHOH, UFR)													
AP2: Ökonomische Analyse (UHOH)													
Erfassung der landwirtschaftlichen Nutzung auf entwässerten Moorstandorten													
Bewertung der landwirtschaftlichen Produktionsverfahren													
Analyse von Nutzungsoptionen nach Wiedervernässung													
Anpassung der ökonomischen Modelle EFEM + PALUD													
Berechnung des Referenzszenarios													
Berechnung des Moorschutzszenarios													
AP3: Hydrologische Analyse (UFR)													
Hydrologische Klassifizierung der Moorsysteme in BaWü													
Modellierung des Referenzszenarios													
Modellierung des Moorschutzszenarios													
Vergleich und Bewertung													
AP4: Handlungsempfehlung zur Wiedervernässung (UHOH, UFR)													

AP1: Konzeption der Analyse und Datenbeschaffung (UHOH, UFR)

In einem ersten Projekttreffen wurde der Projektablauf und die Schnittstellen zwischen den einzelnen verwendeten Modellansätzen konkretisiert. Als Untersuchungsregion wurde „Oberschwaben“ gewählt. Die Region mit den Landkreisen Biberach, Bodenseekreis, Ravensburg und Sigmaringen liegt im Naturraum Voralpines Hügel- und Moorland und verfügt über den größten Anteil an landwirtschaftlich genutzten Moorstandorten in Baden-Württemberg (vgl. Kapitel 3.1 und Kapitel 3.2.1). Alle wichtigen Datenquellen sind in Abbildung 1 unter der Gliederungsebene „Input“ aufgeführt und wurden je nach Nutzung vom jeweiligen Projektpartner beschafft. Ein Überblick gibt auch Kapitel 2.3.

AP2: Ökonomische Analyse

Erfassung der landwirtschaftlichen Nutzung auf entwässerten Moorstandorten

Für die ökonomischen Analysen werden alle Acker- und Grünlandflächen berücksichtigt, d. h. keine Dauerkulturen wie Obst, Hopfen, Spargel oder Reben, da die hier keine hinreichenden spezifischen Daten vorliegen bzw. die Bewertung sehr betriebsindividuell ist. Zur Analyse der landwirtschaftlichen Nutzung auf den entwässerten Moorstandorten wurden die Daten des Gemeinsamen Antrages (GA-Daten), die uns von Referat 25 für das Jahr 2024 zur Verfügung gestellt wurden ausgewertet. Hierdurch wurden die Landnutzung (Acker- oder Grünland sowie Dauerkulturen), die angebauten Kulturen auf dem Ackerland und auch die Teilnahme an Agrarumweltmaßnahmen (FAKT II) sowie an Landschaftspflegeprogrammen abgeleitet. Eine ausführliche Beschreibung dieser Analyse gibt Kapitel 3.2.1. Die GA-Daten enthielten zudem einen anonymisierten Schlüssel, der die Zuordnung von einzelnen Teilschlägen zu Betrieben ermöglichte. Dadurch konnten Aussagen zur einzelbetrieblichen Betroffenheit durch eine potenzielle großflächige Wiedervernässung von landwirtschaftlich genutzten Moorstandorten getroffen abgeleitet werden.

Bewertung der landwirtschaftlichen Produktionsverfahren

Die ökonomische Bewertung der landwirtschaftlichen Produktionsverfahren einschließlich der Grünlandnutzung erfolgte anhand von Deckungsbeiträgen, welche in Abhängigkeit der standortspezifischen Ertragskapazität in drei Stufen (gering, mittel, hoch), der Schlaggröße (<5 ha, 5 - 10 ha, > 10 ha) sowie nach Art der Düngung (mineralisch, organisch) kalkuliert wurden. Die Klassifizierung der schlagspezifischen Ertragskapazität der Ackerflächen erfolgte gemäß der Bodenkarte BK 50 und der Bodenfunktionsbewertung „Natürliche Bodenfruchtbarkeit“ (< 2: gering, 2 bis < 3: mittel, >3 hoch). Die Bewertung der Schnittintensität des Grünlands erfolgte anhand einer fernerkundungs-basierten deutschlandweiten Kartierung von Schwieder et al. (2022) von einem bis fünf Schnitten pro Jahr. Für knapp 8 % der Grünlandschläge lagen keine Schnittintensitäten vor, sodass eine mittlere Intensität von drei Schnitten unterstellt wurde.

Je nach Ertragskapazität bzw. Schnittintensität wurden Erträge in drei Stufen gemäß den Daten der (LEL, 2024a, 2022) zugeordnet. Zur Verifizierung der Ertragsannahmen wurde der mittlere Kreisertrag gemäß den Daten des Statistischen Landesamts mit dem flächengewichteten Ertrag gemäß der zugeordneten Ertragsstufen verglichen, was je nach Kultur nur geringfügige Abweichungen ergab (Tabelle 3). Die Klassifizierung der Schlaggröße erfolgte ebenfalls gemäß der Schlaggrößenangaben in den GA-Daten 2024. Die Berechnung des Düngedarfs erfolgte in Abhängigkeit des ertrags- und kulturspezifischen Nährstoffentzugs gemäß Anlage 7 der Düngeverordnung (DüV), wobei bei organischem Stickstoffdünger, d. h. Gärprodukten und Gülle, von einer Anrechenbarkeit von 60 % im Jahr der Ausbringung sowie 10 % Nachlieferung im Folgejahr ausgegangen wurde. In Bezug auf das Grünland wurde bei ein- und zweischnittigem Grünland von einer Heugewinnung mit geringeren Stickstoffbedarfen als bei Grünland mit mindestens drei Schnitten und unterstellter Nutzung für Grassilage ausgegangen.

Die Kalkulation der Direktkosten (Düngemitelesatz, Pflanzenschutzmitteleinsatz, Saatgut) sowie der variablen Arbeiterledigungskosten erfolgte gemäß den Standardkalkulationsdaten der LfL (2025) für den Durchschnitt der Jahre 2022 bis 2024. Dabei wurden je nach Schlaggrößenkategorie und Art der Düngung (mineralisch oder organisch) die variablen Maschinenkosten bzw. der Dieselbedarf angepasst.

Tabelle 3: Vergleich der mittleren Kreiserträge der Jahre 2020 bis 2024 mit dem flächengewichteten mittleren Ertrag gemäß der Anbauverteilung im Jahr 2024 nach den GA-Daten und den angenommenen drei Ertragsstufen

Kultur	Mittlerer Kreisertrag (2020-2024) in dt/ha	Mittlerer flächengewichteter Ertrag nach GA-Daten 2024 gemäß Ertragsannahmen (3-Stufen) in dt/ha	Abweichung
Winterweizen	80,5	81,9	+1,8 %
Wintergerste	73,0	76,6	+5,0 %
Silomais	464,7	453,0	-2,5 %
Sommergerste	57,9	63,0	+8,8 %
Hafer	60,0	59,0	-1,6 %
Winterraps	39,6	40,9	+3,1 %

Ökonomische Bewertung der Biogasproduktion

Zur ökonomischen Bewertung der Biogasproduktion bzw. Biomethanproduktion in der Untersuchungsregion wurde ein Datensatz der Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie der Universität Hohenheim genutzt, welcher im Rahmen des Projekts „Zukunft der landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Baden-Württemberg“ im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg erstellt wurde. Der Datensatz basiert auf einer Analyse des Markstammdatenregisters (MaStR) mit dem Stichtag 01.01.2025 sowie Bewegungsdaten von Transnet und Amprion. Einzelne Erzeugungsanlagen gemäß dem MaStR wurden je nach räumlicher Lage, d. h. an einem Betriebsstandort, zu einer „Anlage“ zusammengefasst, da diese mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem einzelnen Betrieb zugehörig sind. Insgesamt umfasst der Datensatz 275 Anlagen, welche landwirtschaftliche Substrate einsetzen (Tabelle 4). Die Analyse der Netzbetreiberdaten ermöglichte eine Ermittlung der jährlichen Stromproduktion in kWh bzw. der Biomethaneinspeisung der einzelnen Anlagen sowie die Zuordnung eines Vergütungsschlüssels auf Basis der EEG-Zahlungen inklusive Marktprämien und Flexibilisierungsprämie sowie Differenzierung für Anlagen mit mindestens 30 % bzw. 100% massebezogenem Gülleeinsatz. Anhand der Stromerzeugung wurde zudem die Bemessungsleistung bzw. arbeitsrelevante Leistung der Anlage in kW unter Annahme von 8.760 Volllaststunden ermittelt. Die fünf Biomethananlagen im Datensatz wurden für die weitere Analyse vereinfacht so behandelt, also würde das erzeugte Biomethan mit 38 % BHKW-Wirkungsgrad (FNR, 2025) zu einer Einspeisevergütung von 0,22 € je kWh verstromt werden.

Der Datensatz wurde mit den Ergebnissen einer Umfrage zum Substrateinsatz der Biogasanlagen in Baden-Württemberg in Abhängigkeit der Größenkategorie bzw. installierter elektrischer Bemessungsleistung, welche ebenfalls von der Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie unter Beteiligung der LAZBW im Jahr 2023 durchgeführt wurde. Anhand der Umfrage wurde jeder Anlage ein durchschnittlicher Substratmix zugeordnet, d. h. Anteil nachwachsende Rohstoffe (Nawaro) und Anteil Wirtschaftsdünger bzw. Gülle. Insgesamt wurden vier Klassen unterschieden, wobei bei Vorliegen der Information zum Gülleeinsatz aus dem Datensatz (mind. 30 % bzw. 100 %) eine entsprechende anlagenspezifische Korrektur erfolgte.

Zur Integration in das Landnutzungsmodell PALUD wurden die georeferenzierten Standorte der Anlagen mit den Teilschlägen aus dem GA-Datensatz verschnitten, um die Anlagen einzelnen Betrieben zuordnen zu können. Lediglich bei fünf Anlagen konnte kein Betrieb bzw. somit keine eigenen Flächen zugeordnet werden. Diese Anlagen kaufen im Modell Substrat ausschließlich zu. Andere Anlagen können den Substratbedarf entweder über den eigenen Anbau und/oder die eigene Tierhaltung bzw. über Zukauf decken. Unter Annahme eines Methanbedarfs von 1 m³ je 10 kWh eingespeister elektrischer Leistung und einem BHKW-Wirkungsgrad von 38 % (FNR, 2025), wurde gemäß den Substratanteilen für jede Anlage ein Methanbedarf aus Nawaro sowie aus Wirtschaftsdünger unterstellt. Diese Zahl stellt eine Obergrenze im Modell dar und kann durch Energiepflanzen (Klee gras, Grassilage, Silomais, Silphie) oder Gülle aus der Rinderhaltung gedeckt werden. Die Methangehalte der Substrate bzw. Gülleanfall je Großvieheinheit bei Milchkühen, Mastbullen und Färsen wurden gemäß LfL (2025) bzw. (LEL, 2024a, 2022) angesetzt. Der Deckungsbeitrag der Biogasproduktion setzt sich somit aus den Erlösen aus der Stromproduktion bzw. Biomethanproduktion.

Tabelle 4: Übersicht über den Datensatz zu den Biogas- und Biomethananlagen in der Untersuchungsregion mit unterstelltem Substratmix und Einspeisevergütungen

Merkmal	Biberach	Boden- seekreis	Ravensburg	Sigmarin- gen	gesamt
Anzahl der Anlagen	99	15	106	55	275
Bemessungsleistung (kW)	34.147	4.550	29.554	18.969	87.220
Mittlere Bemessungsleistung der Anlagen	345	303	279	345	317
Stromerzeugung (MWh/Jahr)	299.129	39.857	258.890	166.169	764.046
Anteil Nawaro (energiebezogen)	85,4 %	85,2 %	81,3 %	85,3 %	84,0 %
Anteil Wirtschaftsdünger (energiebezogen)	14,6 %	14,8 %	18,7 %	14,7 %	16,0 %
Mittlere Einspeisevergütung (ct/kWh)	22,4	22	21,7	22,2	22,1

Anpassung der ökonomischen Modelle EFEM und PALUD

EFEM

EFEM wird in diesem Forschungsvorhaben zur Modellierung der betriebsindividuellen Auswirkungen von Betrieben mit Moorflächen genutzt. Bevor diese Modellierung durchgeführt werden kann, wurden als Grundlage sogenannte Kreishöfe erstellt, um die notwendige Modellkalibrierung durchführen zu können. Hierbei bilden die Acker- und Grünlandflächen sowie der Viehbestand unterteilt in die verschiedenen Tierarten der vier Landkreise die grundlegenden Kapazitäten des Restriktionsrahmens. Die Daten zur Flächennutzung wurden den GA-Daten 2024 entnommen. Für die Anzahl der Tiere werden die Ergebnisse aus dem Herkunftssicherungs- und Informationssystem für Tiere (HIT-Datenbank, Stichtag 03.11.2024) verwendet. Die Daten können über die Statistischen Ämter des Bundes und der Länder online abgerufen werden. Die ökonomischen Kennzahlen für die Modellrechnungen in EFEM (variablen Kosten und Erzeugerpreise) sind auf eine konsistente Datenbasis mit PALUD aktualisiert worden und bilden den mehrjährigen Durchschnitt von 2022 bis 2024 ab. Die Ertragskennzahlen wurden ebenfalls von PALUD übernommen.

Zur Modellierung der individuellen Auswirkungen mit EFEM wurden für die vier Landkreise jeweils drei Beispielbetriebe definiert. Die Kapazitäten der Betrieb sind in Tabelle 5 dargestellt. Bei der landwirtschaftlichen Nutzfläche und deren Mooranteil wurden real existierende Betriebe aus dem GA-Datensatz ausgewählt. Da die Tierzahlen nicht in diesem Datensatz verfügbar sind, wurden für die Verteilung der Tierzahlen auf die einzelnen Betriebe ein Verteilungsalgorithmus entwickelt und angewendet, der im Abschnitt „PALUD“ nachfolgend näher erläutert wird. Die Auswahl der Betriebe innerhalb der Landkreise erfolgte anhand des Anteils an Moorflächen an der gesamten von den Betrieben landwirtschaftlich genutzten Fläche (LF) auf Moorflächen. Hierzu wurde die Betriebsstruktur in den GA-Daten in den Kreisen in drei Gruppen mit niedrigem, mittlerem und hohem Mooranteil eingeteilt und anschließend für jeden Kreis und jede Gruppe ein Betrieb ausgewählt. Dieser Anteil kann den letzten beiden Zahlen

in der Betriebsbezeichnungen entnommen werden. So bewirtschaftet der Betrieb 2FB30, der im Bodenseekreis liegt, insgesamt 21,4 ha landwirtschaftliche Moorfläche, was einen Anteil von 30 % an seiner gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche ausmacht. Die Moorflächenanteile liegen bei den Betrieben mit niedrigem Mooranteil zwischen 5 % und 6 %, bei einem mittleren Anteil zwischen 13 % und 30 % und beim hohen Anteil zwischen 34 % und 50 %. Letzterer (4FB50) liegt im Kreis Sigmaringen und hält 121 Milchkühe mit Nachzucht.

Tabelle 5: Beispielbetriebe für die ökonomische Analyse der Auswirkungen des Moorschutzszenarios mit EFEM

		Biberach					Bodenseekreis		
		1FB05	1FB13	1FB34			2FB05	2FB30	2FB41
Ackerfläche	[ha]	47,6	96,3	36,4	Ackerfläche	[ha]	12,7	22,8	14,2
davon Moor	[ha]	0	7,3	2,2	davon Moor	[ha]	0	10,3	12,1
Grünland	[ha]	42,9	46,0	31,5	Grünland	[ha]	71,5	48,6	48,2
davon Moor	[ha]	4,4	11,2	21,1	davon Moor	[ha]	4,0	11,1	13,7
Milchkühe	[n]	115	148	71	Milchkühe	[n]	96	59	71

		Ravensburg					Sigmaringen		
		3FB05	3FB13	3FB45			4FB06	4FB15	4FB50
Ackerfläche	[ha]	15,6	24,8	25,0	Ackerfläche	[ha]	72,1	95,7	44,6
davon Moor	[ha]	0	0,0	0,4	davon Moor	[ha]	1	0,7	0,1
Grünland	[ha]	44,0	81,1	49,1	Grünland	[ha]	48,1	72,0	69,1
davon Moor	[ha]	2,7	14,0	32,7	davon Moor	[ha]	7,1	24,5	56,9
Milchkühe	[n]	62	123	81	Milchkühe	[n]	133	143	121

Die in EFEM integrierten Faktoren zur Bilanzierung der THGE sind ausführlich in Krimly et al. (2016) und Angenendt et al. (2024) beschrieben. Sie wurden im Bereich der landwirtschaftlich bedingten direkten THGE an die aktuelle Vorgehensweise zur Erfassung der nationalen Berichterstattung angepasst (Vos et al., 2025).

PALUD

PALUD ist ein geodatenbasiertes ökonomisches Landnutzungsmodell auf Basis von linearer Programmierung. Das Modell wurde bereits zu unterschiedlichen Fragestellungen im Bereich der Biodiversitätsförderung bzw. Klimaschutz für verschiedene Untersuchungsregionen eingesetzt (Sponagel et al., 2025, 2024, 2022). In der Zielfunktion maximiert das Modell einen Gesamtdeckungsbeitrag über alle Landnutzungseinheiten in der Untersuchungsregion. Dafür wählt das Modell die optimale Fruchtfolge mit organischer bzw. mineralischer Düngung je Landnutzungseinheit bzw. Schlag aus. Zudem werden in PALUD bestimmte agronomische bzw. betriebliche Restriktionen wie Fruchtfolgebeschränkungen, Verfügbarkeit organischer Düngemittel, Deckung des Futterbedarfs der Tierhaltung oder Anbaubeschränkungen für Hackfrüchte der Optimierung zugrunde gelegt. Derartige Anbaubeschränkungen sind notwendig, da PALUD als Angebotsmodell die Nachfrage nach Agrargütern und damit die Preise als exogene Parameter unterstellt.

In früheren Modellversionen wurde dabei ein Regionshofansatz verfolgt, d. h. Restriktionen auf der betrieblichen Ebene wurden z. B. auf kommunaler Ebene integriert. Aufgrund der Zuordnung der Teilschläge zu den Betrieben in den GA-Daten, berücksichtigt PALUD nun explizit die Ebene der tatsächlich vorliegenden Betriebe mit Acker- bzw. Grünlandflächen (n=7.196). Dies beinhaltet unter anderem die Verteilung der Biogasanlagen auf die Betriebe wie oben beschrieben sowie die Anbaubeschränkung für Hackfrüchte auf die beobachtete Fläche im Jahr 2024. Zudem wurden die verfügbaren Fruchtfolgen als Landnutzungsoptionen im Modell ebenfalls auf Basis der beobachteten betrieblichen Flächennutzung mit Hilfe des Fruchtfolge-modells CropRota (Schönhart et al., 2011) abgeleitet und in PALUD integriert. CropRota generiert Fruchtfolgen auf Basis einer agronomischen Bewertung von Vor- und Nachfruchtkombinationen durch Expertinnen und Experten und basiert ebenfalls auf linearer Programmierung (Schönhart et al., 2011).

Die GA-Daten enthalten keine Zuordnung von Tieren zu den Betrieben. Da Rinder die höchste ökonomische Relevanz in der Untersuchungsregion haben, werden lediglich Rinder berücksichtigt. Vereinfacht erfolgte die Zuteilung von Großvieheinheiten (GV) entsprechend der vorhandenen GV gemäß Auswertung aus der HIT-Datenbank (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2025a) und der Verteilung von Bestandgrößenklassen in den einzelnen Landkreisen gemäß der Agrarstrukturhebung 2020 (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2025b). Insgesamt beträgt die Anzahl der Rinder 188.722 GV, darunter 110.201 GV-Milchkühe. Die Milchkühe wurden entsprechend der Rassenverteilung des LKV (2025) in den Landkreisen zudem in drei Leistungsstufen unterteilt. Die Zuteilung erfolgte mit Hilfe eines Gemischt-Ganzzahligen Optimierungsmodells in der Software GAMS. Das Ziel war dabei eine Verteilung der GV auf die Betriebe zu erreichen, die mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit tatsächlich den realen Verhältnissen entsprechen könnte, zumindest hinsichtlich der Verteilung der GV im Raum. Dafür wurde der Grundfutterbedarf der einzelnen Rinderkategorien sowie das Grundfutterangebots gemäß der oben beschriebenen Ertragsbewertung in MJ NEL gemäß den Anbauumfängen der Kulturen in den GA-Daten kalkuliert. In der Zielfunktion wurde die Abweichung zwischen Futterangebot und Futterbedarf minimiert, wobei der Futterbedarf nicht das Angebot überschreiten durfte. Zudem enthielt die Zielfunktion einen weiteren Term zur Minimierung der Differenz zwischen dem Bedarf an Wirtschaftsdünger der Biogasanlagen und dem Anfall auf den jeweiligen Betrieben. Dadurch wurde erreicht, dass den Betrieben mit Biogasanlagen prioritär GV-Einheiten zugeordnet wurden. Betriebe mit Milchviehhaltung wurden 0,4 GV-Färsen für die Nachzucht je GV-Milchkuh zugewiesen. Mit Hilfe weiterer Nebenbedingungen wurde erreicht, dass eine hinreichende Anzahl an Betrieben bestimmter Bestandsgrößenklassen, z. B. Betriebe mit 50 bis 99 Rinder-GV, je Landkreis generiert wurden. Da die Anzahl der GV in der Untersuchungsregion seit dem Jahr 2020 um ca. 9 % gesunken ist, wurde im Rahmen der GV-Verteilung die Restriktion eingeführt, dass die Anzahl der Betriebe je Bestandsgrößenklasse bei mind. 85 % im Vergleich zu den Daten aus 2020 liegen musste. Von 3.020 Betrieben in der Agrarstrukturhebung 2020 (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2025b) mit Rindern waren im Modell daher 2.572 Betriebe mit der GV-Zahl aus dem Jahr 2024 repräsentiert. Die ökonomische Bewertung der Rinderhaltung erfolgte nach Milchkühen in drei Leistungsklassen, Mastbullen und Färsen anhand von Daten der LfL

(2025). Dabei wurden Standardfuttermengen gemäß LfL (2025) unterstellt, d. h. ein bestimmter Grundfutterbedarf in MJ NEL sowie einem Bedarf an Futtergetreide in dt (Körnermais, Gerste, Hafer, Roggen und sonstiges Wintergetreide). Für Milchkühe mit hoher Milchleistung wurden ca. 10.000 l pro Jahr unterstellt.

Die verfügbare Menge an organischem Dünger je Betrieb ergibt sich aus der Anzahl der Rinder-GV je Betrieb sowie der Rücknahme von Gärprodukten aufgrund der Substratlieferung oder Güllelieferung an Biogasanlagen unter Berücksichtigung von Lagerverlusten von 5 % bzw. 1,5 % (LfL, 2025). Da die Schweinemast im Modell nicht explizit berücksichtigt ist bzw. aufgrund ihres tendenziell flächenunabhängigen Charakters eine Zuordnung der Tierzahlen zu einzelnen Betrieben auch nicht möglich gewesen wäre, wurden lediglich die anfallenden Mengen an organischem Dünger berücksichtigt. Betriebe sind in der Lage Schweinegülle zum Preis von 4 €/m³ zu erwerben. Die Menge an verfügbarem organischem Dünger muss im Modell auf die Flächen des jeweiligen Betriebs ausgebracht werden.

Weitere Interaktionen zwischen den Betrieben umfassen neben dem Zukauf bzw. Verkauf von Substrat für die Biogaserzeugung auch den Kauf bzw. Verkauf von Futtermitteln. Hierbei wurde jeweils die Restriktion eingeführt, dass derartige Transaktionen aufgrund der begrenzten Transportwürdigkeit mit Ausnahme von Futtergetreide nur innerhalb desselben Landkreises erfolgt.

Der Gesamtdeckungsbeitrag eines Betriebs setzt sich somit aus den Erlösen der verkauften landwirtschaftlichen Erzeugnisse einschließlich der Tierhaltung und den Umsätzen aus der Biogasproduktion abzüglich der variablen Produktionskosten, Kosten für Gülle aus der Schweinemast sowie Ausgaben für den Zukauf von Biogassubstrat bzw. Futtermitteln zusammen. Die Produktionskosten im Pflanzenbau wurden entsprechend den obigen Ausführungen angesetzt. Bezüglich der Tierhaltung wurden zusätzlich standardisierte variablen Kosten für Mineralfutter, Soja- und Rapsextraktionsschrot, Milchleistungsfutter sowie sonstige variablen Kosten wie Energie und Maschineneinsatz im Stall angesetzt (LfL, 2025). In der Zielfunktion wird der Deckungsbeitrag über alle Betriebe maximiert.

Die Berechnungsmethode zur Ermittlung der direkten und indirekten THGE aus der Pflanzenproduktion wurde analog zu EFEM auch in PALUD integriert. Die Treibhausgasemissionen durch die landwirtschaftliche Moornutzung wird in AP3 beschrieben.

Die Kalibrierung bzw. Validierung des Modells erfolgt anhand eines Vergleichs der Anbauumfänge der Kulturen in der modellierten Referenzsituation mit den beobachteten Flächenumfängen gemäß den GA-Daten 2024 sowie anhand öffentlich verfügbarer ökonomischer Auswertungen des BMELH Testbetriebsnetzes für die Untersuchungsregion.

Berechnung des Referenzszenarios und Moorschutzszenarios

Die Definition der Szenarien wird in AP3 näher beschrieben.

AP3: Hydrologische Analyse

Hydrologische Klassifizierung der Moorsysteme in BW

Zur Klassifizierung der Moorsysteme aus hydrologischer Sicht wurde der lokale Wasserhaushalt der ausgewählten Niedermoorflächen (siehe Kapitel 2.3) sowie der Wasserhaushalt der hydrologischen Einzugsgebiete, in denen die Moorflächen liegen herangezogen. Dieser wurde anhand des Wasserhaushaltsmodells RoGeR als langjähriges Mittel des Modellzeitraumes 2013-2023 ermittelt. Die Bestimmung der Einzugsgebiete erfolgte anhand des Gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses für Baden-Württemberg. Dabei wurde für jede Moorfläche das oberliegende Einzugsgebiet des Basisgebietes des Gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses ermittelt, in dem die Moorfläche liegt.

Berechnung der THGE aus der landwirtschaftlichen Moornutzung

Da die THGE, außer N_2O , aus landwirtschaftlich genutzten Mooren im Wesentlichen vom Grundwasserflurabstand abhängen, wird ihre Berechnung an diese Stelle gemeinsam beschrieben. Die direkte Lachgasemissionen aus landwirtschaftlich genutzten Mooren werden dem Sektor Landwirtschaft zugeschrieben und hier analog zur nationalen Berichterstattung berechnet (Vos et al., 2025). Für Baden-Württemberg werden bei Ackernutzung 4,5 t CO_2eq . und bei Grünland 1,8 t CO_2eq je Hektar und Jahr angenommen. Bei der Berechnung der CO_2 - und CH_4 -Emissionen haben wir uns an die Vorgehensweise von Röhl et al. (2025) gehalten, die die Treibhausgasemissionen aus organischen Böden für verschiedenen Landnutzungstypen in BW ermittelt haben. Tabelle 6 zeigt die Emissionsfaktoren für einen nutzungstypischen mittleren Grundwasserstand. Die höchsten THGE gehen von ackerbaulich genutzten organischen Böden aus. Während sich die Höhe der Emissionen von CH_4 und CO_2 zwischen organischen Ackerböden und normal bis intensiv genutztes Grünland nicht unterscheiden, verursachen Ackerböden höhere Lachgasemissionen. Mit 25,9 t $\text{CO}_2\text{eq/ha}$ verursacht die extensive Nutzung von Grünland die geringsten THGE der drainierten landwirtschaftlich genutzten organischen Böden. Hierbei sind wir von einem durchschnittlichen Wasserstand 0,55 m unter Flur ausgegangen. Eine Wiedervernässung der landwirtschaftlich genutzten Flächen würde durch die entstehenden CH_4 -Emissionen noch THGE von 6,4 t CO_2eq . verursachen. Hierbei sind wir von einem Wasserstand von 0,05 m über Flur ausgegangen (vgl. Röhl et al., 2025). Die Emissionsfaktoren aus Tabelle 6 werden in das nicht räumlich explizit arbeitenden Modell EFEM integriert und stellen Mittelwerte dar.

Tabelle 6: Emissionsfaktoren der unterschiedlichen Landnutzungen auf organischen Böden

Treibhausgas	Ackerland	Grünland	Grünland extensiv	Wiedervernässung
	THGE in t $\text{CO}_2\text{eq ha}^{-1} \text{a}^{-1}$			
N_2O	4,5	1,8	1,8	0,1
CH_4	0,1	0,1	0,1	9,8
CO_2	36,7	36,7	24,0	-3,4
Summe	38,6	38,6	25,9	6,4

* Berechnung nach Tiemeyer et al. (2020)

** Berechnung nach Tiemeyer et al. (2020) für Acker und Grünland
extensives Grünland und für wiedervernässte Standorte nach (Höper, 2022)

Als Grundlage für die Berechnung der Emissionen in Abhängigkeit der Grundwasserflurabstände, die dann in das räumlich explizite Wiedervernässungsszenario mit PALUD einfließen, dienen die Modellergebnisse des Wasserhaushaltsmodells RoGeR. Dieses wurde für die spezielle Aufgabenstellung modifiziert, um die Wirkung von Drainagen abbilden zu können und die für die weiteren Analysen erforderlichen Daten auszugeben. Das Modell wurde für einen 10-jährigen Zeitraum (2013-2023) betrieben und für jede Modell-Teilfläche und jeden Tag der simulierte Grundwasserflurabstand ausgegeben. Daraus wurde dann wiederum der langjährige mittlere Grundwasserflurabstand ermittelt. Die Modellierung erfolgte jeweils für das Referenzszenario und für das Moorschutzszenario. Für jede Modell-Teilfläche werden für die beiden Szenarien die mittleren langjährigen Grundwasserflurabstände ausgegeben. Für Moorflächen mit Torflagen bis an die Oberfläche bezogen auf die Bodenoberfläche und für überdeckte Moore auch bezogen auf die Oberkante des Moorkörpers. Aufgrund der Modellergebnisse kann das Potenzial zur Reduzierung der CO₂-Emissionen durch Wiedervernässung abgeschätzt werden, indem die Differenzen der CO₂-Emissionen zwischen den beiden Szenarien betrachtet werden. Eine differenziertere Darstellung der CH₄- und CO₂-Emissionen in Abhängigkeit des Grundwasserabstandes und der Flächennutzung findet sich in Anhang 1.

Modellierung des Referenzszenarios aus hydrologischer Sicht

Für das Referenzszenario wird davon ausgegangen, dass die Flächen effektiv drainiert werden, um die landwirtschaftliche Nutzung zu gewährleisten. Da die tatsächliche Dichte und Tiefe gegebenenfalls vorhandener Drainagen in der Regel nicht bekannt sind, wurden dazu auf die Vorgaben der DIN 1185-2 „Dränung - Regelung des Bodenwasser-Haushaltes durch Rohrdränung und Unterbodenmelioration - Teil 2: Planung und Bemessung“ zurückgegriffen. Für Niedermoores mit einem mittleren Zersetzungsgrad werden dort Abstände zwischen den Sammlern von etwa 10 m und eine Tiefe von 1 m empfohlen. Dies bildet die Grundlage für das Referenzszenario. Diese Abstände wurden in zwei Niedermoores überprüft, indem die offenen Drainagen digitalisiert wurden. Die beobachteten Abstände und die angenommenen Bemessungsabstände stimmten dabei recht gut überein.

Modellierung des Moorschutzszenarios aus hydrologischer Sicht

Für das Moorschutzszenario wird von einem Zustand ohne Drainagen ausgegangen. Als Vorfluter für das Moorschutzszenario werden nur die natürlichen, im Amtlichen Wasserwirtschaftlichen Gewässernetz (AWGN) kartierten, Gewässer als Vorflut angenommen.

Da die Ergebnisse der hydrologischen Analyse als Ausgangsgrundlage für das Moorschutzszenario im Rahmen der ökonomischen Analyse mit den Modellen PALUD und EFEM dient, erfolgt die detaillierte Darstellung der Moorschutzszenarien aus Sicht der ökonomischen Modellierung im Rahmen des Ergebnisteils (Kapitel 3.4).

AP4: Handlungsempfehlungen zur Wiedervernässung

Basierend auf den Ergebnissen der hydrologischen und ökonomischen Modellierung wurden Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen für die Agrar- und Umweltpolitik in Baden-Württemberg formuliert.

2.3 Datengrundlage für die hydrologische Analyse

Für die Ermittlung der Moorstandorte und die Auswahl der zu untersuchenden Flächen wurde der Datensatz „BK50-Moor“ (LGRB, 2023) des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) am Regierungspräsidium Freiburg herangezogen. Der Datensatz ist ein Auszug der Moor- und humusreichen Grundwasserböden aus der Bodenkarte Baden-Württemberg (BK50) und enthält die Lage und Klassifizierung von Moor- und humusreichen Grundwasserböden.

Aus allen dort für die vier für die Analysen ausgewählten Landkreise in Oberschwaben kartierten Flächen wurden Niedermoorflächen und überdeckte Niedermoorflächen mit einer Mindestgröße von 5 ha für die hydrologischen und ökonomischen Analysen ausgewählt (Abbildung 2). Diese umfassen insgesamt 604 Moorflächen mit einer Gesamtfläche von 24.380 ha bzw. 19.587 ha in Bezug auf aktuelle Ackerland- und Grünlandnutzung. Die Tiefenlage der Torfschichten konnte aus der BK50 ermittelt werden. Für die hydrologische Klassifikation der Moorflächen bezüglich des Wasserhaushaltes der Einzugsgebiete, in denen die Moorflächen liegen wurde das Gewässerkundliche Flächenverzeichnis Baden-Württemberg herangezogen.

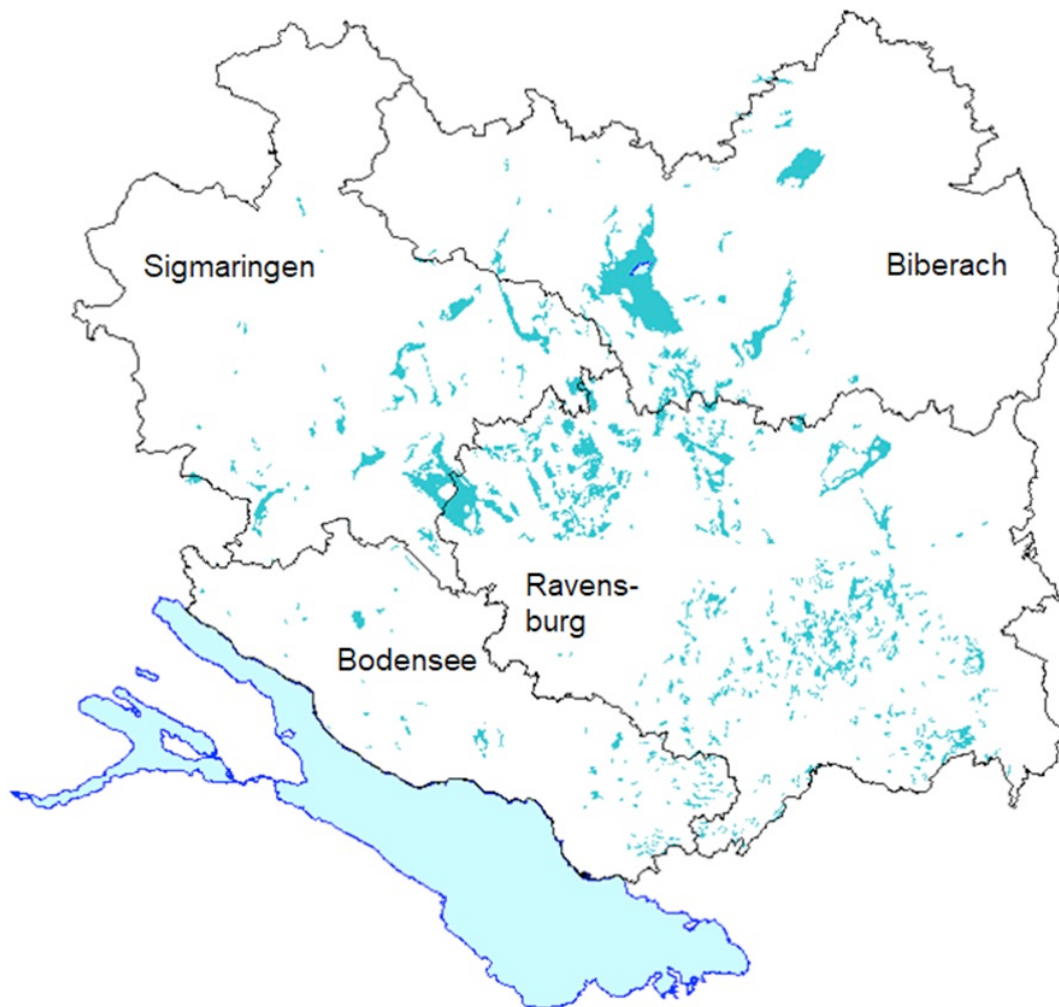


Abbildung 2: Lage der für die Analysen ausgewählten Moorflächen

Das Wasserhaushaltsmodell RoGeR greift auf eine Verschneidung der Datensätze BK50rog (LGRB, Professur für Hydrologie), ATKIS-Nutzung (LGL), GeoFachdaten BW - Hydrogeologie 1:50.000 (LGRB), DGM 5m (LGL) sowie Klimadaten des DWD zurück. Die 604 für die Analysen ausgewählten Moorflächen werden im Modell mit 19.679 Verschneidungsflächen abgebildet. Der Antrieb erfolgt in der Modellregion durch 17 Klimastationen des DWD.

Für die Abschätzung der zu erwartenden Klimaveränderungen auf das Potenzial zur Wiedervernässung konnte auf Daten der Modellergebnisse des Projektes ASG Rhein zurückgegriffen werden (Stahl et al., 2022). Im Projekt ASG Rhein wurden zur Abschätzung der aktuellen und künftigen Abflussanteile aus Regen, Schneeschmelze und Gletscherschmelze im Rhein und seinen Nebenflüssen hydrologische Modellierungen aufgrund verschiedener Kombinationen aus globalen und regionalen Klimamodellen für das Worst-Case-Veränderungs-Szenario (RCP8.5) bei späten Maßnahmen zur CO₂-Reduktion durchgeführt (dieses Szenario erscheint im Moment als das wahrscheinlichste aufgrund der verzögerten Klimaschutzmaßnahmen weltweit). Das Teilgebiet Bodensee aus dem ASG Rhein Projekt umfasst den kompletten Landkreis Bodensee und den größten Teil des Landkreises Ravensburg. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Änderungen im Gesamtabfluss die für diese Flächen durch die regionalen Klimamodelle angezeigt werden, für den Untersuchungsraum unseres Projektes repräsentativ sind.

3 Ergebnisse

Wie aus verschiedenen Studien zu Moorstandorten für Baden-Württemberg hervorgeht (vgl. Angenendt et al., 2024; Krimly et al., 2016; Tegetmeyer et al., 2021), konzentriert sich der überwiegende Anteil organischer Böden im Südosten des Landes, vor allem im baden-württembergischen Teil Oberschwabens. Dies verdeutlicht auch die historische Moorkarte Baden-Württembergs (vgl. Abbildung 3). Diese Region ist insbesondere auch durch einen großen Anteil an landwirtschaftlich genutzten Moorböden gekennzeichnet. So werden ca. 50 % der Moorflächen landwirtschaftlich genutzt (vgl. Abbildung 4). Die landwirtschaftlichen Strukturen in Oberschwaben und die Bedeutung der Nutzung organischer Böden werden im nächsten Kapitel näher beschrieben.

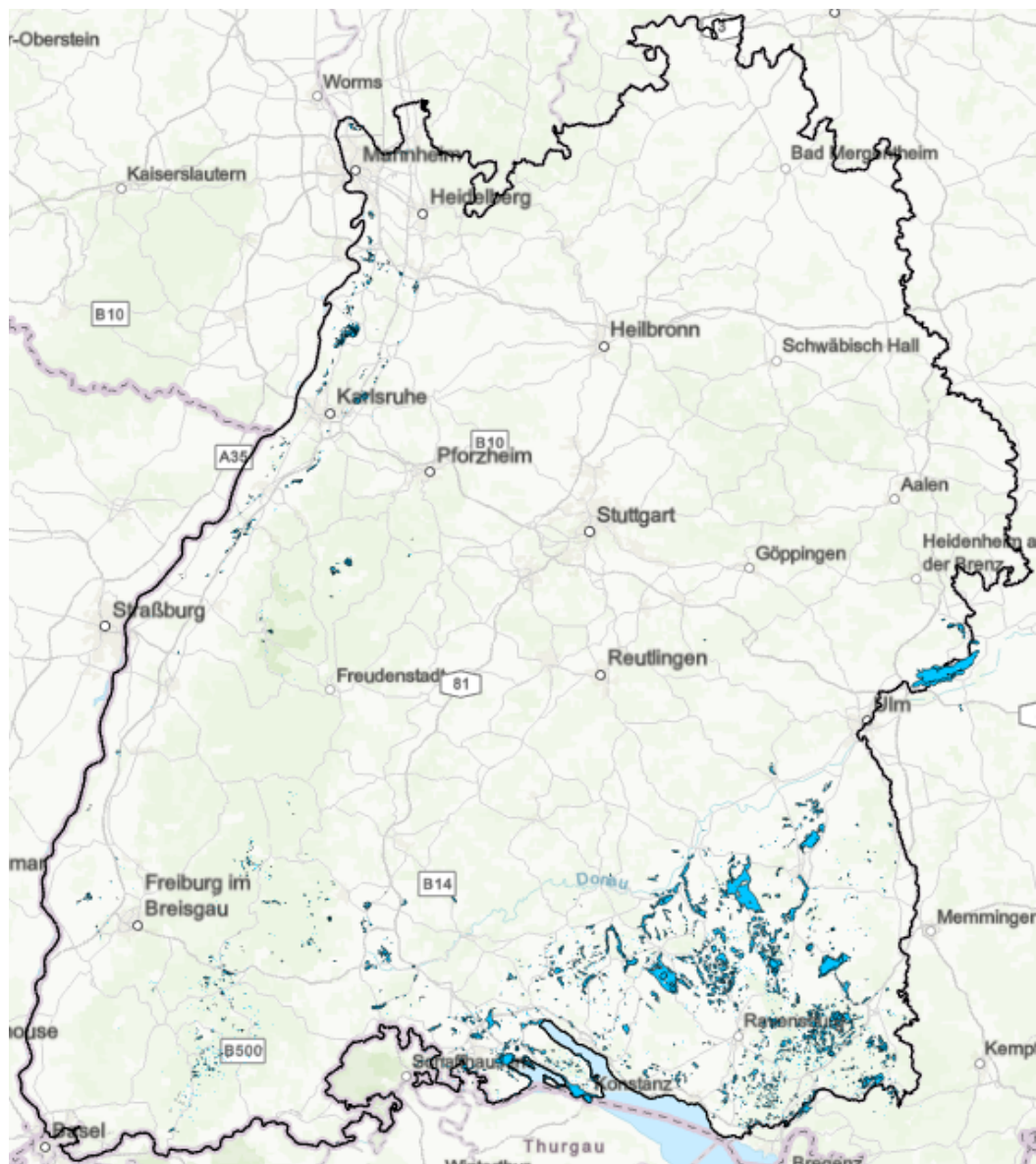


Abbildung 3: Moorstandorte in Baden-Württemberg anhand der WFS Historischen Moorbodenkarte (LUBW, 2025)

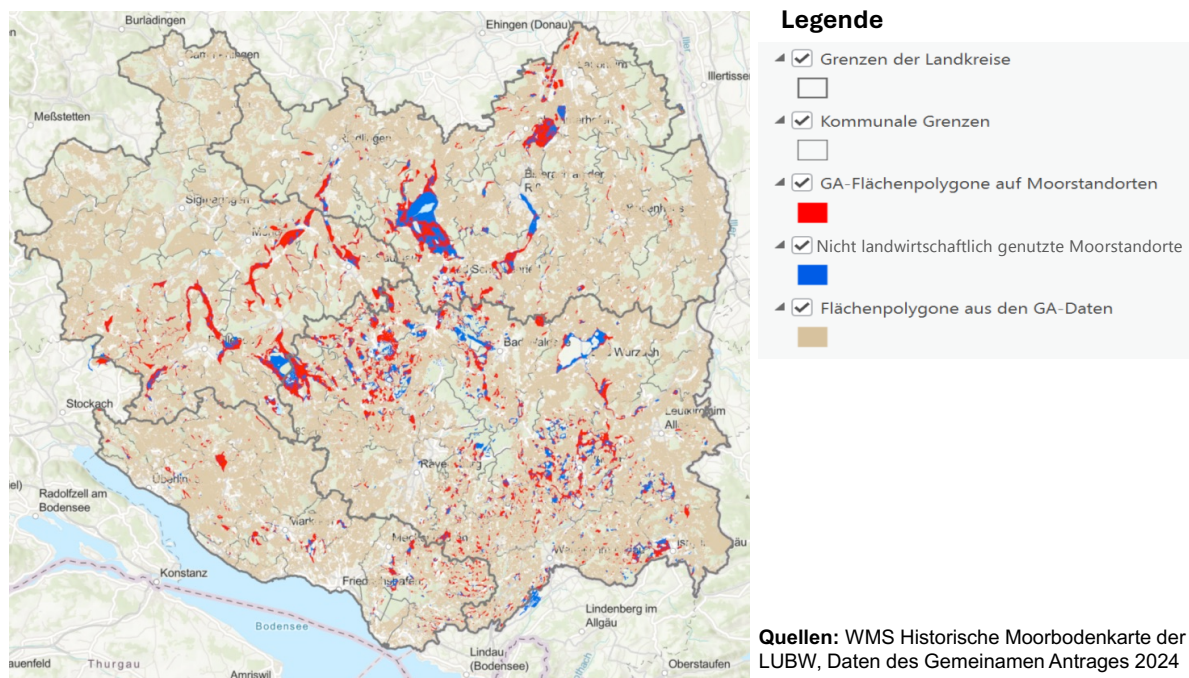


Abbildung 4: Landwirtschaftlich genutzte Moorflächen in der Untersuchungsregion Oberschwaben

3.1 Beschreibung der Untersuchungsregion

Die Untersuchungsregion „Oberschwaben“ umfasst in der hier vorliegenden Studie die in BW liegenden Landkreise Biberach, Bodenseekreis, Ravensburg und Sigmaringen, die dem Naturraum Voralpines Hügel- und Moorland (Großlandschaft, Naturraum 3. Ordnung) zugeordnet sind. Der Naturraum zieht sich am nördlichen Alpenrand entlang vom Bodensee bis zur Salzach und umfasst im Wesentlichen den würmeiszeitlich vergletscherten Teil des Alpenvorlandes. Die durchschnittlichen Jahresniederschläge liegen zwischen 700 mm (Hegau, Bodenseebecken) und 1.800 mm (Westallgäuer Hügelland). Die durchschnittlichen Jahrestemperaturen liegen zwischen 7,0°C und 8,5°C (Infodienst Landwirtschaft - Ernährung - Ländlicher Raum, 2025).

Die unterschiedlichen naturräumlichen Bedingungen spiegeln sich auch in der landwirtschaftlichen Nutzung wider. Während in der gesamten Untersuchungsregion der Anteil an Acker- und Grünland nahezu ausgeglichen ist, gibt es zwischen den einzelnen Landkreisen deutliche Unterschiede (Tabelle 7). So liegt mit mehr als 67 % der größte Anteil an Ackerland an der landwirtschaftlich genutzten Fläche im Landkreis Biberach. Demgegenüber verfügt der Landkreis Ravensburg mit knapp 67 % über den höchsten Grünlandanteil. Der Bodenseekreis zeichnet sich mit fast 27 % durch einen sehr hohen Flächenanteil an Dauerkulturen aus. Insgesamt liegen 8,2 % der Ackerflächen und 14,2 % der Grünlandflächen von Baden-Württemberg in der Untersuchungsregion Oberschwaben.

Tabelle 7: Landwirtschaftliche Flächennutzung in der Untersuchungsregion

Landkreis	NUTS_CODE	Gesamtfläche nach Kategorie in ha			
		Ackerland	Grünland	Dauerkulturen	LF
Biberach	DE146	51.413	24.725	133	76.271
Bodenseekreis	DE147	11.708	11.382	8.403	31.493
Ravensburg	DE148	26.283	56.635	2.009	84.927
Sigmaringen	DE149	33.773	20.733	94	54.600
Gesamt		123.177	113.475	10.639	247.291

Quelle: GA-Daten von 2024

Tabelle 8 zeigt den jeweiligen Anteil von landwirtschaftlich genutzten Moorböden an der jeweiligen Flächennutzungskategorie. In allen vier Landkreisen werden die Moorböden überwiegend als Grünland genutzt. Mit knapp 7.300 ha von insgesamt etwas mehr als 16.200 ha Moorgrünland in Oberschwaben weist, der Landkreis Ravensburg die größte absolute Fläche dieser Nutzungsform auf. Der Landkreis Sigmaringen hat dagegen den höchsten Anteil an Moorgrünland an der Grünlandfläche im Landkreis. Bei den ackerbaulich genutzten Moorstandorten unterscheiden sich die Landkreise im Anteil am gesamten Ackerland nur geringfügig; er liegt zwischen 2,6 und 3,3 %. Insgesamt werden in Oberschwaben knapp 3.400 ha organische Böden ackerbaulich genutzt und etwas mehr als 220 ha der Moorböden für den Anbau von Dauerkulturen verwendet. Etwa 8 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche entfallen damit auf organische Böden.

Tabelle 8: Anteil der landwirtschaftlich genutzten Moorböden nach Flächennutzungskategorien

Landkreis	Gesamtfläche nach Kategorie auf Moorböden in ha							
	Ackerland		Grünland		Dauerkulturen		LF	
	ha	Anteil	ha	Anteil	ha	Anteil	ha	Anteil
Biberach	1.351	2,6 %	3.792	15,3 %	3	1,9 %	5.146	6,7 %
Bodenseekreis	386	3,3 %	1.364	12,0 %	205	2,4 %	1.955	6,2 %
Ravensburg	700	2,7 %	7.263	12,8 %	19	0,9 %	7.982	9,4 %
Sigmaringen	929	2,8 %	3.802	18,3 %	1	1,0 %	4.732	8,7 %
Gesamt	3.366	2,7 %	16.221	14,3 %	227	2,1 %	19.814	8,0 %

Quelle: GA-Daten von 2024, BK50-Moor (LGRB, 2023)

Die Moorfläche ist dabei sehr ungleichmäßig auf die einzelnen Betriebe im Untersuchungsgebiet verteilt. Lediglich ca. 45,5 % bzw. 3.387 von 7.466 Betrieben bewirtschaften gemäß den GA-Daten 2024 sowie das BK50-Moor (LGRB, 2023) überhaupt Flächen auf Moorstandorten. Auch innerhalb der Gruppe der Betriebe, die überhaupt Flächen auf Moorstandorten nutzen, ist die Verteilung sehr ungleichmäßig, was an der Lorenzkurve der Verteilung der Moorflächen auf die einzelnen Betriebe deutlich wird (Abbildung 5). Mehr als 75 % der LF auf Moorböden entfallen auf ca. 23 % der 3.387 Betriebe. Einzelne Betriebe wären somit überproportional durch eine potenzielle Moorwiedervernässung betroffen.

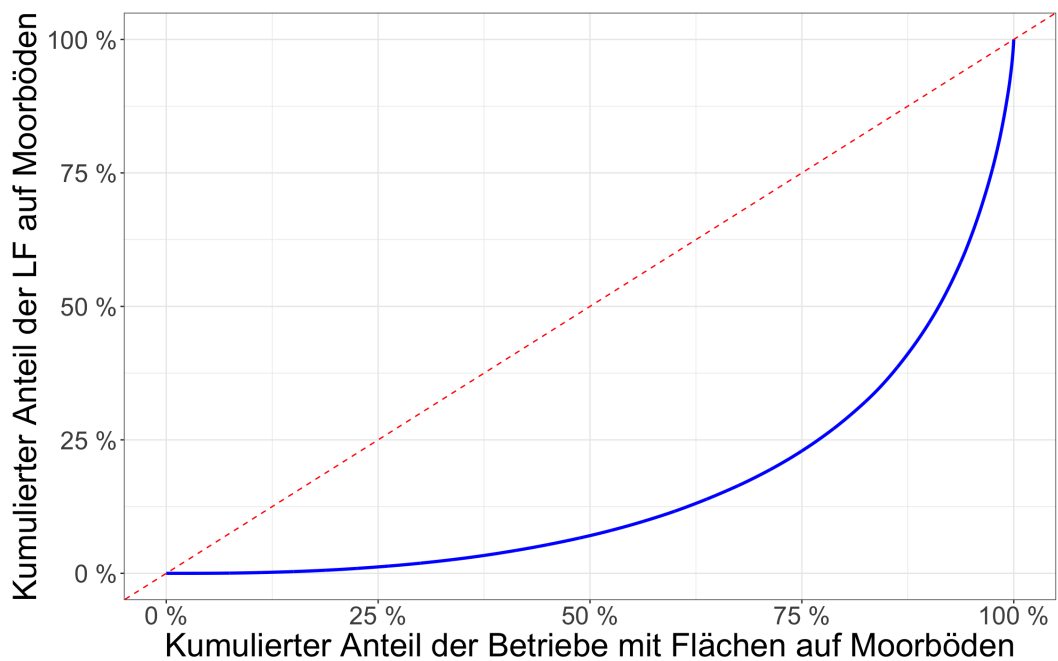


Abbildung 5: Lorenzkurve der Verteilung der Moorflächen auf die Betriebe, welche im Untersuchungsraum überhaupt Flächen auf Moorböden bewirtschaften nach eigener Auswertung der GA-Daten 2024 und der BK50-Moor (LGRB, 2023)

Insbesondere kleinere Betriebe mit weniger als 10 ha LF und mit Flächen auf Moorstandorten, weisen tendenziell auch höhere Anteile der LF auf Moorböden auf als größere Betriebe (Abbildung 6).

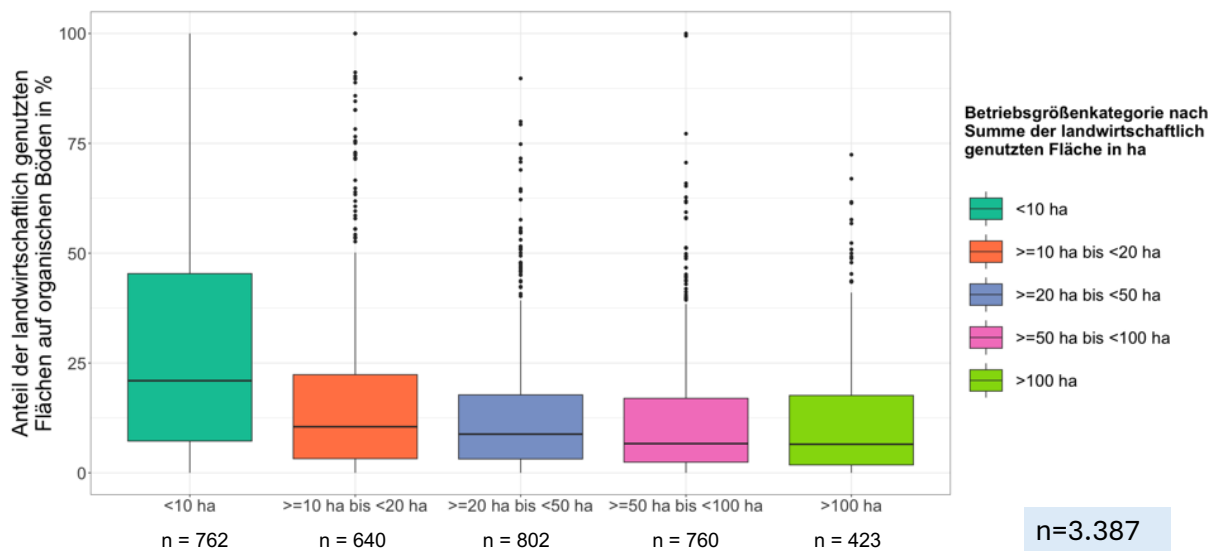


Abbildung 6: Anteil der LF auf Moorböden nach Größenkategorie der landwirtschaftlichen Betriebe nach eigener Auswertung der GA-Daten 2024 und der BK50-Moor (LGRB, 2023)

Der überwiegende Anteil der landwirtschaftlich genutzten Moorstandorte wird von Betrieben mit mehr als 50 ha LF ($n = 1.183$) bewirtschaftet (ca. 70 %), wobei bei diesen Betrieben durchschnittlich knapp 12 % der LF auf Moorböden liegen. Da der Median jedoch bei nur 6,6 % liegt, zeigt sich auch hier die hohe Heterogenität in der Betroffenheit bzw. die Ungleichheit der Verteilung (Abbildung 7).

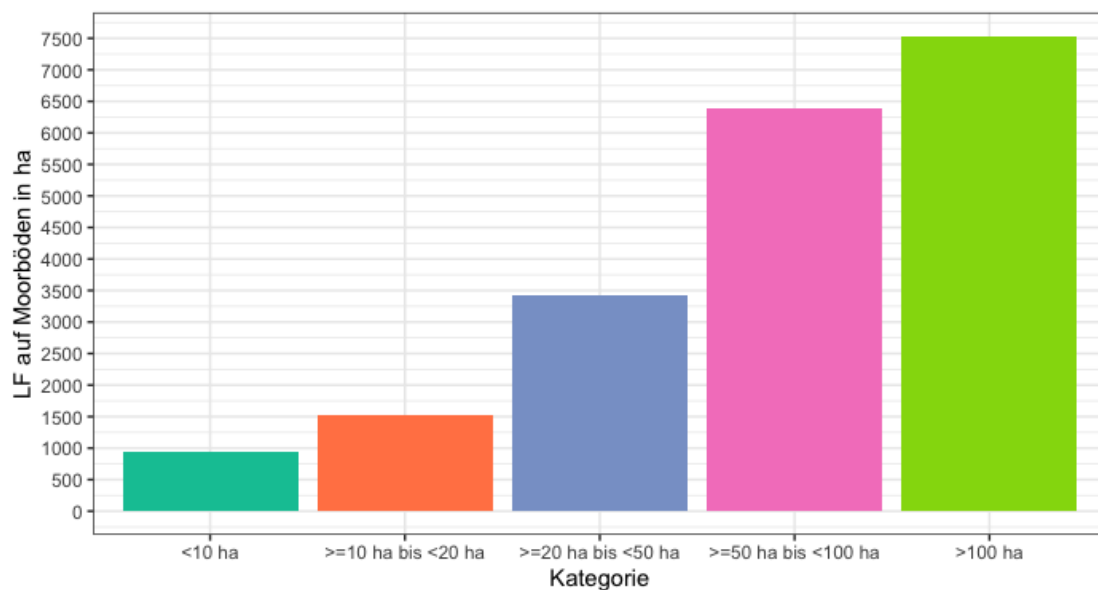


Abbildung 7: Übersicht über die Summe der LF auf Moorstandorten nach Betriebsgrößenklassen nach eigener Auswertung der GA-Daten 2024 und der BK50-Moor (LGRB, 2023)

In Tabelle 9 ist die Struktur der Rinder- und Schweinhaltung in der Untersuchungsregion dargestellt. Die Zahlen verdeutlichen die Bedeutung der Futterbaubetriebe, insbesondere der Milchviehbetriebe, in der Untersuchungsregion. Nahezu ein Viertel der rinderhaltenden Betriebe sowie rund ein Drittel der Milchkuhbetriebe Baden-Württembergs liegen in der Untersuchungsregion. Bezogen auf die gehaltenen Milchkühe ist die Relevanz noch größer. So stehen 36 % aller Kühe Baden-Württembergs in Oberschwaben. Eine besondere Bedeutung kommt mit mehr als 65.000 Milchkühen dem Landkreis Ravensburg zu.

Betrachtet man die Haltung von Schweinen, so sind sowohl 15 % der Betriebe, die Schweine und Zuchtsauen halten, als auch 15 % der gehaltenen Tiere in der Untersuchungsregion. Die größte Bedeutung hat die Haltung von Schweinen und Zuchtsauen im Landkreis Biberach. Der Landkreis Ravensburg weist mit 1,35 GV/ha LF die größte und der Bodenseekreis mit 0,6 GV/ha LF die geringste Viehdichte.

Tabelle 9: Struktur der Tierhaltung in der Untersuchungsregion

Landkreis	Landw. Betriebe mit Viehhaltung		Landwirtschaftliche Betriebe mit							
			Rinder		Milchkühe		Schweine		Zuchtsauen	
			Betriebe	Tiere	Betriebe	Tiere	Betriebe	Tiere	Betriebe	Tiere
	Anzahl	GV	Anzahl							
Biberach	1.176	80.739	838	85.240	505	31.314	256	155.679	77	12.339
Bodenseekreis	525	18.862	310	20.423	171	8.001	62	11.792	11	698
Ravensburg	1.785	114.291	1.450	135.690	1.100	65.217	111	45.759	39	4.425
Sigmaringen	742	38.825	422	35.224	199	12.963	180	97.988	48	7.623
Gesamt	4.228	252.717	3.020	276.577	1.975	117.495	609	311.218	175	25.085

Quelle: Agrarstrukturerhebung 2020 (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2025b)

3.2 Ökonomische Analyse

3.2.1 Erfassung der landwirtschaftlichen Nutzung auf entwässerten Moorstandorten in der Untersuchungsregion

Nachfolgend wird die derzeitige Flächennutzung auf den landwirtschaftlichen Moorstandorten in der Untersuchungsregion beschrieben.

Ackerbauliche Nutzung

Der überwiegende Anteil des Ackerlands auf Moorflächen wird für den Anbau von Ackerfutter verwendet (ca. 45 %). Darüber hinaus werden ca. 35 % für den Anbau von Wintergetreide genutzt und geringe Anteile von jeweils ca. 5 % für den Anbau von Sommergetreide und Körnermais. Hackfrüchte, Raps und sonstige Kulturen wie Körnerleguminosen oder Gemüse machen nur geringe Anteile der Moorflächen in der Untersuchungsregion aus (Tabelle 10).

Tabelle 10: Ackerbauliche Nutzung der Moorfläche gemäß BK50-Moor (LGRB, 2023) und den GA-Daten 2024

Kulturartengruppe	Fläche in ha	Flächenanteil	Kumulierter Flächenanteil
Ackerfutter	1.407	44,8 %	44,8 %
Wintergetreide	1.107	35,2 %	80,0 %
Sommergetreide	166	5,3 %	85,3 %
Körnermais	173	5,5 %	90,8 %
Winterraps	101	3,2 %	94,0 %
Körnerleguminosen	65	2,1 %	96,1 %
Hackfrüchte	35	1,1 %	97,2 %
Sonstiges	89	2,8 %	100,0 %

Knapp 230 ha der Moorfläche werden für den Anbau von Dauerkulturen genutzt, die überwiegend im Bodenseekreis liegen (ca. 205 ha). Von den Dauerkulturflächen auf Moorstandorten entfallen ca. 120 ha auf Hopfen, knapp 75 ha auf Kern- und Steinobst sowie weitere Kulturen wie Reben in jeweils geringem Umfang. In diesem Zusammenhang zeigt Abbildung 8 die Zusammensetzung der LF der Betriebe mit Flächen auf Moorstandorten (n = 3.387) nach Betriebsgrößenklassen und Landkreisen auf Moorstandorten. Insbesondere in Ravensburg entfallen die größten Anteile auf Grünland und Ackerfutter, wobei der Anteil des Wintergetreides mit steigender Betriebsgröße tendenziell zunimmt.

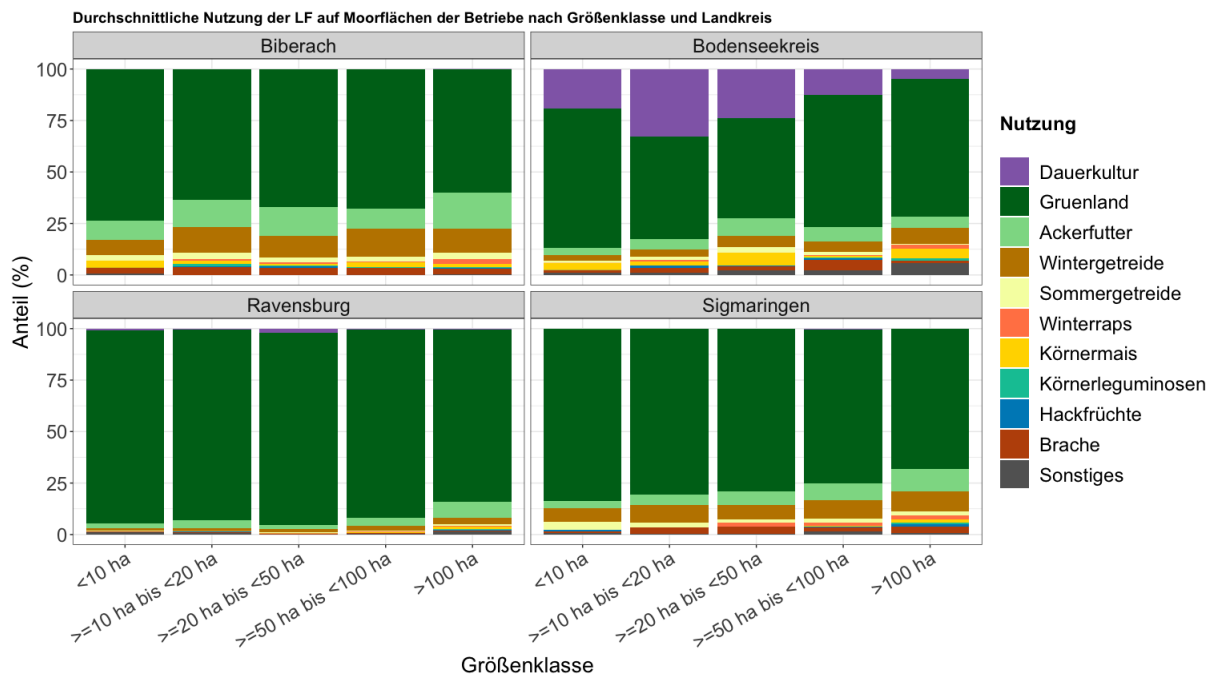


Abbildung 8: Landwirtschaftliche Nutzung der Moorflächen nach Landkreis und Betriebsgrößenkategorie (Quelle: GA-Daten von 2024, BK50-Moor (LGRB, 2023))

Die landwirtschaftliche Nutzung unterscheidet sich auf Betriebsebene deutlich hinsichtlich der Kulturartenzusammensetzung auf den Moorflächen und außerhalb der Moorflächen (Abbildung 9). Dabei zeigt sich nochmals die Tatsache, dass der überwiegende Anteil der Moorstandorte auf Grünland liegt. Die Anbauanteile des Ackerfutters bzw. des Wintergetreides sowie weiterer Ackerkulturen sind in Bezug auf die Gesamtfläche deutlich höher als in Bezug auf die Fläche auf Moorstandorten. Auch hier zeigt sich, dass kleine Betriebe unter 10 ha, insbesondere in Ravensburg, nur einen geringen Ackerflächenanteil an der LF aufweisen.

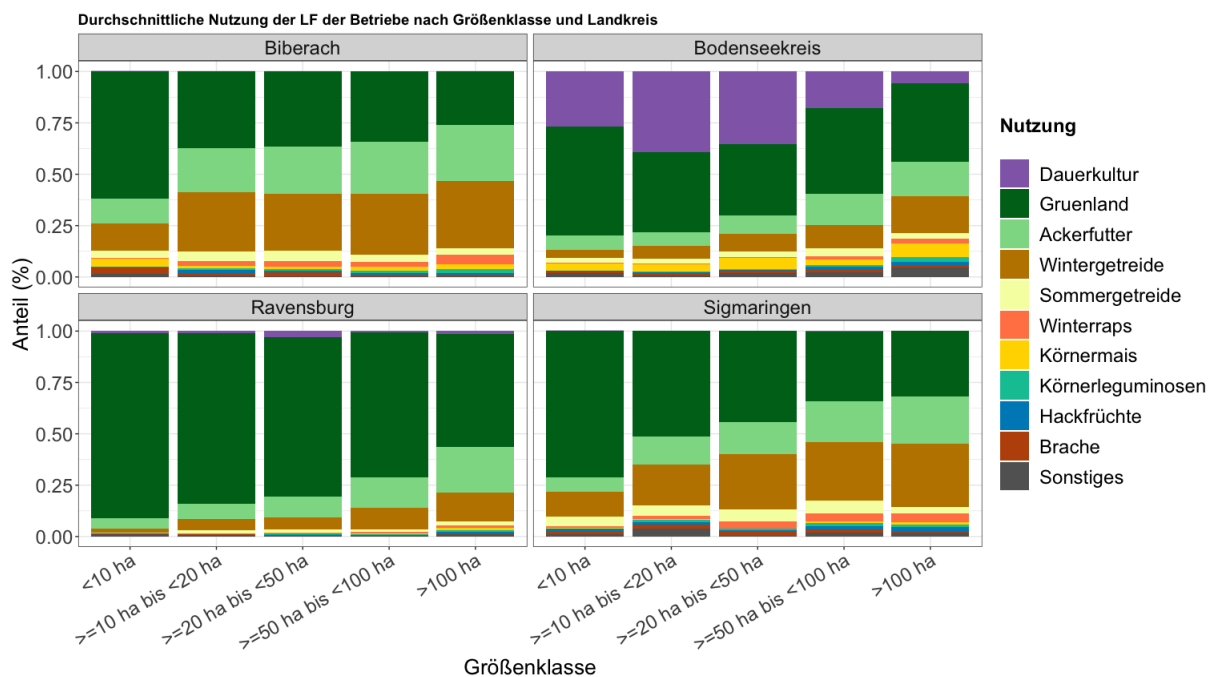


Abbildung 9: Landwirtschaftliche Nutzung nach Landkreis und Betriebsgrößenkategorie (Quelle: GA-Daten 2024)

Grünlandnutzung

Tabelle 11 zeigt die Verteilung der Schnitthäufigkeiten des Grünlands in den vier Landkreisen, differenziert nach organischen und mineralischen Böden. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass Grünland auf organischen Böden nicht extensiver genutzt wird als auf mineralischen. Im Landkreis Sigmaringen ist die Nutzung sogar deutlich intensiver. Dort werden 41 % des Grünlands auf mineralischen Böden höchstens zweimal pro Jahr geschnitten. In allen vier Landkreisen ist der Anteil des Grünlands mit mehr als vier Schnitten auf organischen Böden höher als auf mineralischen. Besonders ausgeprägt ist dieser Unterschied ebenfalls im Landkreis Sigmaringen, so liegt dort der Anteil mit mehr als vier Schnitten auf organischen Böden nahezu doppelt so hoch wie auf mineralischen.

Tabelle 11: Schnitthäufigkeiten des Grünlands auf mineralischen und organischen Böden

Schnitte	Biberach		Bodenseekreis		Ravensburg		Sigmaringen	
	org. Böden	miner. Böden	org. Böden	miner. Böden	org. Böden	miner. Böden	org. Böden	miner. Böden
<= 1	3,1 %	2,9 %	3,2 %	4,6 %	2,0 %	2,3 %	1,8 %	13,5 %
2	23,1 %	22,5 %	21,2 %	23,9 %	19,0 %	17,4 %	13,6 %	27,7 %
3	38,6 %	46,4 %	41,6 %	45,7 %	46,2 %	49,4 %	41,7 %	36,9 %
4	30,1 %	25,0 %	29,8 %	22,6 %	29,6 %	28,2 %	34,9 %	18,9 %
>= 5	5,1 %	3,2 %	4,2 %	3,2 %	3,2 %	2,8 %	8,0 %	3,0 %

Quelle: GA Daten 2024, Schnitthäufigkeiten nach Schwieder et al. (2022)

Um die Bedeutung des Grünlands, insbesondere auf Moorstandorten, in der Untersuchungsregion zu analysieren, wurden die GA-Daten hinsichtlich der Teilnahme an Grünlandmaßnahmen im Rahmen der Öko-Regelung (ÖR) sowie des Agrarumweltprogramms FAKT II ausgewertet. Während sich Landwirte und Landwirtinnen bei Maßnahmen der Öko-Regelungen nur einjährig binden müssen, beträgt die Verpflichtungsdauer bei FAKT II in der Regel fünf Jahre. Die Auswahl der betrachteten Maßnahmen ist in Anhang 2 dargestellt.

In Tabelle 12 zeigt die Ergebnisse der Grünlandanalyse. Diese erklären auch die geringe Schnitthäufigkeit im Landkreis Sigmaringen auf mineralischen Böden. So wurde auf mehr als 36 % und fast 32 % ÖR oder FAKT II-Maßnahmen beantragt. Auf rund 16 % der Grünlandflächen dieses Landkreises kamen sowohl FAKT II- als auch ÖR-Maßnahmen zur Anwendung.

Tabelle 12: Flächenanteile des Grünlands für die im Gemeinsamen Antrag 2024 Maßnahmen im Rahmen der Öko-Regelung oder FAKT II beantragt wurden

	Biberach	Bodenseekreis	Ravensburg	Sigmaringen	Summe
Mineralische Böden					
Fläche insgesamt (ha)	20.933	10.018	49.372	16.931	97.255
	Anteile (%)				
Öko-Reglungen (ÖR)	9,3 %	24,7 %	16,8 %	36,5 %	19,4 %
davon mit mehreren Maßnahmen (mind. 2 ÖR-Maßnahmen)	1,2 %	5,3 %	2,8 %	11,2 %	4,2 %
FAKT II	14,4 %	23,9 %	20,8 %	31,7 %	21,6 %
davon mit mehreren Maßnahmen (mind. 2 Fakt Maßnahmen)	5,1 %	13,2 %	11,3 %	11,6 %	10,2 %
Flächen mit ÖR und FAKT II	3,4 %	10,1 %	7,9 %	15,9 %	8,5 %
D2 Ökologischer Landbau	13,2 %	21,6 %	19,9 %	20,6 %	18,8 %
Organische Böden					
Fläche insgesamt (ha)	3.792	1.364	7.263	3.802	16.221
	Anteile (%)				
Öko-Reglungen (ÖR)	26,2 %	26,9 %	20,7 %	22,0 %	22,8 %
davon mit mehreren Maßnahmen	3,0 %	3,1 %	4,9 %	5,9 %	4,5 %
FAKT II	8,1 %	6,4 %	10,8 %	7,3 %	9,0 %
davon mit mehreren Maßnahmen	0,9 %	2,0 %	3,0 %	1,0 %	2,0 %
Flächen mit ÖR und FAKT II	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
D2 Ökologischer Landbau	6,7 %	5,1 %	9,1 %	6,4 %	7,6 %
Gesamt Grünland					
Fläche insgesamt (ha)	24.725	11.382	56.635	20.733	113.475
	Anteile (%)				
Öko-Reglungen (ÖR)	11,9 %	24,9 %	17,3 %	33,8 %	19,9 %
davon mit mehreren Maßnahmen	1,4 %	5,0 %	3,0 %	10,3 %	4,2 %
FAKT II	13,4 %	21,8 %	19,5 %	27,2 %	19,8 %
davon mit mehreren Maßnahmen	4,4 %	11,8 %	10,2 %	9,7 %	9,0 %
Flächen mit ÖR und FAKT II	2,8 %	8,9 %	6,9 %	13,0 %	7,3 %
D2 Ökologischer Landbau	12,2 %	19,6 %	18,6 %	18,0 %	17,2 %

Betrachtet man das Grünland auf mineralischen Böden, so zeigen sich hinsichtlich der Präferenz für eine Teilnahme an ÖR oder FAKT II keine deutlichen Unterschiede. Bezogen auf die gesamte Untersuchungsregion Oberschwaben ist die Teilnahme weitgehend ausgeglichen. Im Landkreis Ravensburg überwiegen FAKT-Maßnahmen leicht, während im Landkreis Sigmaringen die Teilnahme an den Öko-Reglungen dominiert.

Ein deutlich anderes Bild ergibt sich für Grünlandflächen auf organischen Böden. Hier ist der Flächenanteil mit ÖR gegenüber FAKT II zwei- bis viermal so hoch. Dies erklärt auch die höheren Schnitthäufigkeiten des Grünlands auf organischen Böden (vgl. Tabelle 11). Zudem ist der Anteil der FAKT-Förderung für den ökologischen Landbau (D2) auf Moorstandorten deutlich geringer. Bezogen auf das Grünland insgesamt werden in der Region Oberschwaben durchschnittlich etwa 17 % der Flächen ökologisch bewirtschaftet. Der höchste Anteil findet sich im Bodenseekreis mit knapp 20 %, der niedrigste im Landkreis Sigmaringen mit rund 12 %.

3.2.2 Berechnung des Referenzszenarios

Zu Beginn der Modellrechnungen wird mit beiden ökonomischen Modellen ein Referenzszenario abgebildet, das die optimierte Ist-Situation der landwirtschaftlichen Produktion beschreibt. Dieses Referenzszenario dient sowohl der Validierung der Modelle als auch als Vergleichsbasis zur Quantifizierung der Effekte des Moorschutzszenarios.

Tabelle 13 zeigt hierzu die Modellergebnisse von PALUD und EFEM hinsichtlich der Flächennutzung. Die Validierung erfolgt durch den Vergleich mit den GA-Daten. Wintergetreide nimmt mit einem Anteil von über 40 % den größten Teil der Ackerfläche ein, gefolgt von Ackerfutter (Silomais und Klee gras) mit knapp 39 %. Die verbleibende Fläche verteilt sich auf die übrigen Kulturen, die jeweils Anteile von unter 10 % aufweisen. Die Ergebnisse der beiden ökonomischen Modelle weichen maximal um weniger als 15 % voneinander ab, was im Rahmen vergleichbarer ökonomischer Modellrechnungen liegt.

Tabelle 13: Übersicht der Landnutzung in den GA-Daten und den beiden ökonomischen Modellen.

Kultur	Beobachtete Landnutzung	Modellierte Referenz (REF)	
	GA-Daten 2024 (ha)	PALUD (ha)	EFEM (ha)
Wintergetreide	49.475	43.261	49.475
Sommergetreide	8.650	12.519	9.021
Körnermais	3.686	5.628	3.686
Silomais	36.968	41.822	36.968
Klee gras	9.615	4.536	9.615
Körnerleguminosen	2.333	2.513	2.333
Winterraps	5.878	6.566	5.878
Zuckerrüben	1.231	1.084	1.231
Kartoffeln	606	591	606
Gemüse	1.005	997	-
Energiepflanzen (Silphie)	1.299	1.228	-
Grünland	113.475	113.475	107.195
Ackerfläche	120.746	120.746	118.813
Summe	234.222	234.222	226.008

In der Tierhaltung zeigen die ökonomischen Modelle eine hohe Übereinstimmung mit den Tierzahlen in der Statistik. Hier zeigt sich lediglich im Kreis Ravensburg mit 11 % eine deutliche Abweichung des EFEM-Rindviehbestands zu der Statistik. Dies liegt an der vergleichbar hohen Viehdichte in diesem Kreis zusammen mit einer relativ geringen Ackerfläche. Diese knappe Fläche resultiert in den ökonomischen Modellen zu einem geringeren Umfang der betriebswirtschaftlich weniger vorzüglichen Färsenaufzucht. Bei dem wichtigeren Milchviehbestand liegt der Unterschied bei weniger als 5 % und somit deutlich im Rahmen für die ökonomische Modellierung (Tabelle 14).

Tabelle 14: Rinderbestand in der Untersuchungsregion in GV aus gemäß der HIT-Datenbank zum 03.11.2024 (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2025a) und Werte die in den beiden Ökonomischen Modellen abgebildet werden.

		Statistik	PALUD	EFEM
Biberach	Rinder	54.734	53.881	52.988
	davon Milchkühe	29.386	29.078	29.214
Bodenseekreis	Rinder	13.920	14.118	13.901
	davon Milchkühe	7.467	7.546	7.467
Ravensburg	Rinder	96.968	92.668	87.056
	davon Milchkühe	60.811	60.810	58.205
Sigmaringen	Rinder	23.100	23.410	23.013
	davon Milchkühe	12.537	12.771	12.537
Gesamt	Rinder	188.722	184.077	176.958
	davon Milchkühe	110.201	110.205	107.423

Zur Verifizierung bzw. Validierung des Modells PALUD erfolgte ein Vergleich der Gesamtdeckungsbeiträge im Modell mit in den Buchführungsergebnissen ausgewiesenen Gesamtdeckungsbeiträgen für einzelne Vergleichsgebietsgruppen (VGG) ohne sonstige betriebliche Erträge wie insbesondere Mittel aus der 1. und 2. Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) im Durchschnitt der Wirtschaftsjahre 2022/23, 2023/24 und 2024/25 (LEL, 2025, 2024b, 2023), da diese Periode den Preis- und Kostenannahmen im Modell zugrunde liegt und Mittel aus der GAP in PALUD nicht berücksichtigt werden. Der Landkreis Ravensburg liegt zu einem großen Anteil in der VGG 5 (Allgäu). Für die VGG 5 liegt der veröffentlichte Gesamtdeckungsbeitrag bei 3.175 € je ha LF und damit leicht über dem DB für Ravensburg in Höhe von 3.140 € je ha LF in PALUD. In Sigmaringen liegt der DB in PALUD bei ca. 1.840 € und in Biberach bei ca. 2.385 € je ha LF. Die DB liegen somit in der Größenordnung des für VGG 6 (Oberland/Donau) ausgewiesenen Gesamtdeckungsbeitrags von 2.157 € je ha LF. Im Bodenseekreis liegt der mittlere DB in PALUD bei ca. 2.010 € je ha LF, was etwas niedriger als der für VGG 2 (Rhein/Bodensee) ausgewiesene Gesamtdeckungsbeitrag in Höhe von 2.373 € je ha LF ist. Dies kann unter anderem dadurch erklärt werden, dass der vergleichsweise hohe Anteil von Sonderkulturflächen wie Kern- und Steinobstflächen in PALUD nicht repräsentiert ist. Insgesamt liegen die PALUD Modellergebnisse in der Referenz in einer realistischen Größenordnung, auch hinsichtlich der regionalen Unterschiede in der Untersuchungsregion. Damit kann das Modell im Hinblick auf die Beantwortung der Forschungsfragen als geeignet betrachtet werden.

3.3 Hydrologische Analyse

Hydrologische Klassifizierung der Moorsysteme in BW

Die mittlere langjährige Jahresabflusssumme aus den Moorflächen variiert im Untersuchungsgebiet Oberschwaben beträchtlich zwischen 237 mm/a und 1.237 mm/a. Dabei ist ein klarer Gradient mit Abnahme der Jahresabflusssummen von den Alpen im Südosten Richtung Schwäbische Alb im Nordwesten erkennbar (Abbildung 10). Die lokal gebildeten Gesamtabflüsse geben einen ersten Hinweis auf das Potenzial zur Wiedervernässung der Moorflächen.

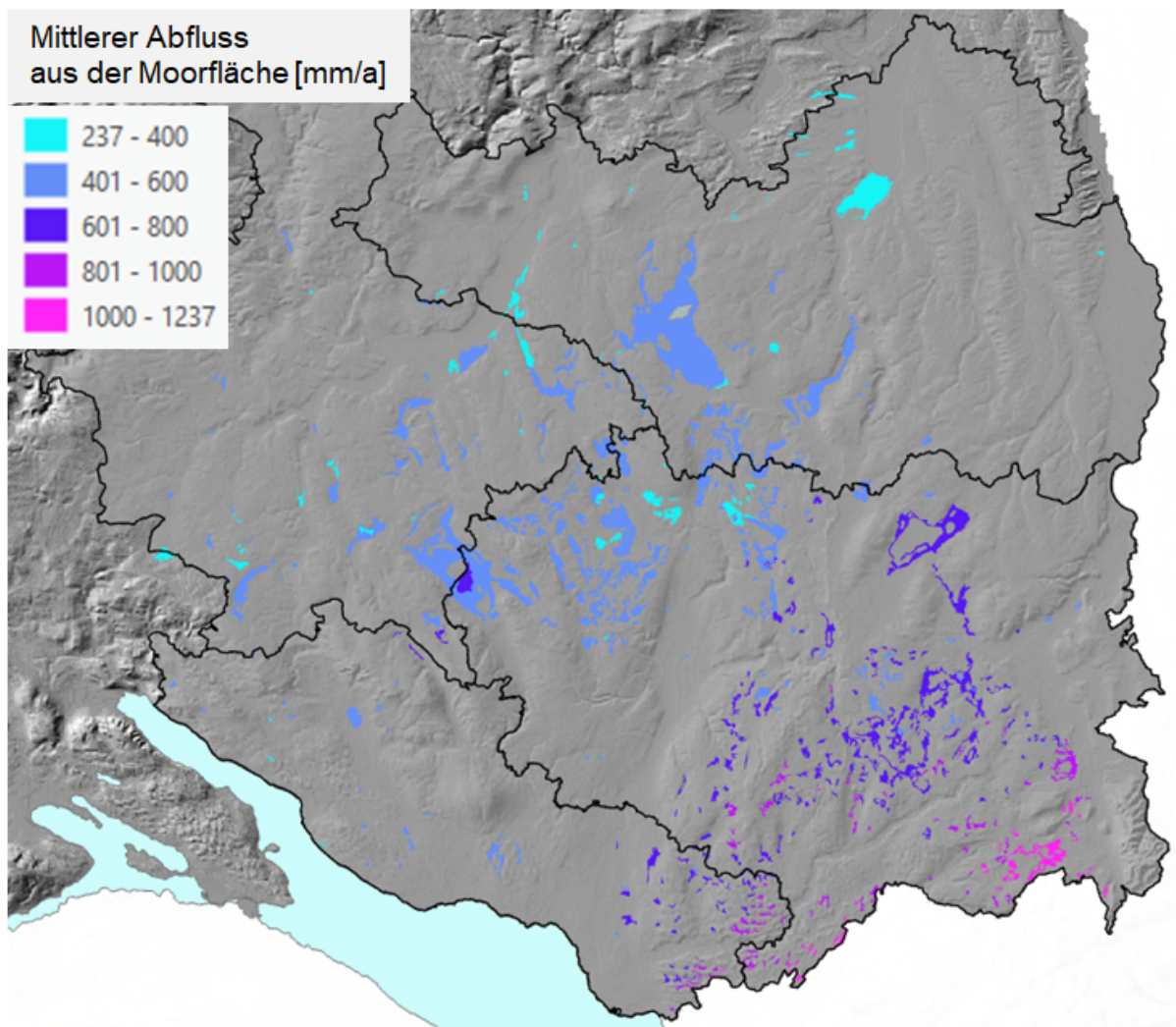


Abbildung 10: Mittlere langjährige Jahresabflusssumme aus den Moorflächen

Die mittleren langjährigen Gesamtabflüsse aus den Einzugsgebieten (Abbildung 11) in denen die Moorflächen liegen repräsentieren nicht nur die lokalen Klimabedingungen der Moorflächen sondern die Bedingungen im gesamten Einzugsgebiet. Außerdem sind die Abflussmengen stark von der Größe der Einzugsgebiete abhängig. Daher ergibt sich ein räumlich eher ungegliedertes Bild. Je größer die Gesamtabflüsse sind, desto mehr Wasser steht potenziell zur Verfügung, um es in die Moorflächen zu leiten.

Im untersuchten Gebiet liegen 95 % der Niedermoorflächen in einem Einzugsgebiet mit einem Gesamtabfluss von >100 l/s und rund 65 % in einem Einzugsgebiet mit einem Gesamtabfluss von >1000 l/s.

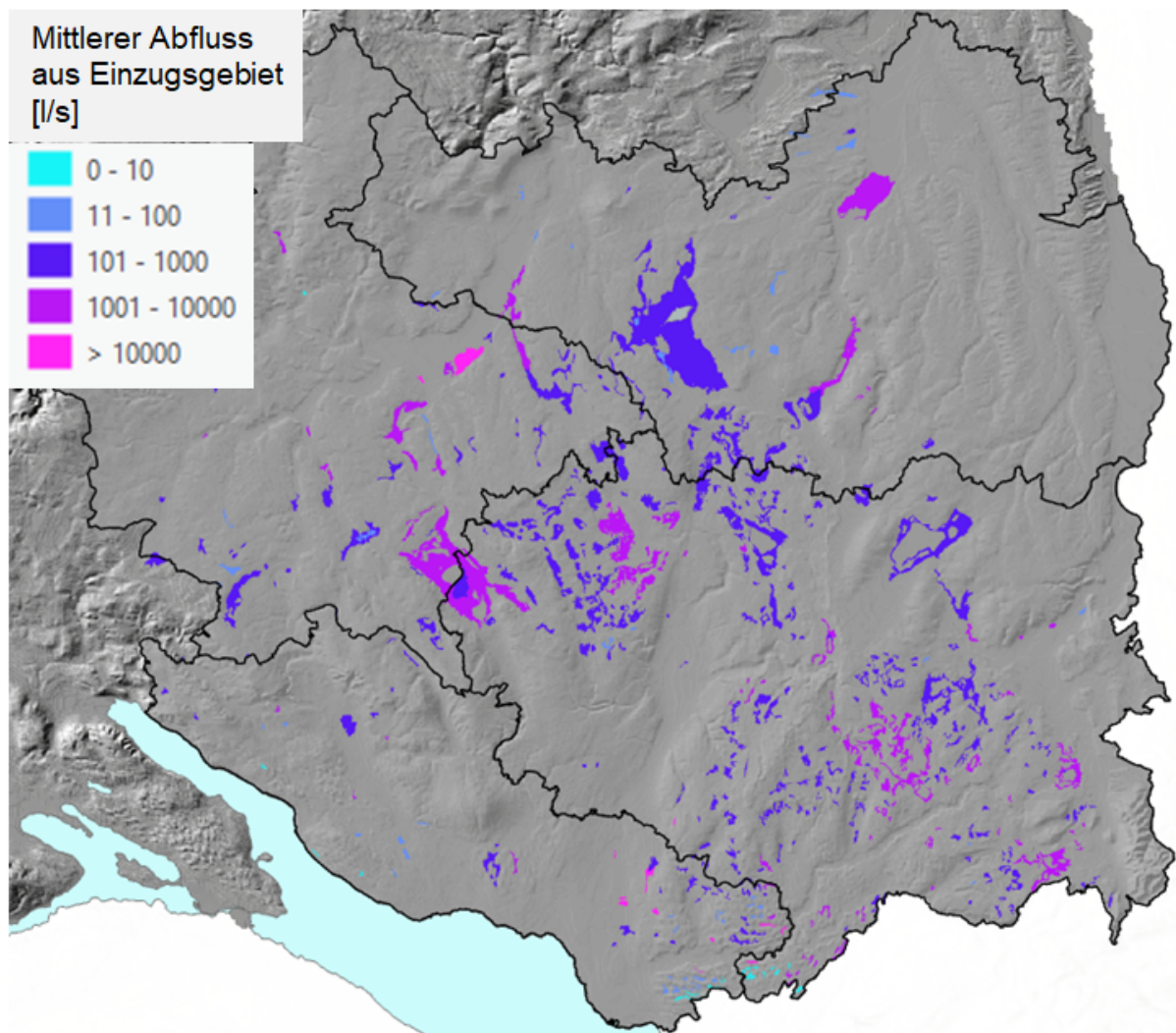


Abbildung 11: Langjähriger mittlerer Gesamtabfluss der hydrologischen Einzugsgebiete, in denen die Moorflächen liegen.

Hydrologische Modellierung der Szenarien (Referenz- und Moorschutzszenario)

Für die beiden Szenarien (Referenz und Moorschutz) wurden für jeden Tag im 11-jährigen Modellzeitraum die Grundwasserflurabstände um 12:00 Uhr ausgegeben. Ein wesentlicher Faktor für den lokalen Wasserhaushalt ist der Abstand der Fläche zur nächsten Drainage bzw. zum nächsten Vorfluter und das damit verbundene Gefälle des Grundwasserspiegels, das sich einstellt. Dies ist beispielhaft für eine Moorfläche in Abbildung 12 dargestellt. Für jeden Julianischen Tag im Jahr wird hier der Mittelwert aus 11 Jahren dargestellt. Die blaue Linie repräsentiert hier die Situation ohne Drainagen (Moorschutzszenario). Der nächste natürliche Vorfluter ist 156 m von der Fläche entfernt. Die rote und die grüne Linie repräsentieren den Zustand mit vorhandenen aktiven Drainagen (Referenzszenario). Einmal (rot) mit einem mittleren Abstand der Drainagen von 50 m und einem damit verbundenen mittleren Abstand von 25 m. Das andere Beispiel (grün) mit einem mittleren Abstand der Drainagen von 10 m und einem damit verbundenen mittleren Abstand von 5 m. Letzteres Beispiel entspricht der Parameterwahl, die für das Referenzszenario gewählt wurde. Für die Drainagen wurde im Beispiel wie auch bei der Modellierung des Referenzszenarios eine Tiefenlage von 1 m angenommen.

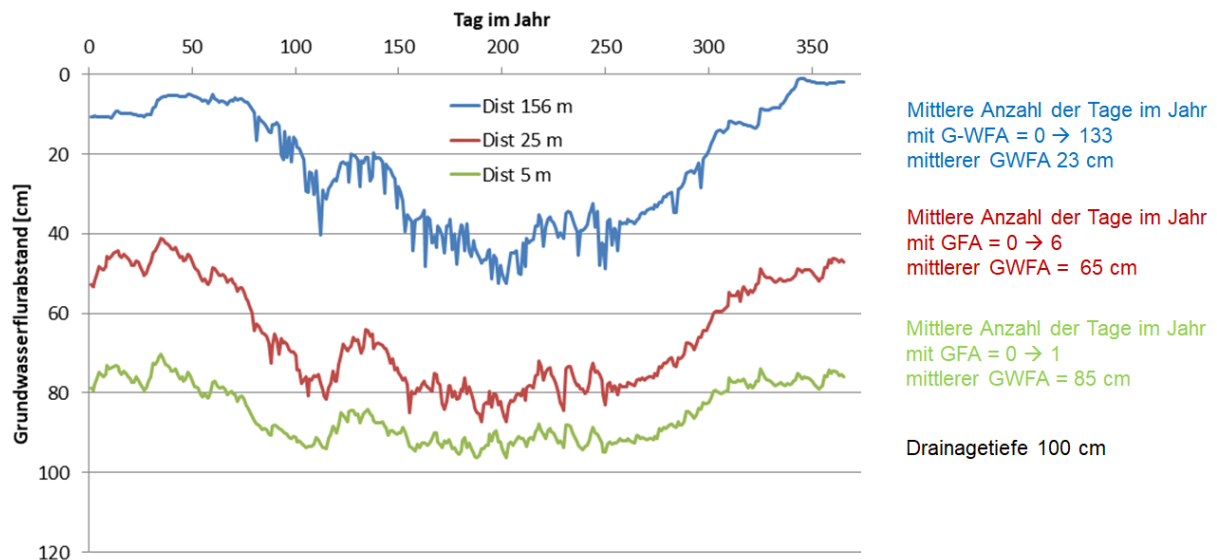


Abbildung 12: 11-Jahres-Mittelwerte des Grundwasserflurabstandes für jeden Tag im Jahr für einen Musterstandort und unterschiedliche Fließdistanzen zum nächsten Vorfluter (blau) bzw. zur nächsten Drainage (rot und grün)

Aufgrund der für die beiden Szenarien (Referenz und Moorschutz) modellierten Grundwasserflurabstände können bei Kenntnis der aktuellen Landnutzung CO_2 -Emissionen und CO_2eq aus CH_4 -Emissionen errechnet werden (Anhang 1). Die Differenz der Emissionen zwischen den Szenarien wird als Potenzial zur Reduktion von THGE durch Wiedervernässung betrachtet. Die Wirkung einer Grundwassererhöhung ist dabei umso höher, je weiter diese in den relevanten Tiefenbereich über einen Grundwasserflurabstand von 60 cm unter der Torfoberkante reicht (Anhang 1).

In Abbildung 13 sind die Flächenanteile der modellierten Grundwasserflurabstände für die beiden Szenarien in Prozent der gesamten untersuchten Moorfläche in Oberschwaben dargestellt. Für das Moorschutzszenario fällt der größte Anteil der Flächen auf mittlere jährliche Grundwasserflurabstände geringer als 50 cm. Etwa 35 % sogar unter 20 cm. Beim Referenzszenario, mit angenommenen Drainagen fallen 95 % der Flächen auf Grundwasserflurabstände größer 50 cm. Ab dieser Tiefe wird das Maximum der CO_2 -Emissionen erreicht (Anhang 1). Abbildung 14 zeigt die räumliche Verteilung der mittleren jährlichen Grundwasserflurabstände für das Moorschutzszenario. Die räumliche Verteilung des Referenzszenarios wird nicht dargestellt, da hier fast alle Flächen in eine Klasse fallen.

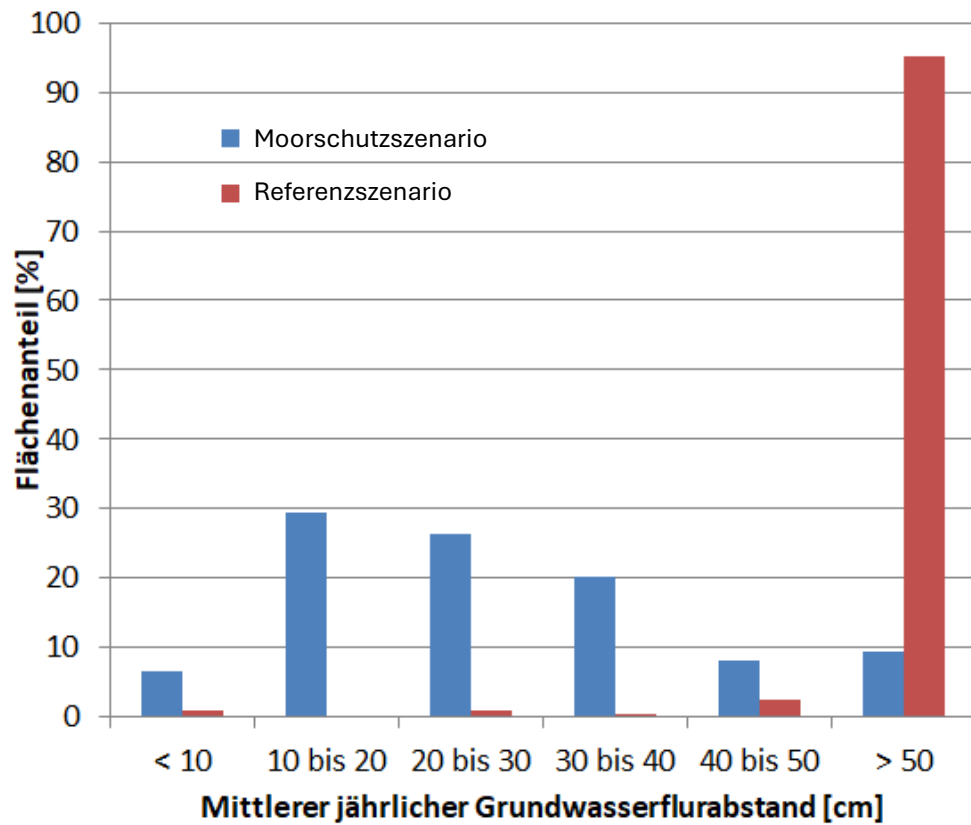


Abbildung 13: Flächenanteile der Moorflächen an der Gesamtfläche der untersuchten Moorflächen für Klassen der modellierten mittleren Grundwasserflurabstände für die das Moorschutz- und das Referenzszenario. Die Grundwasserflurabstände beziehen sich auf die Oberfläche der Torflagen

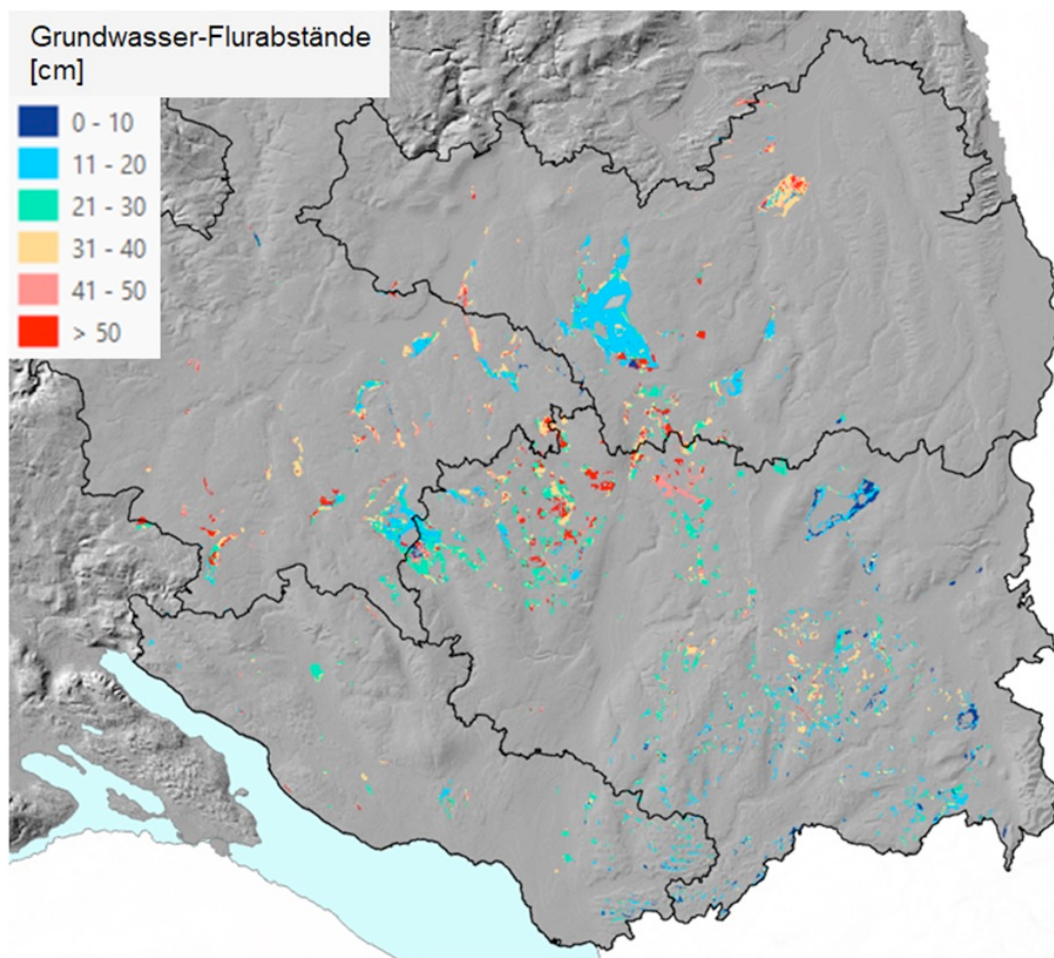


Abbildung 14: Räumliche Verteilung der mittleren jährlichen Grundwasserflurabstände bezogen auf die Oberkante der Torf-Lage für das Moorschuttszenario

Einfluss des Klimawandels auf das Potenzial zur Wiedervernässung

Um die mögliche Auswirkung des Klimawandels auf das Potenzial zur Wiedervernässung der Moorflächen und der damit verbundenen Reduzierung der CO₂-Emissionen bewerten zu können wurden zunächst die Änderungen des Gesamtabflusses betrachtet die sich aus verschiedenen Kombinationen von globalen und regionalen Klimamodellen für das RCP8.5 Szenario ergeben. Dazu wurde auf Modellergebnisse des Projektes ASG-Rhein für das Bodensee-Einzugsgebiet in Oberschwaben zurückgegriffen (siehe Kapitel 2.3). Abbildung 15 zeigt die Änderung des Gesamtabflusses im Bodensee-Einzugsgebiet in Oberschwaben der zukünftigen Periode 2017-2100 im Vergleich zur Periode 1981-2010 für sieben Kombinationen von globalen und regionalen Klimamodellen. Die globalen Klimamodelle CanESM, ICHEC, MIROC, MPI-M und IPSL treiben jeweils verschiedene regionale Modelle an (Stahl et al., 2022).

Es zeigt sich eine beträchtliche Variation der Tendenzen der Änderung des Gesamtabflusses aus den Ergebnissen der Klimamodelle. Sowohl Zunahmen des Abflusses als auch Abnahmen werden simuliert. Der Vergleich mit der Variation der Abflüsse im 11-jährigen Modellzeitraum unseres Projektes (Abbildung 16) zeigt zudem, dass die zwischenjährliche Variabilität des Gesamtabflusses der modellierten Moorflächen deutlich höher ist als die Variabilität der Abflüsse aus den Klima-Szenarien. Da die Klimaprojektionen keinen einheitlichen Trend ergeben und

die zwischenjährliche Varianz der Abflüsse aus den Moorflächen im Modellzeitraum deutlich über der aus den Klimaänderungsszenarien liegt, kann davon ausgegangen werden, dass der Klimawandel keinen signifikanten Einfluss auf künftige Wiedervernässungsprojekte hat, sondern einzelne Extremjahre einen größeren Einfluss haben werden. Aus den Ergebnissen der Klimamodelle kann keine eindeutige Tendenz abgeleitet werden, die als Grundlage für eine weitere Modellierung eines Moorschutzszenarios der Zukunft gerechtfertigt wäre.

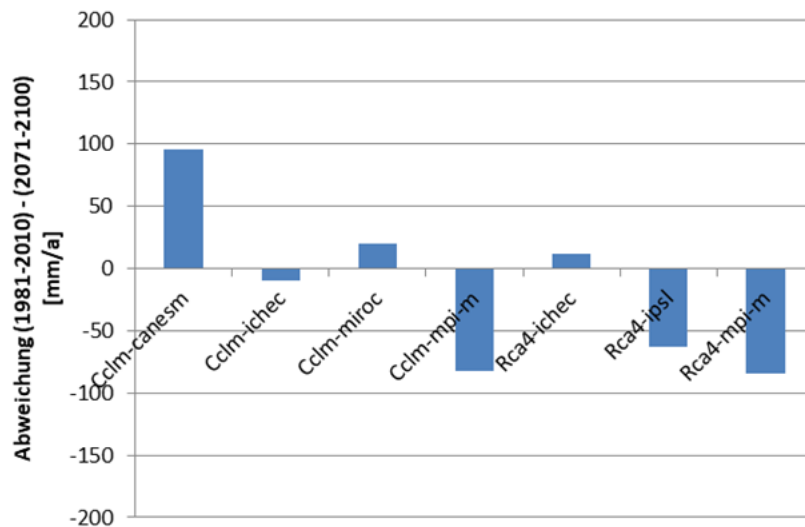


Abbildung 15: Änderung des Gesamtabflusses im Bodenseeinzugsgebiet in Oberschwaben der zukünftigen Periode 2017-2100 im Vergleich zur Periode 1981-2010 für sieben Kombinationen von globalen und regionalen Klimamodellen

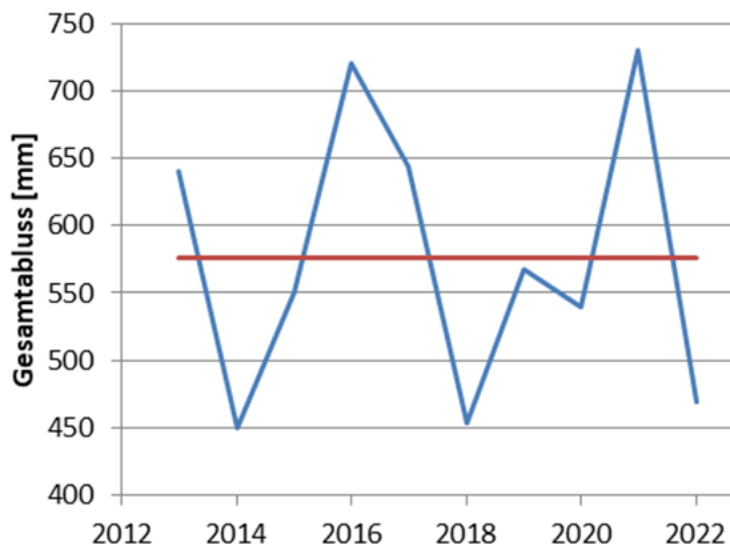


Abbildung 16: Mittlere Jahres-Gesamtabflüsse aus allen modellierten Moorflächen

Diskussion der hydrologischen Analyse

Aus hydrologischer Sicht besteht erhebliches Potenzial zur Wiedervernässung von Niedermoorflächen und damit zur Reduktion von Treibhausgasen in der Region Oberschwaben. Für rund 50 % der modellierten Flächen konnten für das Moorschutzszenario mittlere langjährige Grundwasserflurabstände von unter 30 cm ausgegeben werden. Darüber hinaus liegt die Mehrzahl (65 %) der Niedermoorflächen in Einzugsgebieten mit einem mittleren jährlichem

Gesamtabfluss von >1000 l/s. 95 % liegen in einem Einzugsgebiet mit einem mittleren jährlichem Gesamtabfluss von >100 l/s. Damit ist erhebliches Potenzial vorhanden bei geeigneter Lage zum Gewässer den Flächen Wasser zuzuführen. Die hydrologischen Untersuchungen erfolgten nicht nur für Niedermoorflächen unter landwirtschaftlicher Nutzung, sondern für alle Niedermoorflächen. Da z. B. unter Wald möglicherweise keine oder weniger Drainagen liegen als für das Referenzszenario angenommen, ist hier das Potenzial durch Rückbau von Drainagen womöglich geringer oder schon ausgeschöpft. Das gilt auch für Moorflächen für die bereits Maßnahmen zur Wiedervernässung durchgeführt wurden oder in Planung sind.

3.4 Wiedervernässungs- und Treibhausgasminderungspotenzial für die ausgewählte Untersuchungsregion

3.4.1 Beschreibung des Moorschutzszenarios

Basierend auf den Ergebnissen der boden-hydrologischen Analyse sind in der Untersuchungsregion ca. 12.545 ha entwässerte und aktuell als Ackerland bzw. Grünland genutzte Moorfläche potenziell wiedervernässbar (Tabelle 15). Neben der Auswahl von zusammenhängenden Moorflächen von über 5 ha Größe wurden auch nur Flächen mit geeignetem Bodenmaterial im Moorschutzszenario einbezogen. So wurden beispielsweise Flächen mit geringmächtigen und/oder schon stark zersetzten Torfhorizonten bzw. vererdete Moorbildungen ausgeschlossen. Bei den berücksichtigten Moorflächen handelt es sich zu mehr als 90 % um Grünland, wovon ca. 20 % eher extensiv (1 bis 2 Schnitte pro Jahr) und weitere ca. 50 % mit einer mittleren Schnittintensität von 3 Schnitten pro Jahr aufweisen. Weniger als 5 % werden mit mehr als 4 Schnitten pro Jahr vergleichsweise intensiv genutzt (vgl. Tabelle 11). Die wiedervernässbaren Ackerflächen weisen gemäß der oben beschriebenen Klassifizierung der Ertragsfähigkeit der Flächen zu knapp 75 % ein geringes Ertragspotenzial auf und nur ca. 14 % entfallen auf ein hohes Ertragspotenzial. Das berechnete maximale THGE-Minderungspotenzial auf den Moorflächen durch Reduktion der CO₂, CH₄ und N₂O-Emissionen beläuft sich dabei auf ca. 282.333 t CO₂eq (Vergleich Referenz- zu Moorschutzszenario). Dabei sind potenzielle Einsparungen in anderen Bereichen wie dem Vorleistungssektor nicht berücksichtigt, z. B. Einsparungen bei der Herstellung von Mineraldüngemitteln.

Tabelle 15: *Potenziell wiedervernässbare Acker- und Grünlandfläche sowie des maximale Treibhausgasemissionsminderungspotenzial*

Landkreis	Wiedervernässbare landwirtschaftlich genutzte Moorfläche			Gesamte potenzielle THGE-Reduktion (t CO ₂ eq)
	Grünland + Ackerland (ha)	Ackerland (ha)	Grünland (ha)	
Biberach	3.218	423	2.795	72.187
Bodenseekreis	761	90	671	17.356
Ravensburg	6.036	417	5.619	138.135
Sigmaringen	2.530	194	2.336	54.655
Summe	12.545	1.124	11.421	282.333

Im Moorschutzszenario werden mit Hilfe des Modells PALUD die erzielbare THGE-Reduktion auf den Moorflächen durch Moorwiedervernässung, d. h. in Bezug auf die oben genannte maximale Reduktion, bei THGE-Vermeidungskosten zwischen 10 € und 200 € je t CO₂eq kalkuliert sowie die ökonomischen und agronomischen Effekte auf Regionsebene bzw. für unterschiedliche Betriebstypen abgeleitet. Aus methodischer Sicht entspricht diese Integration einer Prämie für jede durch Moorwiedervernässung vermiedene t CO₂eq auf den Moorflächen, durchschnittlichen THGE-Vermeidungskosten und wird im Folgenden auch so benannt. In der modellierten Referenzsituation (REF) beträgt die Prämie 0 € je t CO₂eq. Da im Rahmen der modellbasierten Analyse ein großflächige Moorwiedervernässung auf regionaler Ebene betrachtet wird und auf dieser Skala bisher keine wirtschaftlich tragfähigen alternativen Nutzungskonzepte existieren, wurde angenommen, dass auf den Moorflächen keine weitere wirtschaftlich orientierte Nutzung mehr stattfindet bzw. die Flächen für den Naturschutz überlassen werden. Es wurde somit ein Deckungsbeitrag von 0 €/ha angesetzt.

PALUD berücksichtigt neben der standortspezifischen möglichen THGE-Reduktion auf den Moorflächen auch die räumliche Konfiguration der Moorflächen. Die wiedervernässbare Moorfläche von 12.545 ha in der gesamten Untersuchungsregion verteilt sich auf insgesamt 575 einzelne zusammenhängende Moorflächen. Diese jeweils zusammenhängenden Moorflächen können aus hydrologischer Sicht entweder nur vollständig oder gar nicht wiedervernässt werden, was im Modell PALUD berücksichtigt wird. Hier gibt es Unterschiede zwischen den Landkreisen. Während beispielsweise im Bodenseekreis knapp 80 % der Moorflächen eine Fläche von weniger als 25 ha aufweisen, sind in Biberach etwa 70 % der Moorflächen größer als 50 ha und sogar ca. 54 % der Flächen größer als 100 ha (Tabelle 16).

Tabelle 16: Übersicht über die Größe der zusammenhängenden Moorflächen in den Landkreisen

Größe der zusammenhängenden Moorflächen	Anteil an der gesamten wiedervernässbaren landwirtschaftlich genutzten Moorfläche			
	Biberach	Bodenseekreis	Ravensburg	Sigmaringen
< 5 ha	1,7	11	4,1	1,7
>= 5 ha bis < 10 ha	5,0	23,1	10,1	7,4
> =10 ha bis < 25 ha	12,0	44,7	15,8	15,4
>= 25 ha bis < 50 ha	10,8	6,5	15,6	16,1
>= 50 ha bis < 100 ha	16,4	0	9	8,2
>= 100 ha	54,0	14,8	45,4	51,1

Da PALUD zwar die einzelbetriebliche Ebene abbildet, aber vor allem die Tierhaltung bzw. Fütterung vergleichsweise vereinfacht integriert ist, dient das Modell EFEM zur näheren Analyse der ökonomischen Effekte auf der Ebene einzelner Betriebe.

Als Basis für die Analyse des Moorschutzszenarios mit EFEM dient ebenfalls die wiedervernässbare Fläche aus der hydrologischen Analyse (AP3). In EFEM werden diese Moorflächen für die Modellierungen der Kreishöfe auf Kreisebene aggregiert. Für die Beispielbetriebe

wurde der GA-Datensatz, der in PALUD verwendet wird, als Grundlage genommen. Somit sind die Flächen existierenden Beispielbetrieben zugeordnet worden. Diese Flächen werden im Moorschutzszenario in EFEM aus der Produktion genommen. Anschließend wird mit dem LP-Ansatz die Anbauverteilung und die Tierhaltung mit dieser geringeren Flächenausstattung neu im Hinblick auf den betrieblichen Gesamtdeckungsbeitrag optimiert.

3.4.2 Darstellung der PALUD Ergebnisse

Abbildung 17 zeigt die Summe der wiedervernässten landwirtschaftlich genutzten Moorfläche in den vier Landkreisen in Abhängigkeit der THGE-Vermeidungskosten, welcher der im Modell implementierten Prämie je t reduzierter CO₂eq in Bezug auf die THGE der Moorflächen entsprechen. In Bezug auf die gesamte Untersuchungsregion werden zu 70 € je t CO₂eq etwa 48 % der Moorflächen wiedervernässt bzw. ca. 50 % des THGE-Minderungspotenzials ausgeschöpft.

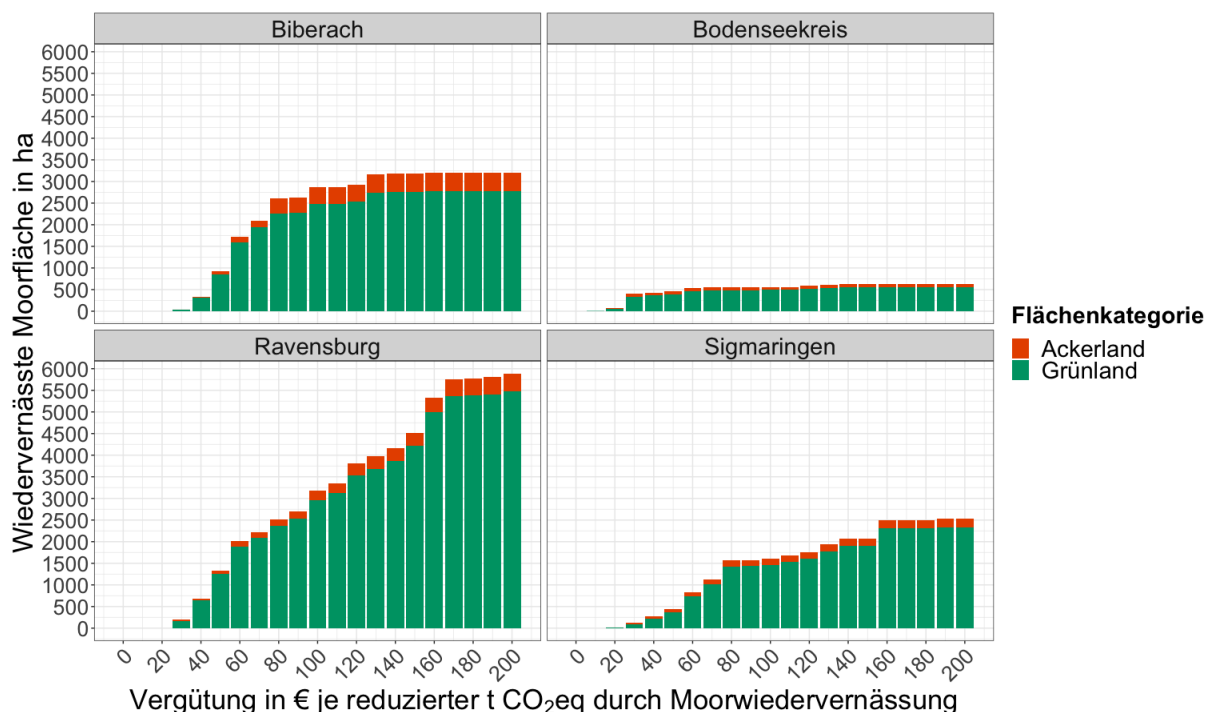


Abbildung 17: Übersicht über die wiedervernässte Moorfläche in ha im Moorschutzszenario nach Landkreis und in Abhängigkeit der im Modell implementierten Prämie bzw. Vergütung in € je t reduzierter CO₂eq auf den Moorflächen

Die Verläufe der THGE-Vermeidungskostenkurven auf Ebene der gesamten Untersuchungsregion bzw. der vier Landkreise entsprechen einer Sättigungskurve (Abbildung 18). Ab 160 € je t CO₂eq findet in der Untersuchungsregion nur noch eine geringe Zunahme der THGE-Minderung statt. Die weitere Zunahme ist vor allem auf den Landkreis Ravensburg zurückzuführen, wo etwa die Hälfte aller potenziell wiedervernässbaren Moorflächen liegen.

Es sind somit deutliche regionale Disparitäten zwischen den Landkreisen zu erkennen. Während im Bodenseekreis schon bei THGE-Vermeidungskosten von 30 € je t CO₂eq bereits knapp 53 % der Moorflächen wiedervernässt bzw. 55 % des THGE-Minderungspotenzials ausgeschöpft sind, findet zu diesem Preis in den anderen Landkreisen kaum eine Wiedervernässung statt (z. B. nur ca. 3 % der Moorflächen in Ravensburg). Zur Wiedervernässung

von etwa der Hälfte der wiedervernässbaren Moorflächen liegt der notwendige CO₂-Preis in Biberach bei ca. 60 €, in Ravensburg bei ca. 100 € und in Sigmaringen zwischen 70 und 80 € je t CO₂eq. In Biberach und dem Bodenseekreis werden bei THGE-Vermeidungskosten von mehr als 130 € je t CO₂eq kaum noch zusätzliche Flächen wiedervernässt.

In diesem Kontext sind auch deutliche steigende Grenzkosten je zusätzlicher t CO₂eq bzw. zusätzlichem Hektar wiedervernässter Moorfläche erkennbar. Die durchschnittlichen Kosten liegen so beispielsweise zwischen 40 % und 50 % Realisation des maximalen THGE-Minderungspotenzials bei ca. 1.600 € je ha und zwischen 97 % und 98 % Realisation des Wiedervernässungspotenzials bei ca. 4.400 € je ha zusätzlicher wiedervernässter Moorfläche.

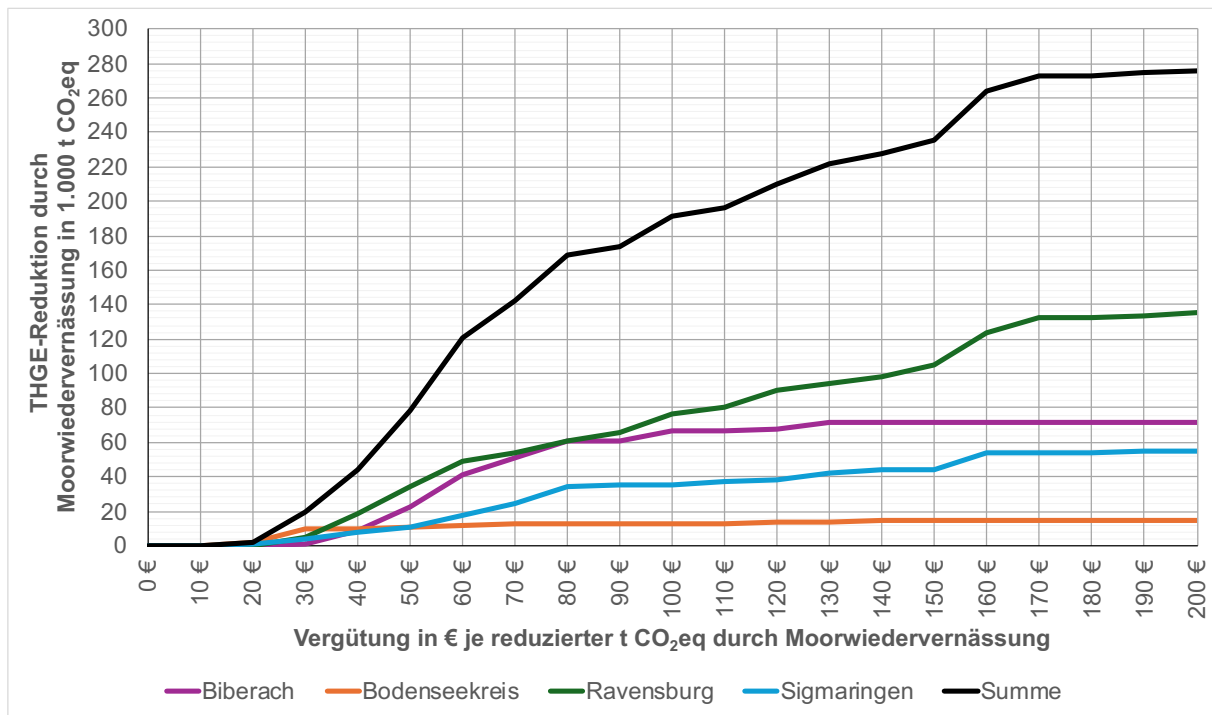


Abbildung 18: Darstellung der THGE-Reduktion durch Moorwiedervernässung in Abhängigkeit der im Modell implementierten Prämie bzw. Vergütung in € je t reduzierter CO₂eq auf den Moorflächen in der gesamten Untersuchungsregion sowie in den einzelnen Landkreisen

Abbildung 19 zeigt die durchschnittliche Größe der wiedervernässten zusammenhängenden landwirtschaftlich genutzten Moorflächen. Tendenziell werden bei niedrigen THGE-Vermeidungskosten zunächst kleinere zusammenhängenden Moorflächen wiedervernässt. Der Bodenseekreis bildet dabei eine Ausnahme, da die Moorflächen wie oben beschrieben vergleichsweise klein sind. Die steigenden Kosten können dadurch erklärt werden, dass bei größeren Moorfläche tendenziell auch mehr Betriebe involviert sind und dementsprechend auch Betriebe mit vergleichsweise hohen Opportunitätskosten ihre Flächen aufgeben müssen, um die Wiedervernässung zu realisieren.

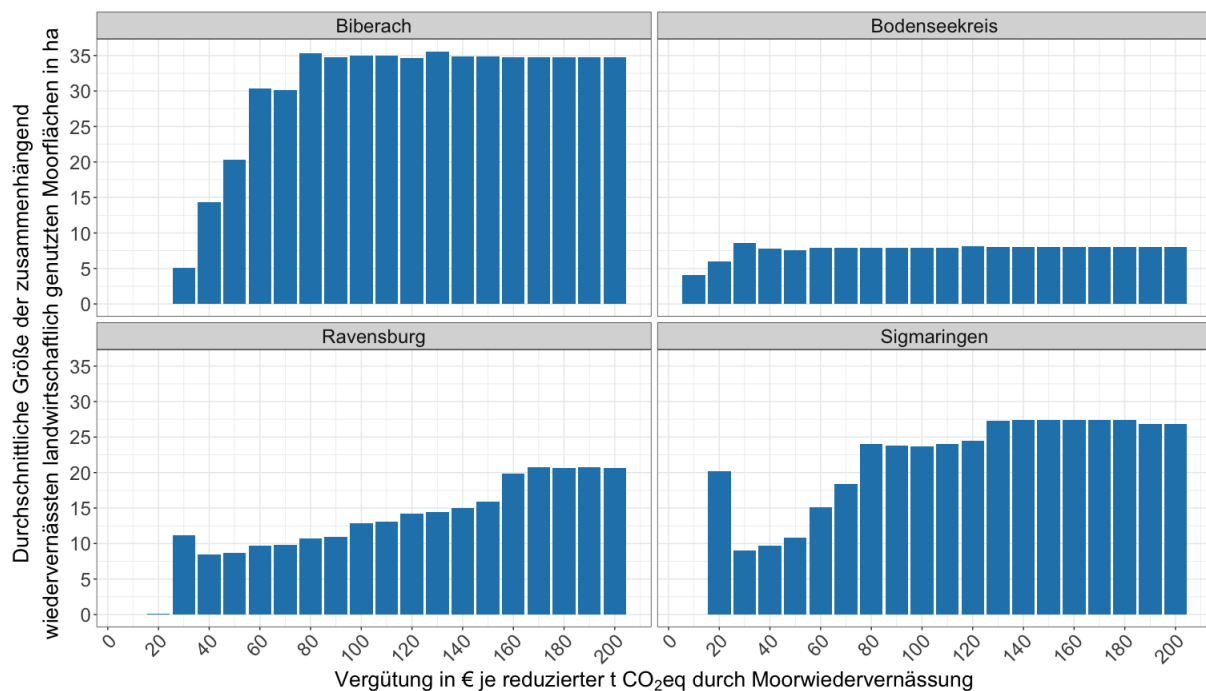


Abbildung 19: Darstellung der durchschnittlichen Größe der zusammenhängenden wiedervernässten Moorflächen in Abhängigkeit der THGE-Vermeidungskosten bzw. der im Modell inkludierten Prämie je t reduzierter CO₂eq nach Landkreis

Da auf regionaler Ebene knapp 50 % der Flächen für 70 € je t CO₂eq und knapp 100 % bei 200 € je t CO₂eq wiedervernässt werden, werden im Folgenden jeweils die Veränderungen der Anbaustrukturen, der Viehhaltung und der Biogasproduktion bei diesen beiden Preisen detailliert dargestellt.

Im Zuge der Moorwiedervernässung kommt es zu einer leichten Verschiebung der Anbaustrukturen (Tabelle 17). Bei CO₂-Prämien bzw. THGE-Vermeidungskosten von 200 € je t CO₂eq sind beispielsweise Rückgänge der Anbauumfänge von Wintergetreide (-3,8 %), Körnermais (-6,0 %), Winterraps (-8,1 %) sowie Körnerleguminosen (-11,5 %) zu beobachten. Im Gegenzug nehmen die Anbaufläche von Klee gras um ca. 14 % und von Silomais um ca. 3 % zu. Die fehlende Futter- bzw. Biogassubstratproduktion auf den wiedervernässten Grünlandflächen wird somit zu einem gewissen Grad durch den zunehmenden Anbau von Ackerfutter kompensiert. Insbesondere der Anbau von Kulturen für den Verkauf wird somit eingeschränkt. Beispielsweise dient Körnermais in der Referenz lediglich zu Verkaufszwecken und findet keinen Einsatz in der Rinderfütterung.

Tabelle 17: Darstellung der Flächenumfänge der landwirtschaftlichen Nutzung nach Kultur bzw. Umfang der wiedervernässten Moorfläche in der Referenz (REF) sowie bei THGE-Vermeidungskosten von 70 € und 200 € je t CO₂eq

Kultur	REF	70 € je t CO ₂ eq		200 € je t CO ₂ eq	
	Fläche in ha	Fläche in ha	Veränderung zu REF	Fläche in ha	Veränderung zu REF
Wintergetreide	43.261	42.445	-1,9 %	41.637	-3,8 %
Sommergetreide	12.519	12.480	-0,3 %	12.293	-1,8 %
Körnermais	5.628	5.402	-4,0 %	5.289	-6,0 %
Silomais	41.822	42.761	2,2 %	43.161	3,2 %
Kleegras	4.536	4.722	4,1 %	5.186	14,3 %
Körner-					
Leguminosen	2.513	2.386	-5,1 %	2.225	-11,5 %
Winterraps	6.566	6.226	-5,2 %	6.033	-8,1 %
Zuckerrüben	1.084	1.084	0,0 %	1.074	-1,0 %
Kartoffeln	591	591	-0,1 %	590	-0,1 %
Gemüse	997	997	0,0 %	997	0,0 %
Energiepflanzen					
(z. B. Silphie)	1.228	1.181	-3,8 %	1.162	-5,4 %
Grünland	113.475	107.952	-4,9 %	102.319	-9,8 %
Wiedervernässte					
Moorfläche	0	5.995	-	12.255	-
Summe	234.222	234.222	-	234.222	-

Auf regionaler Ebene nehmen die Anzahl der Rinder bzw. Milchkühe selbst bei fast vollständiger Realisation des Wiedervernässungspotenzials lediglich in geringem Umfang ab (Tabelle 18). Die Zahl der Rinder in GV sinkt um maximal ca. 4 % und die Zahl der Milchkühe um maximal ca. 3 %. Dabei ist auffallend, dass bis zur Realisation von etwa der Hälfte des Wiedervernässungspotenzials bei 70 € je t CO₂eq vor allem die Zahl der Mastbullen abnimmt und die Zahl der Milchkühe nahezu konstant bleibt bzw. nur um knapp 0,4 % abnimmt.

Auch an dieser Stelle sind wiederum regionale Disparitäten zu erkennen. So liegt die relative Reduktion der Rinderzahlen in den Landkreisen Ravensburg und Sigmaringen deutlich höher als in den Landkreisen Biberach und Bodenseekreis. Dies steht auch im Einklang mit den höheren THGE-Vermeidungskosten zur Wiedervernässung von etwa 50 % der Moorflächen in Ravensburg und Sigmaringen im Vergleich zum Bodenseekreis und Biberach.

Tabelle 18: Übersicht über die Anzahl der Rinder bzw. Milchkühe in der Referenz sowie deren Veränderung im Moorschutzszenario bei THGE-Vermeidungskosten von 70 € bzw. 200 € je t CO₂eq

Landkreis / Anzahl Rinder bzw. Milchkühe in GV	Szenario bzw. THGE-Vermeidungskosten						
	REF		70 € je t CO ₂ eq		200 € je t CO ₂ eq		
	Anzahl GV	Anzahl GV	Absolute Veränderung Zu REF	Relative Veränderung Zu REF	Anzahl GV	Absolute Veränderung Zu REF	Relative Veränderung Zu REF
Biberach							
Rinder gesamt (GV)	53.881	53.520	-361	-0,7 %	53.089	-792	-1,4 %
Milchkühe	29.078	28.859	-219	-0,8 %	28.584	-494	-1,7 %
Bodenseekreis							
Rinder gesamt (GV)	14.118	14.052	-67	-0,5 %	13.995	-124	-0,9 %
Milchkühe (GV)	7.546	7.527	-20	-0,3 %	7.487	-60	-0,8 %
Ravensburg							
Rinder gesamt (GV)	92.668	89.458	-3.210	-3,5 %	86.780	-5.888	-6,1 %
Milchkühe	60.810	60.678	-131	-0,2 %	58.774	-2.036	-3,3 %
Sigmaringen							
Rinder gesamt (GV)	23.410	23.299	-111	-0,5 %	22.543	-867	-3,8 %
Milchkühe (GV)	12.771	12.713	-57	-0,4 %	12.213	-558	-4,4 %
Summe							
Rinder gesamt (GV)	184.077	180.328	-3.749	-2,0 %	176.406	-7.671	-4,1 %
Milchkühe (GV)	110.205	109.777	-428	-0,4 %	107.058	-3.147	-2,9 %

Durch die Moorwiedervernässung ergeben sich lediglich geringe Auswirkungen auf den Betrieb der Biogas- bzw. Biomethananlagen in der Untersuchungsregion (Tabelle 19). Die Wiedervernässung von knapp der Hälfte der Moorflächen bei CO₂-Prämien bzw. THGE-Vermeidungskosten von 70 € je t CO₂eq hat weder auf die Stromerzeugung in kWh pro Jahr noch auf die Umsätze der Anlagen einen Effekt. Lediglich bei Ausschöpfung von fast 100 % des Wiedervernässungspotenzials und THGE-Vermeidungskosten von 200 € je t CO₂eq ergeben sich Auswirkungen auf die Produktion bzw. die Umsätze, allerdings nur im Landkreis Ravensburg. In Ravensburg geht die Stromerzeugung um knapp 2 % und der Umsatz um ca. 1,3 % zurück. In den anderen Landkreisen sind keine Auswirkungen erkennbar und somit sind die Effekte auf Ebene der Untersuchungsregion insgesamt eher marginal. Vor diesem Hintergrund ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei der Analyse der Effekte auf die Rinderhaltung, wo im Landkreis Ravensburg ebenfalls die größten Rückgänge der Anzahl an GV zu verzeichnen waren. Die klaren regionalen Disparitäten können anhand des Anteils der wiedervernässbaren LF, der Viehbesatzdichte sowie der installierten Leistung der Biogas- und Biomethananlagen bzw. deren durchschnittlichen Substratanteilen erklärt werden. So liegt der Anteil der wiedervernässbaren LF im Landkreis Ravensburg mit ca. 7,3 % deutlich über dem Durchschnitt der Region von ca. 5,4 % und dem Anteil im Bodenseekreis von ca. 3,4 %. Zudem liegt die Viehbesatzdichte in Ravensburg in der Referenz mit ca. 1,1 GV je ha LF ebenfalls über dem Durchschnitt

der Region von ca. 0,8 GV je ha LF. Die installierte Leistung der Biogas- und Biomethananlagen liegt in Ravensburg mit ca. 0,36 kW je ha LF im Vergleich zum Bodenseekreis mit ca. 0,20 kW je ha LF ebenfalls hoch.

Tabelle 19: Übersicht über die Stromerzeugung bzw. die Umsatzerlöse der Biogas- und Biomethananlagen in der Referenz sowie deren Veränderung im Moorschutzszenario bei THGE-Vermeidungskosten von 70 € bzw. 200 € je t CO₂eq

Landkreis / Stromerzeugung bzw. Umsatz der Biogas- und Biomethananlagen	Szenario bzw. THGE-Vermeidungskosten				
	REF	70 € je t CO ₂ eq		200 € je t CO ₂ eq	
	Wert	Wert	Relative Veränderung zu REF	Wert	Relative Veränderung zu REF
Biberach					
Stromerzeugung in 1.000 kWh a ⁻¹	297.765,1	297.765,1	0,0 %	297.765,1	0,0 %
Umsatz in 1.000 € a ⁻¹	67.853,3	67.853,3	0,0 %	67.853,3	0,0 %
Bodenseekreis					
Stromerzeugung in 1.000 kWh a ⁻¹	39.857,8	39.857,8	0,0 %	39.857,8	0,0 %
Umsatz in 1.000 € a ⁻¹	8.802,8	8.802,8	0,0 %	8.802,8	0,0 %
Ravensburg					
Stromerzeugung in 1.000 kWh a ⁻¹	247.364,5	247.364,5	0,0 %	242.628,6	-1,9 %
Umsatz in 1.000 € a ⁻¹	55.094,4	55.094,4	0,0 %	54.385,3	-1,3 %
Sigmaringen					
Stromerzeugung in 1.000 kWh a ⁻¹	164.031,0	164.031,0	0,0 %	164.031,0	0,0 %
Umsatz in 1.000 € a ⁻¹	37.067,5	37.067,5	0,0 %	37.067,5	0,0 %
Summe					
Stromerzeugung in 1.000 kWh a ⁻¹	749.018,4	749.018,4	0,0 %	744.282,5	-0,6 %
Umsatz in 1.000 € a ⁻¹	168.818,0	168.818,0	0,0 %	168.108,7	-0,4 %

Neben der Reduktion von THGE, die unmittelbar mit der Wiedervernässung zusammenhängen, gibt es auch Einsparungen in der Tier- und Pflanzenproduktion (ohne die N₂O-Emissionen auf den Moorflächen). In der Referenz betragen die THGE im Vorleistungssektor durch Mineraldüngerproduktion, Dieserverbrauch, Heizölverbrauch und Herstellung von Pflanzenschutzmitteln, Energie, Mineralfutter, Milchleistungsfutter, Soja und Kälberfutter sowie die THGE im Sektor Landwirtschaft, d. h. düngelinduzierte direkte und indirekte Lachgasemissionen (ohne N₂O-Emissionen auf Moorflächen), Ammoniak- und Methanemissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement sowie Methanemissionen aus der Verdauung der Rinder in Summe etwa 1,85 Mio. t CO₂eq. Bei Wiedervernässung von ca. 98 % der Moorflächen bzw. THGE-Vermeidungskosten von 200 € je t CO₂eq werden diese sonstigen THGE aus der Tier- und Pflanzenproduktion um ca. 3,7 % reduziert. Diese Reduktion ist zu fast 90 % auf die Reduktion der Rinderzahlen zurückzuführen und darüber hinaus auf den vermiedenen Einsatz von Betriebsmitteln auf den nun nicht mehr genutzten Moorflächen. Denn im Modell wurde wie erwähnt

keine alternative landwirtschaftliche Nutzung auf den Moorstandorten betrachtet, sondern eine vollständige Überlassung der Flächen für den Naturschutz ohne Einsatz von Betriebsmitteln.

Im Durchschnitt der Region liegen diese sonstigen THGE bei ca. 7,9 t CO₂eq je ha in der Referenz, wobei diese in Ravensburg aufgrund der hohen Rinderbesatzdichte deutlich höher liegen als beispielsweise in Sigmaringen mit der niedrigsten Rinderbesatzdichte. Trotz der insgesamt reduzierten Menge an THGE aus der Tier- und Pflanzenproduktion ist ein leicht steigender Trend der Bewirtschaftungsintensität auf den verbliebenen Restflächen zu beobachten. So liegen die durchschnittlichen THGE je ha LF bei fast vollständiger Moorwiedervernässung bei ca. 8,0 t CO₂eq im Vergleich zu 7,9 t CO₂eq in der Referenz (Abbildung 20).

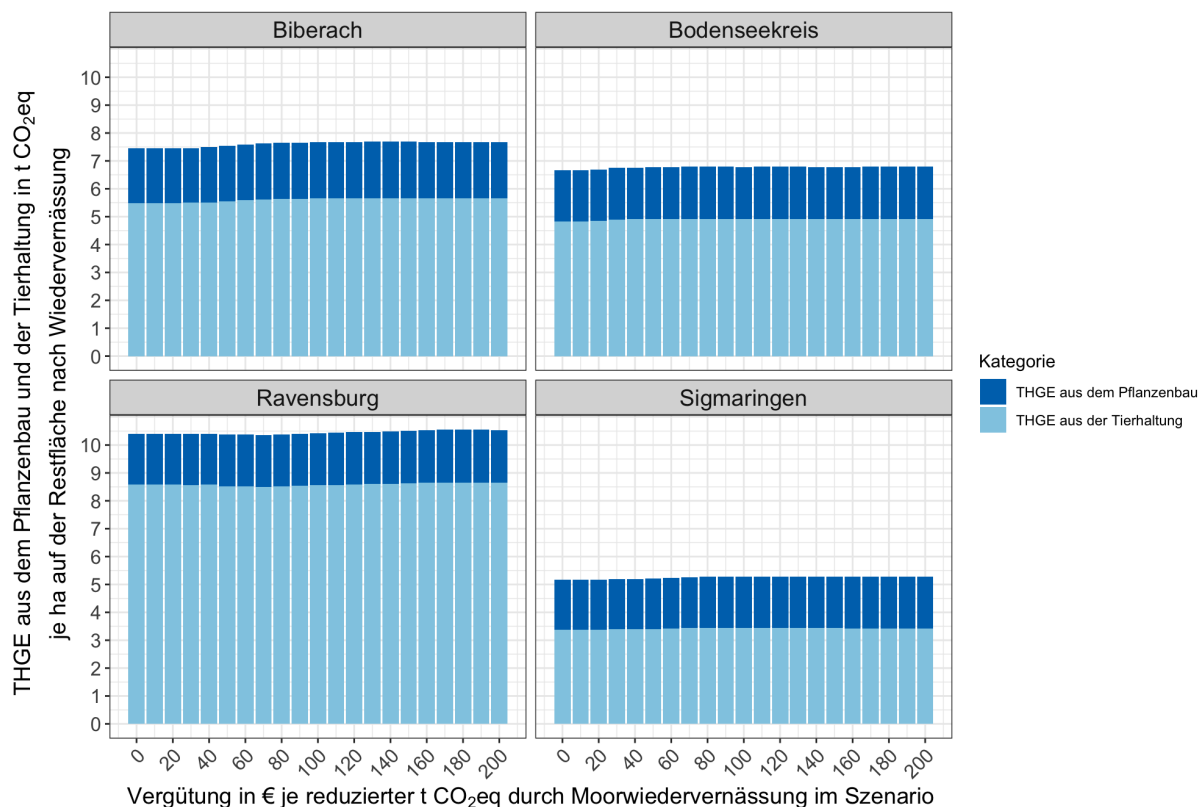


Abbildung 20: Darstellung der THGE aus dem Pflanzenbau und der Tierhaltung in Bezug auf die jeweils verbliebene Restfläche nach Moorwiedervernässung in t CO₂eq je ha nach Landkreis

Zur Bewertung der einzelbetrieblichen ökonomischen Effekte wurden die Auswirkungen der Moorwiedervernässung auf die betrieblichen Gesamtdeckungsbeiträge ohne eine potenzielle Kompensation durch die CO₂-Prämie betrachtet (Abbildung 21). Die ökonomischen Auswirkungen auf die einzelnen Betriebe im Moorschutzszenario sind sehr individuell und hängen von vielen Faktoren wie dem Anteil der LF auf Moorstandorten oder der Rinderbesatzdichte ab. Zudem sind vor allem kleine Betriebe mit unter 10 ha LF vergleichsweise stark betroffen. Beispielsweise liegt der Median der betrieblichen DB-Rückgänge im Landkreis Ravensburg selbst bei geringen wiedervernässten Flächenanteilen bei der Kategorie der Betriebe mit weniger als 10 ha bei ca. 50 %, wobei insgesamt 22 Betriebe DB-Rückgänge zu verzeichnen hätten. Von den insgesamt 1.957 mit Deckungsbeitragsverlusten, liegt die Minderung bei ca. 43 % der Betriebe bei maximal 10 % und bei ca. 70 % der Betriebe bei maximal 30 %.

Die Darstellung der Boxplots wird durch die Übersichten in den Tabellen 20 und 21 ergänzt, die ebenfalls detailliert die Auswirkungen auf die einzelnen Betriebgrößenklassen bei mittlerer und maximaler Moorwiedervernässung darstellen.

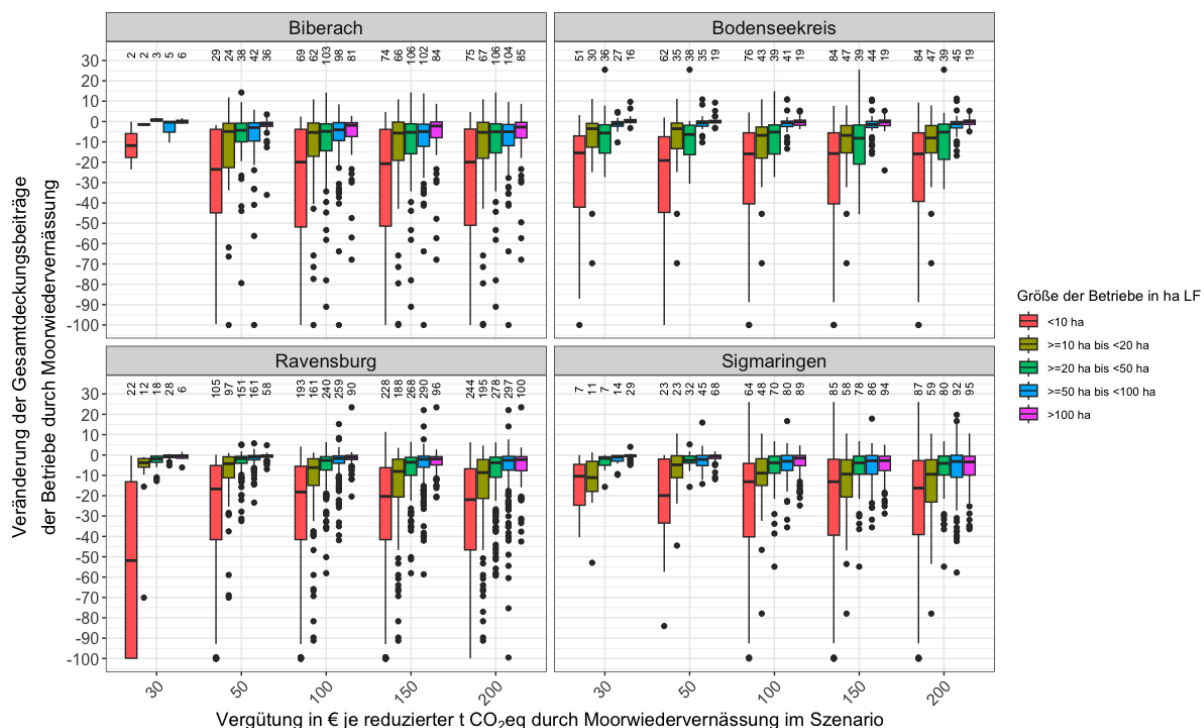


Abbildung 21: Boxplots der Veränderung der Gesamtdeckungsbeiträge der einzelnen Betriebe durch Moorwiedervernässung bei zunehmenden THGE-Vermeidungskosten bzw. zunehmender wiedervernässter Moorfläche nach Größenklassen und Landkreisen unter Angabe der jeweiligen Anzahl (n)

Bei einer mittleren Moorwiedervernässung (ca. 50 % der wiedervernäszbaren Moorflächen) bzw. THGE-Vermeidungskosten von ca. 70 € je t CO₂eq liegt der Verlust des betrieblichen Gesamtdeckungsbeitrags bei 204 Betrieben bei über 25 % und bei 78 Betrieben bei über 50 % und 18 Betriebe überwiegend kleinere Betriebe mit weniger als 10 ha LF würden ihre gesamte Fläche und somit ihren gesamten Deckungsbeitrag verlieren.

Tabelle 20: Übersicht über die Anzahl der Betriebe mit einem Gesamtdeckungsbeitragsverlust bei mittlerer Moorwiedervernässung (50,2% der Fläche bei 70 € je t CO₂eq) nach Betriebsgröße und Landkreis

Landkreis	Anzahl der Betriebe mit einem Gesamtdeckungsbeitragsverlust bei mittlerer Moorwiedervernässung (50,2% bei 70 € je t CO ₂ eq) von								
	> 25 %			> 50 %			> 75 %		
	alle	< 25 ha	> 50 ha	alle	< 25 ha	> 50 ha	alle	< 25 ha	> 50 ha
Biberach	51	36	11	23	17	4	13	11	1
Bodenseekreis	37	35	0	13	13	0	5	5	0
Ravensburg	86	82	2	35	35	0	15	15	0
Sigmaringen	30	26	3	7	7	0	4	4	0
Summe	204	179	16	78	72	4	37	35	1

Bei einer fast vollständigen Moorwiedervernässung bzw. THGE-Vermeidungskosten von ca. 200 € je t CO₂eq liegt der Verlust des betrieblichen Gesamtdeckungsbeitrags bei 384 Betrieben bei über 25 % und bei 147 Betrieben bei über 50 % und 27 Betriebe würden ihre gesamte Fläche und somit ihren gesamten Deckungsbeitrag verlieren. Von diesen 27 bewirtschaften jedoch 23 Betriebe weniger als 10 ha LF. 17 Betriebe mit mehr als 100 ha LF würden hierdurch mehr als 25 % ihres Deckungsbeitrags in der Referenz verlieren, wobei vor allem in Landkreis Ravensburg größere Betriebe in vergleichsweise hohem Umfang betroffen sind.

Tabelle 21: Übersicht über die Anzahl der Betriebe mit einem Gesamtdeckungsbeitragsverlust bei maximaler Moorwiedervernässung (98 % der Fläche bei 200 € je t CO₂eq) nach Betriebsgröße und Landkreis

Landkreis	Anzahl der Betriebe mit einem Gesamtdeckungsbeitragsverlust bei maximaler Moorwiedervernässung (97,8% bei 200 € je t CO ₂ eq) von								
	> 25 %			> 50 %			> 75 %		
	alle	< 25 ha	> 50 ha	alle	< 25 ha	> 50 ha	alle	< 25 ha	> 50 ha
Biberach	75	52	16	33	26	4	19	17	1
Bodenseekreis	38	36	0	14	14	0	5	5	0
Ravensburg	198	155	24	80	72	1	30	28	2
Sigmaringen	73	52	17	20	19	1	9	9	0
Summe	384	295	57	147	131	6	63	59	3

3.4.3 Diskussion der PALUD Ergebnisse

Zusammenfassend konnten mit dem Modell PALUD die ökonomischen und agronomischen Effekte einer sukzessiven Moorwiedervernässung aufgezeigt werden. Dabei konnten relevante regionale Disparitäten in Bezug auf die landwirtschaftlichen Opportunitätskosten der Wiedervernässung aufgezeigt werden. Zur Kompensation der Einkommensrückgänge der von der Wiedervernässung betroffenen Betriebe, wären regional unterschiedlich hohe CO₂-Prämien zur Erreichung eines bestimmten Flächenumfangs an wiedervernässter Moorfläche notwendig. Dabei waren zunehmende Grenzkosten der Wiedervernässung je ha Moorfläche im Sinne von steigenden CO₂-Prämien zu beobachten. Modelltechnisch diente die implementierte CO₂-Prämie zur Abschätzung der THGE-Vermeidungskosten aus landwirtschaftlicher Sicht, d.h. volkswirtschaftliche Transaktionskosten z. B. zur Verwaltung und Kontrolle der CO₂-Prämien wurden nicht berücksichtigt

Mit Hilfe von PALUD konnte zudem auf regionaler Ebene analysiert werden, inwiefern Betriebe mit unterschiedlicher Betriebsgrößenstruktur von der Wiedervernässung ökonomisch betroffen wären. Dabei wurde deutlich, dass die Auswirkungen auf die Biogasproduktion und die Rinderhaltung zumindest auf regionaler Ebene eher begrenzt sind. Einzelne und vor allem kleinere Betriebe können jedoch aus ökonomischer Sicht stark betroffen sein bzw. auch ihre gesamte Existenzgrundlage verlieren. Dabei ist aus methodischer Sicht anzumerken, dass die Abbildung der Betriebsgrößenklassen und Flächenanteile der einzelnen Betriebe auf den jeweiligen zusammenhängenden Moorflächen in PALUD tatsächlich den realen Verhältnissen entsprechen. Durch die Kopplung des ökonomischen Modells PALUD mit dem hydrologischen

Modell RoGeR konnte zudem eine standortspezifische Schätzung des THGE-Minderungspotenzials durch die Wiedervernässung bei der ökonomischen Modellierung berücksichtigt werden.

Wie die Ergebnisse zeigen, hängen die ökonomischen Auswirkungen und die Umsetzbarkeit der Moorwiedervernässung maßgeblich von der räumlichen Verteilung bzw. Konfiguration der Flächen im Moor sowie den standortspezifischen hydrologischen Rahmenbedingungen ab, d. h. inwiefern notwendige Grundwasserstände überhaupt erreicht werden können. Genaue Angaben für Deutschland existierten dazu nach unserem Kenntnisstand bisher nicht. Diese Studie stellt somit einen wissenschaftlichen Mehrwert dar, denn diese Aspekte wurden in vorherigen ökonomischen Analysen wie z. B. Krimly et al. (2016) oder Willenbockel (2024) nur unzureichend analysiert, sind jedoch von hoher Praxisrelevanz.

Bezüglich der Abbildung der Landnutzung muss bei der Interpretation der Ergebnisse einschränkend beachtet werden, dass Dauerkulturen in PALUD nicht abgebildet wurden. Dies betrifft ca. 85 ha Dauerkulturfläche auf organischen Böden, wovon über 80% im Bodensee-kreis liegen. Die Wiedervernässung von einzelnen Moorflächen mit hohem Dauerkulturanteil kann somit mit deutlich höheren THGE-Vermeidungskosten einhergehen, als unsere Ergebnisse an dieser Stelle zeigen.

Die wesentliche methodische Limitation des Modells PALUD betrifft die Abbildung der Tierhaltung sowie die damit verbundene vereinfachte Integration der Fütterung. Beispielsweise sind die Anteile von Kraft- und Grundfutter im Modell statisch. Zudem lag aus den GA-Daten die Zuordnung der einzelnen Teilschlägen zu den Betrieben vor, jedoch keine Informationen bezüglich der Haltung von Tieren. Aus diesem Grund wurden den Betrieben anhand der beobachteten Grundfutterproduktion sowie den vorliegenden Daten zur Rinderhaltung in der Untersuchungsregion und den Betriebsgrößenklassen der viehhaltenden Betriebe, jeweils eine entsprechende Anzahl an Rindern bzw. Milchkühen in GV zugewiesen. Diese Zuteilung entspricht zumindest aus regionaler Perspektive einer plausiblen Zuteilung und könnte mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen. Dennoch sind Abweichungen bei der Betrachtung einzelner Betriebe wahrscheinlich und die Aussagekräftigkeit der Ergebnisse kann auf regionaler Ebene als hoch, auf der Ebene einzelner Betriebe mit Ausnahmen zu Aussagen über bestimmte Betriebsgrößenklassen als begrenzt angesehen werden. Neben der Zuordnung der GV-Einheiten, spielt an dieser Stelle auch die aus methodischer Sicht begrenzt mögliche Berücksichtigung individueller Opportunitätskosten bzw. Produktionskosten und Absatzstrukturen eine Rolle. Auf Grundlage der Ergebnisse können aus diesem Grund auch keine Kosten für die Wiedervernässung bestimmter einzelner Moorflächen abgeleitet werden. An dieser Stelle muss zudem beachtet werden, dass im Rahmen der Modellierung mit PALUD lediglich die Kosten aus der Perspektive der Landwirtschaft berücksichtigt wurden. Die Planungs- und Baukosten hängen wiederum ebenfalls stark von der Größe der Moorflächen und den individuellen Rahmenbedingungen ab, was eine Übersicht in Wichmann et al. (2022) zeigt. Die durchschnittlichen Kosten lagen hier bei der Auswertung von 17 Projekten bei ca. 3.300 €/ha für die Planung und den Bau.

3.4.4 Darstellung der EFEM Ergebnisse

Aufgrund der methodischen Limitationen des Modells PALUD bezüglich der Aussagen auf einzelbetrieblicher Ebene, werden an dieser Stelle die Ergebnisse des Moorschutzszenarios für exemplarische Betriebe gezeigt.

Im Folgenden werden zunächst die Auswirkungen des Moorschutzszenarios auf die Flächennutzung der Beispielbetriebe aufgezeigt. Diese Flächennutzung der LF ist jeweils für die vier Landkreise in den folgenden Abbildungen dargestellt (Abbildung 22 bis Abbildung 25). Die Abbildungen zeigen die unterschiedliche Reduktion der Ackerfläche und des Grünlands. Es wird deutlich, dass der Anteil der Ackerfläche der Betriebe in den Moorflächen deutlich kleiner ist als der Grünlandanteil (vgl. auch Tabelle 5). So haben die Betriebe, 1FB05, 2FB05 und die beiden kleineren Betriebe in Ravensburg gar keine Ackerflächen auf Moorstandorten. Eine Ausnahme stellt der Betrieb mit dem hohen Mooranteil im Bodenseekreis (2FB41) dar, bei dem 85 % der Ackerfläche auf Moor liegt (Abbildung 23).

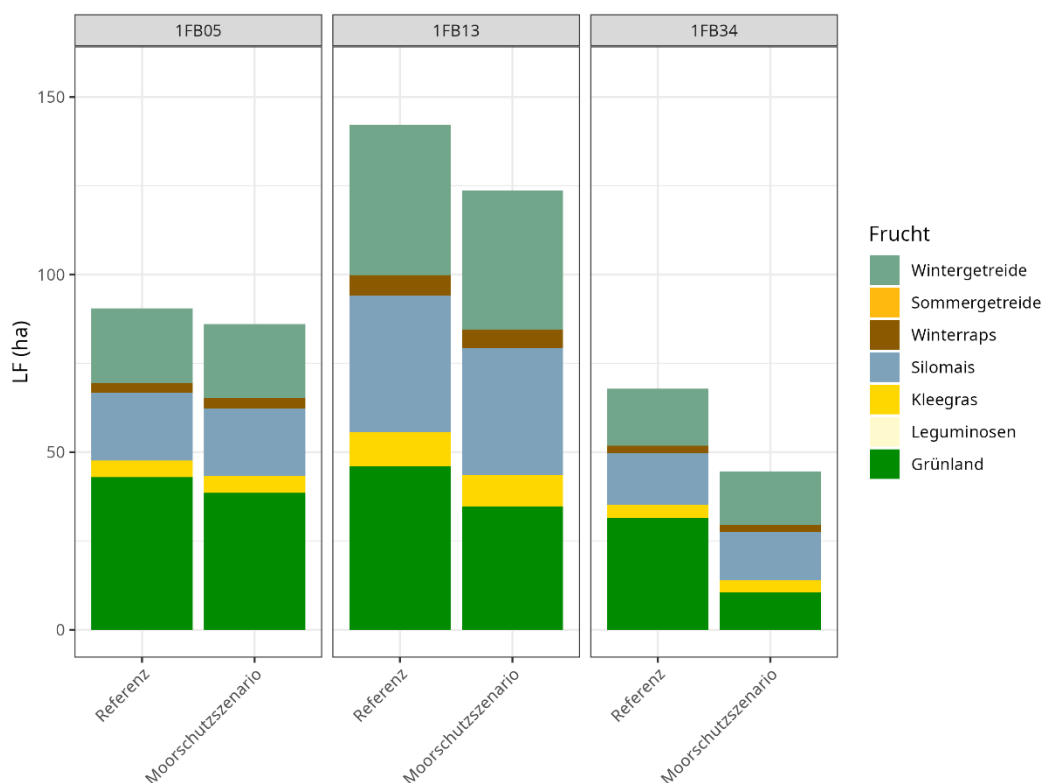


Abbildung 22: Änderung der LF und des Anbaus auf der Ackerfläche der Beispielbetriebe in Biberach

Bei der Betrachtung der Ackerfläche im speziellen halten sich die Änderungen der Fruchtfolge eher auf niedrigem Niveau. Die Ausnahme bildet hier der bereits erwähnte stark betroffene Betrieb im Bodenseekreis (2FB41), da dieser durch die Moorwiedervernässung nahezu seine komplette Ackerfläche verliert.

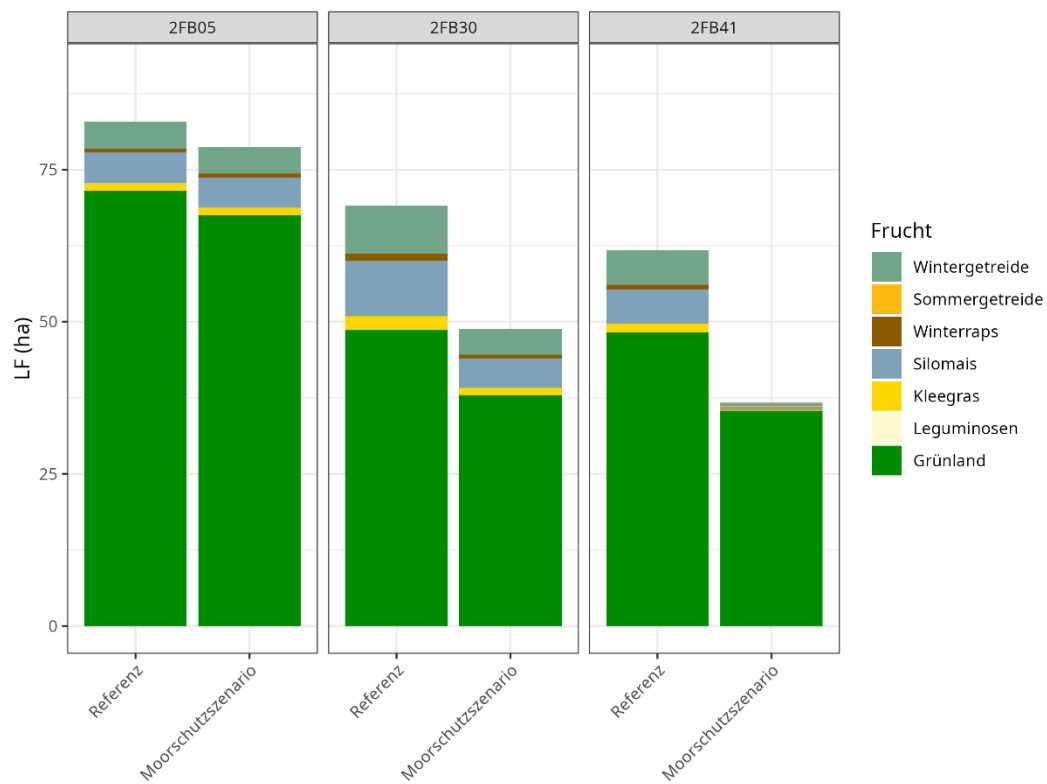


Abbildung 23: Änderung der LF und des Anbaus auf der Ackerfläche der Beispielbetriebe im Bodenseekreis

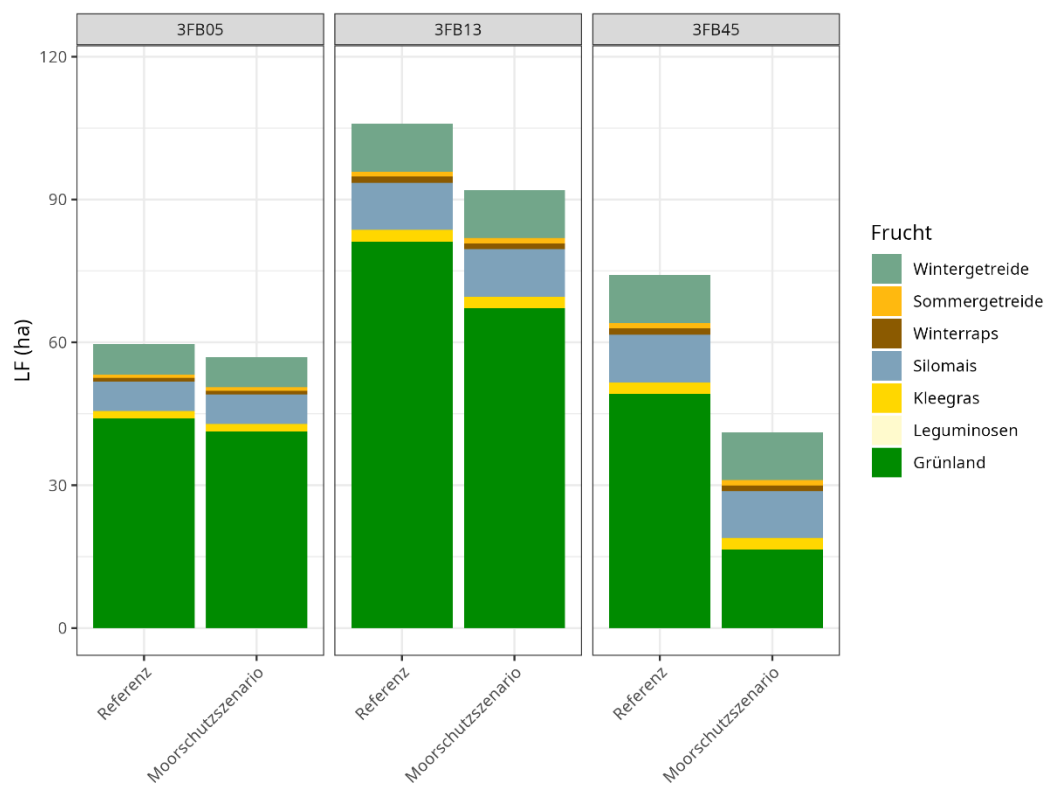


Abbildung 24: Änderung der LF und des Anbaus auf der Ackerfläche der Beispielbetriebe in Ravensburg

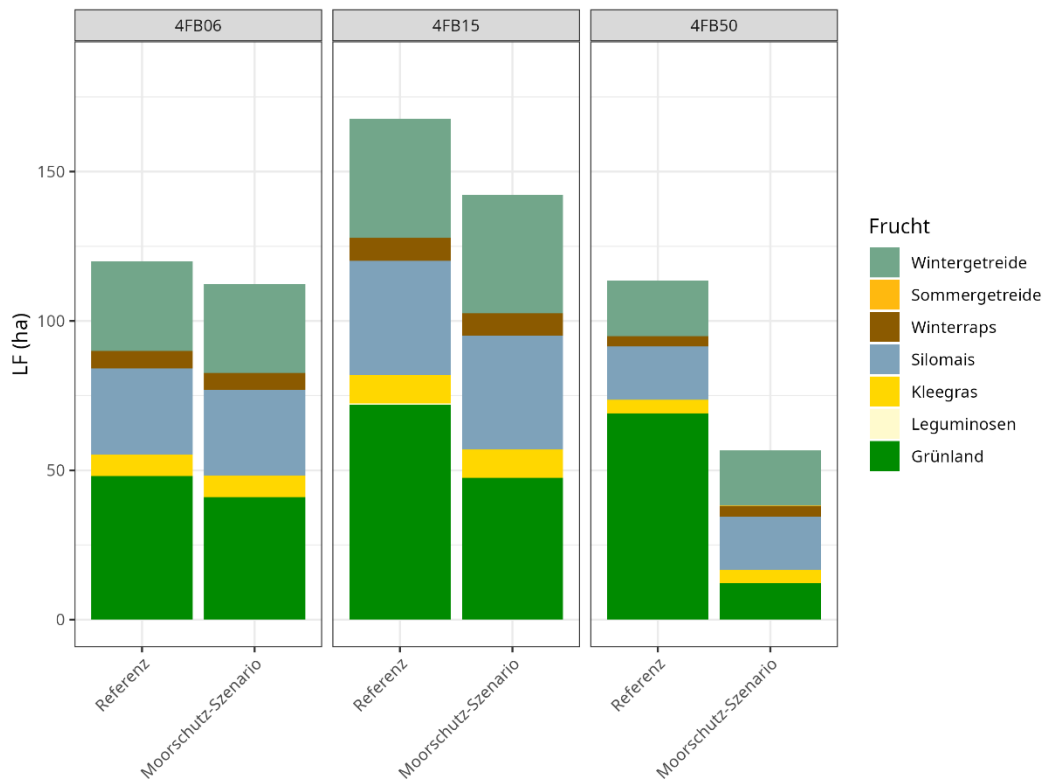


Abbildung 25: Änderung der LF und des Anbaus auf der Ackerfläche der Beispielbetriebe in Sigmaringen

Das Moorschutzszenario wirkt sich auch auf die Tierhaltung der Beispielsbetriebe aus (Tabelle 22). Die Ergebnisse zeigen, dass der Flächenentzug durch Wiedervernässung bei den Betrieben mit dem niedrigen und den mittleren Mooranteil keinen Einfluss auf den Milchviehbestand hat. Lediglich ein Betrieb im Landkreis Sigmaringen reduziert seinen Milchviehbestand um knapp 1 %. In der Gruppe mit dem hohen Mooranteil sieht dies anders aus, hier wird der Milchkuhbestand zwischen 4 % (Biberach) und 32 % (Sigmaringen) reduziert. Noch deutlicher ist der Rückgang in der Färsenaufzucht, die zwischen 13 und 37 % reduziert wird.

Tabelle 22: Auswirkungen des Moorschutzszenarios auf die Tierhaltung (Milchkühe und Färsen) in den Beispielbetrieben in den jeweiligen Landkreisen.

		Biberach			Bodenseekreis		
		1FB05	1FB13	1FB34	2FB05	2FB30	2FB41
Milchkühe	Referenz	105	135	65	96	59	71
	Moorschutzszenario	105	135	62	96	59	58
		0 %	0 %	-4 %	0 %	0 %	-18 %
Färsen	Referenz	36	46	23	31	19	22
	Moorschutzszenario	36	46	20	31	19	16
		0 %	0 %	-13 %	0 %	0 %	-27 %
		Ravensburg			Sigmaringen		
		3FB05	3FB13	3FB45	4FB06	4FB15	4FB50
Milchkühe	Referenz	59	118	78	122	134	112
	Moorschutzszenario	59	118	68	122	133	76
		0 %	0 %	-12 %	0 %	-1 %	-32 %
Färsen	Referenz	21	42	27	42	45	38
	Moorschutzszenario	21	42	17	42	45	24
		0 %	0 %	-37 %	0 %	0 %	-37 %

Der vergleichsweise geringe Rückgang der Tierzahlen gegenüber der deutlich stärkeren Abnahme der landwirtschaftlichen Nutzfläche im Moorschutzszenario legt eine genauere Betrachtung der Effekte auf den Futtermittelzukauf nahe.

Die Ergebnisse zeigen insgesamt, dass die Betriebe in Folge des Flächenverlustes durch die Moorwiedervernässung die reduzierte Grundfutterproduktion teilweise durch den Zukauf von Getreide und Soja kompensieren. Lediglich der Betrieb mit hohem Mooranteil im Landkreis Sigmaringen weist einen deutlichen Rückgang sowohl beim Getreide- als auch beim Sojazu-kauf auf, was auf den starken Abbau des Rinderbestands zurückzuführen ist. In allen anderen Regionen zeigen selbst jene modellierten Betriebe, die ihren Milchviehbestand im Moorschutzszenario verkleinern, einen erhöhten Bedarf an Zukauffuttermitteln.

Abschließend werden die ökonomischen Effekte des Moorschutzszenarios anhand der Veränderung des betrieblichen Gesamtdeckungsbeitrags der Beispielbetriebe dargestellt (Tabelle 23). Erwartungsgemäß sinkt der Deckungsbeitrag in allen betrachteten Betrieben. In der Gruppe mit niedrigem Mooranteil fällt dieser Rückgang mit maximal 2 % gering aus; auch in der Mehrzahl der Betriebe mit mittlerem Mooranteil zeigen sich nur moderate Effekte auf den Deckungsbeitrag.

Deutlich ausgeprägter sind die betriebswirtschaftlichen Auswirkungen in der Gruppe mit hohem Moorflächenanteil, wobei sich zugleich klare regionale Unterschiede zeigen. Während der Deckungsbeitrag im Betrieb in Biberach um 12 % zurückgeht (1FB34), beträgt der Rückgang im Bodenseekreis (2FB41) sowie im Landkreis Sigmaringen (4FB50) jeweils mehr als

ein Drittel. Diese Entwicklung ist maßgeblich auf die Reduktion der Milchproduktion zurückzuführen und verdeutlicht, dass die Veränderungen des Deckungsbeitrags in hohem Maße mit dem Umfang des Milchkuhbestands korrelieren.

Tabelle 23: Modellierte Änderung des Gesamtdeckungsbeitrags der Beispielbetriebe (EFEM).

		Biberach					Bodenseekreis		
		1FB05	1FB13	1FB34			2FB05	2FB30	2FB41
Referenz	[€]	387.626	533.268	249.918	Referenz	[€]	262.091	189.158	205.750
Moorschutzszenario	[€]	381.349	518.885	219.895	Moorschutzszenario	[€]	261.881	168.981	131.583
		-2 %	-3 %	-12 %			-0,1 %	-11 %	-36 %

		Ravensburg					Sigmaringen		
		3FB05	3FB13	3FB45			4FB06	4FB15	4FB50
Referenz	[€]	170.927	323.375	225.470	Referenz	[€]	472.467	534.065	419.160
Moorschutzszenario	[€]	169.241	321.203	165.093	Moorschutzszenario	[€]	466.639	522.034	273.722
		-1 %	-1 %	-27 %			-1 %	-2 %	-35 %

In Tabelle 24 sind die Auswirkungen auf THGE-Reduktionen und die Vermeidungskosten durch das Moorschutzszenario dargestellt. Durch die detaillierte Abbildung der THGE in EFEM können neben den Emissionsminderungen aus den landwirtschaftlich genutzten Moorstandorten auch solche Emissionen ausgewiesen werden, die indirekt infolge der Wiedervernäsung entstehen. Der Wegfall betrieblicher Moorflächen führt bei allen Betrieben zu einem Anstieg der THGE durch zusätzlichen Futtermittelzukauf. Besonders deutlich wird dies im Fall des Futterbaubetriebs im Landkreis Ravensburg mit einem Moorflächenanteil von 45 % (3FB45), bei dem die Mehremissionen etwas mehr als 130 t CO₂eq betragen.

Aufgrund der Modellannahmen findet auf den wiedervernässten Moorstandorten keine wirtschaftliche Nutzung mehr statt. Daher werden dort gleichzeitig THGE aufgrund des reduzierten Betriebsmitteleinsatzes eingespart. Diese Einsparungen kompensieren bei den Futterbaubetrieben im Landkreis Biberach die Mehremissionen aus dem Futtermittelzukauf jedoch nicht vollständig (vgl. „Differenz THGE Betrieb sonstige“). Da EFEM keinen naturräumlichen Bezug aufweist, wurden zur Bewertung der THGE aus landwirtschaftlich genutzten Mooren, die in Tabelle 6 ausgewiesenen Emissionsfaktoren in das Modell integriert. Obwohl die wiedervernässten Flächen nicht mehr als betriebliche Nutzfläche berücksichtigt werden, verursachen sie weiterhin, wenn auch deutlich weniger, THGE. Diese werden in der Berechnung der Vermeidungskosten berücksichtigt (THGE wiedervernässte Moore).

Diese ergeben sich, anders als bei den PALUD Berechnungen, aus dem Rückgang der betrieblichen Deckungsbeiträge dividiert durch die eingesparten THGE. Die Spanne der Vermeidungskosten ist sehr groß und reicht von etwa 2 €/t CO₂eq (2FB05) bis zu 79,4 €/t CO₂eq (2FB41). Obwohl die durchschnittlichen Vermeidungskosten vergleichsweise niedrig ausfallen, da die Emissionsminderungen durch die Wiedervernässung erheblich sind, verdeutlichen die hohen Deckungsbeitragsverluste der Betriebe mit hohem Moorflächenanteil die erheblichen wirtschaftlichen Herausforderungen, die sich für diese Betriebe ergeben würden.

Tabelle 24: Reduktionsminderung durch die Wiedervernässung der betrieblichen Moorstandorte und damit verbundene Vermeidungskosten

Biberach		1FB05	1FB13	1FB34
DB Referenzszenario	€	387.626	533.268	249.918
DB Moorschutzszenario	€	381.349	518.885	219.895
Differenz DB	€	-6.277	-14.383	-30.023
Vermeidung THGE-Moore Betrieb	t CO ₂ eq	-168	-728	-893
Differenz THGE Betrieb sonstige	t CO ₂ eq	22	12	7
THGE wiedervernässte Moore	t CO ₂ eq	28	118	149
Vermeidungskosten	€/t CO₂eq	53,4	24,1	40,7
Bodenseekreis		2FB05	2FB30	2FB41
DB Referenzszenario	€	262.091	189.158	205.750
DB Moorschutzszenario	€	261.881	168.981	131.583
Differenz DB	€	-211	-20.176	-74.168
Vermeidung THGE-Moore Betrieb	t CO ₂ eq	-163	-849	-1.024
Differenz THGE Betrieb sonstige	t CO ₂ eq	29	-46	-75
THGE wiedervernässte Moore	t CO ₂ eq	26	137	165
Vermeidungskosten	€/t CO₂eq	1,9	26,6	79,4
Ravensburg		3FB05	3FB13	3FB45
DB Referenzszenario	€	170.927	323.375	225.470
DB Moorschutzszenario	€	169.241	321.203	165.093
Differenz DB	€	-1.685	-2.172	-60.377
Vermeidung THGE-Moore Betrieb	t CO ₂ eq	-104	-536	-1.269
Differenz THGE Betrieb sonstige	t CO ₂ eq	-3	-11	-49
THGE wiedervernässte Moore	t CO ₂ eq	17	90	212
Vermeidungskosten	€/t CO₂eq	18,8	4,8	54,6
Sigmaringen		4FB06	4FB15	4FB50
DB Referenzszenario	€	472.467	534.065	419.160
DB Moorschutzszenario	€	466.639	522.034	273.722
Differenz DB	€	-5.828	-12.031	-145.438
Vermeidung THGE-Moore Betrieb	t CO ₂ eq	-293	-963	-2.184
Vermeidung THGE-Moore Betrieb	t CO ₂ eq	-8	-10	-318
THGE wiedervernässte Moore	t CO ₂ eq	52	161	365
Vermeidungskosten	€/t CO₂eq	23,4	14,8	68,1

3.4.5 Diskussion der EFEM Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass die Beispielsbetriebe den Verlust der Flächen im Wiedervernässungsszenario überwiegend durch den Zukauf von Futtermitteln kompensieren könnten. Dies gilt insbesondere für Betriebe mit geringerem und mittlerem Mooranteil an der Betriebsfläche.

Ein höherer Anteil würde zu einer Abstockung des Tierbestands führen. Hiervon wären insbesondere die Färsenmast und die Anzahl der Aufzuchtfähren betroffen. Die Wiedervernässung führt insgesamt zu einer Intensivierung der restlichen im Betrieb verbleibenden Fläche. Da aber dann insgesamt weniger Fläche bewirtschaftet wird, werden die Mehremissionen durch Futtermittelzukauf und Intensivierung i.d.R. überkompensiert. Lediglich bei den Beispielsbetrieben im Landkreis Biberach und beim Betrieb mit wenig Moorfläche im Bodenseekreis wäre dies nicht der Fall. Die vergleichsweise geringen Vermeidungskosten können über die zum Teil großen wirtschaftlichen Auswirkungen des Moorschutzszenarios hinwegtäuschen. So würden die Deckungsbeiträge der Betriebe mit hohem Mooranteil im Bodenseekreis und im Landkreis Sigmaringen um mehr als 35 % zurückgehen.

Die Ergebnisse sind zudem vor dem Hintergrund der Agrarmärkte im Untersuchungszeitraum einzuordnen. Zwar stellt die Veränderung des Gesamtdeckungsbeitrags eine geeignete Kenngröße dar, um THGE-Vermeidungskosten abzuleiten, jedoch können die in Tabelle 23 dargestellten Werte den Eindruck erwecken, dass das Moorschutzszenario den betrieblichen Gewinn lediglich von einem sehr hohen auf ein weiterhin hohes Niveau reduziert. Für den Referenzzeitraum 2022–2024 trifft dies zwar zu, gleichzeitig zeigen jedoch die aktuellen Marktbedingungen, dass Weizenpreise von rund 24 €/dt sowie Milchpreise von über 50 ct/l, wie sie für unseren Untersuchungszeitraum gültig waren, nicht dauerhaft Bestand haben.

Bei einem künftig niedrigeren Erzeugerpreisniveau stellt sich daher nicht allein die Frage nach der Höhe der Einkommenseinbußen, sondern zunehmend auch, ob die betroffenen Betriebe weiterhin in der Lage sind, einen ausreichenden Beitrag zum Familieneinkommen zu leisten oder mittelfristig zur Betriebsaufgabe gezwungen werden.

4 Einordnung der Ergebnisse in Bezug auf die Forschungsfragen

Das Wiedervernässungspotenzial landwirtschaftlicher genutzter Moorstandorte aus hydrologischen Gesichtspunkten

Im Rahmen des Moorschutzszenarios wurden etwa 12.545 ha bzw. ca. 60 % der landwirtschaftlich genutzten Moore bzw. organischen Böden für die hydrologische Modellierung als wiedervernässungswürdig eingestuft. In Bezug auf Ackerland auf organischen Böden wurden etwa 36 % der Flächen und auf Grünland etwa 70 % der Flächen als potenziell wiedervernässbar identifiziert.

Mit den angenommenen Drainagen auf den Moorflächen lag der modellierte langjährige Grundwasserflurabstand bei ca. 95 % der Moorflächen bei über 50 cm in der Referenzsituation. Durch Rückbau der Drainage wurden mittlere langjährige Grundwasserflurabstände bezogen auf die Torfoberkante zwischen durchschnittlich etwa 27 cm Ravensburg und 34 cm in Sigmaringen erreicht. Hier ist zu beachten, dass im Rahmen der Modellierung keine zusätzliche Zufuhr von beispielsweise Grundwasser berücksichtigt wurde. Dadurch könnten ggf. auf einzelnen Flächen auch geringere Grundwasserflurabstände erreicht und somit eine höhere THGE-Reduktion erzielt werden.

Treibhausgasminderungspotenzial durch Moorwiedervernässung

In Abhängigkeit der erzielbaren Grundwasserflurabstände durch den Rückbau der Drainagen im Moorschutzszenario wurde ein maximales THGE-Minderungspotenzial durch Wiedervernässung von ca. 282.333 t CO₂eq a⁻¹ in der Untersuchungsregion berechnet. Dies entspricht der Größenordnung von etwa 6,5 % der THGE vom Sektor Landwirtschaft in Baden-Württemberg. Im Durchschnitt entspricht die THGE-Minderung ca. 22,5 t CO₂eq je ha a⁻¹ wiedervernässter Moorfläche. Die Berechnungen basieren auf der Annahme einer vollständigen Wiedervernässung der in der hydrologischen Analyse einbezogenen ca. 12.545 ha landwirtschaftlich genutzter Moorböden, wobei eine alternative ökonomische Nutzung ausgeschlossen wird.

Die Wiedervernässung führte unter anderem zu einer Reduktion der Rinderbestände sowie zu einem geringeren Einsatz von Betriebsmitteln (z. B. Düngemitteln). Dadurch ergab sich eine zusätzliche Minderung der THGE in Höhe von rund 68.980 t CO₂eq a⁻¹, was etwa 3,7 % der Emissionen aus Tierhaltung und Pflanzenbau einschließlich vorgelagerter Prozesse des Referenzszenario entspricht.

Ökonomische und agronomische Auswirkungen der Wiedervernässung auf Regions- bzw. einzelbetrieblicher Ebene

Die Ergebnisse zeigen zudem, dass die Auswirkungen auf Regions- bzw. Sektorebene eher gering sind. So waren selbst bei maximaler Ausschöpfung des Wiedervernässungspotenzials lediglich geringe Effekte auf die Biogas- bzw. Biomethanproduktion sowie die Rinderhaltung zu beobachten. Die Rinderzahlen sanken um maximal ca. 4,1 % in der Region und es zeigten sich nur leichte Veränderungen in der Anbaustruktur. Auf einzelbetrieblicher Ebene können die ökonomischen Effekte jedoch erheblich sein. Bei Wiedervernässung der kompletten Fläche würden 384 Betriebe, das wären ca. 11 % der Betriebe mit landwirtschaftlich genutzten organischen Böden, mehr als 25 % ihres Gesamtdeckungsbeitrags verlieren, sofern keine Kompensation, wie z. B. die beim Wiedervernässungsszenario unterstellte CO₂-Vermeidungsprämie oder andere Umweltprämien gezahlt würden.

Durch alternative wirtschaftlich tragfähige Nutzungskonzepte für wiedervernässte Moore könnten Einkommensverluste der betroffenen Betriebe kompensiert werden. Im Rahmen der Studie wurden allerdings keine alternativen Nutzungskonzepte berücksichtigt, da das Ziel auf der regionalen Analyse einer großflächigen Moorwiedervernässung lag. Auf dieser Skala ist die ökonomische Bewertung alternativer Nutzungskonzepte wie z. B. Paludikulturen sehr schwierig und muss betriebs- und standortsspezifisch erfolgen. Insbesondere Paludikulturen sind bisher nicht größerer räumlicher Skala etabliert (Domke et al., 2024). Die Herausforderungen aus betriebswirtschaftlicher Perspektive liegen in der noch unzureichenden Datenlage zu Kosten und Erlösen (Tannenberger et al., 2022), fehlenden Wertschöpfungsketten (Ziegler et al., 2021) sowie einer noch nicht vorhandenen Rentabilität (Eickenscheidt et al., 2023). Zudem ist die regionale Übertragbarkeit von Nutzungskonzepten für wiedervernässte Moorflächen eingeschränkt (Buschmann et al., 2020). Folglich sind detaillierte sozio-ökonomische Analysen

mit Fokus auf die Region Oberschwaben bezüglich Akzeptanz und potenzieller Wertschöpfungsketten notwendig, aus deren Ergebnissen alternative wirtschaftliche Nutzungen für künftige modellbasierte Analysen für die Untersuchungsregion abgeleitet werden können.

Bewertung der Effizienz der Moorwiedernässung aus Klimaschutzperspektive

Sowohl die Ergebnisse des Landnutzungsmodells PALUD als auch des Betriebsmodells EFEM haben gezeigt, dass bereits zu vergleichsweise geringen bzw. moderaten THGE-Vermeidungskosten ein erheblicher Flächenanteil der Moorflächen wiedervernässt werden könnte.

Zu THGE-Vermeidungskosten von 200 € je t CO₂eq, die im Rahmen dieser Studie aus modelltechnischer Sicht einer CO₂-Prämie je t reduzierter CO₂eq auf den Moorflächen entsprechen, konnte gemäß der Modellergebnisse fast die gesamte wiedervernässbare Moorfläche (ca. 98 %) vollständig wiedervernässt werden. Zu THGE-Vermeidungskosten unter 40 € je t CO₂eq wurde lediglich ein geringer Anteil der Moorflächen von knapp 14 % wiedervernässt und zu 70 € je t CO₂eq schon knapp die Hälfte aller wiedervernässbaren Moorflächen im Moorschutzszenario

Dabei haben die Ergebnisse gezeigt, dass die THGE-Vermeidungskosten mit zunehmendem Ausmaß der Wiedervernässung überproportional zunehmen. Die Vermeidungskosten – und damit die Effizienz der Maßnahme – hängen im Wesentlichen von den landwirtschaftlichen Opportunitätskosten bzw. der betriebswirtschaftlichen Ausrichtung der betroffenen Betriebe sowie von der Nutzungsintensität der Moorflächen in der Referenz ab. Darüber hinaus werden sie maßgeblich durch die potenzielle THGE-Reduktion je Hektar beeinflusst, die wiederum von den erreichbaren Grundwasserständen sowie von Größe und räumlicher Konfiguration der jeweils zusammenhängend wiedervernässbaren Moorareale abhängt.

Die THGE-Vermeidungskosten zur Umsetzung einer Wiedervernässung von knapp 50 % der Moorflächen bewegen sich in einer ähnlichen Größenordnung wie die in der Literatur für verschiedene Regionen Deutschlands ausgewiesenen Werte (Tabelle 25). Unsere Ergebnisse zeigen jedoch, dass eine großflächige Moorwiedervernässung von deutlich mehr als 50 % der Flächen erheblich teurer sein kann als in der Literatur dargestellt.

Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass im Rahmen der Modellierung mit PALUD und EFEM lediglich Einkommensverluste der Landwirtschaft berücksichtigt wurden. Die Planungs- und Baukosten hängen stark von der Größe der Moorflächen und den individuellen Rahmenbedingungen ab, was eine Übersicht in Wichmann et al. (2022) zeigt. Die durchschnittlichen Kosten lagen hier bei der Auswertung von 17 Projekten überwiegend in einer breiten Spanne zwischen ca. 2.000 €/ha und ca. 10.000 €/ha für die Planung und den Bau. Bei einer durchschnittlichen THGE-Reduktion von ca. 22,5 t CO₂eq je ha wiedervernässter Moorflächen und einem Zinssatz zwischen 2 und 4 % für die Kalkulation einer ewigen Rente würden zu unseren kalkulierten THGE-Vermeidungskosten für Planung und Bau daher zusätzlich zwischen 2 und 18 € je t CO₂eq hinzukommen. Da diese Kosten sehr individuell sind, konnten sie bei der Analyse nicht flächenspezifisch berücksichtigt werden.

Tabelle 25: Übersicht über die in verschiedenen Studien ausgewiesenen THGE-Vermeidungskosten für die Wiedervernässung landwirtschaftlich genutzter Moorstandorte

Kurzbeschreibung der Maßnahme	THGE-Vermeidungskosten	Quelle
Vollständige Moorwiedervernässung bei exemplarischen Betrieben inkl. intensive Milchviehbetriebe in Nord- bzw. Ostdeutschland	35 bis 70 € je t CO ₂ eq (inkl. Kosten für Planung und Bau)	Buschmann et al. (2025)
Vollständige Moorwiedervernässung in Nordostdeutschland	10 € je t CO ₂ eq (ohne Kosten für Planung und Bau)	Osterburg et al. (2019b)
Vollständige Moorwiedervernässung bzw. Nutzung als nasses Grünland in Südwestdeutschland	5 bis 57 € je t CO ₂ eq (ohne Kosten für Planung und Bau)	Krimly et al. (2016)
Vollständige Wiedervernässung von Grünland im Landkreis Havelland	63 bis 105 € je t CO ₂ eq (inkl. Kosten für Planung und Bau)	Wiegmann et al. (2022)

Grundsätzlich können die in dieser Studie ausgewiesenen THGE-Vermeidungskosten selbst bei erheblicher Realisation des Wiedervernässungspotenzials im Vergleich zu anderen Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft wie beispielsweise technische Maßnahmen oder der Aufbau von Bodenkohlenstoff als gering bis moderat bezeichnet werden (Tabelle 26).

Tabelle 26: Übersicht über die THGE-Vermeidungskosten bei exemplarischen Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft

Kurzbeschreibung der Maßnahme	THGE-Vermeidungskosten	Quelle
Anlage von Agroforstsystemen	70 bis 166 € je t CO ₂ eq	Geier et al. (2025)
Nutzung von Green Ammonia in der N-Düngemittelherstellung	255 bis 736 € je t CO ₂ eq	Sponagel et al. (2025)
Einsatz optischer Stickstoffsensoren bei der N-Düngung	317 bis 1.173 € je t CO ₂ eq	Sponagel et al. (2025)
Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren	50 bis 531 € je t CO ₂ eq	Sponagel et al. (2025)
Senkung betrieblicher Hoftorbilanzen	200 bis 220 € je t CO ₂ eq	

5 Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

5.1 Aus hydrologischer Sicht

Aus der Gegenüberstellung der CO₂-Emissionen des Referenz- und des Moorschutzszenarios kann für alle Flächen die potenzielle Reduzierung der CO₂-Emissionen abgeleitet werden, die durch einen Rückbau von Drainagen bei gegebener Landnutzung zu erwarten ist. Flächen mit großem Reduktionspotenzial sollten zuerst in den Fokus genommen werden. Da bezüglich der tatsächlichen Dichte der Drainagen keine flächenhaften Informationen vorlagen, wurde diesbezüglich die Annahme getroffen, dass der mittlere Abstand der Drainagen 10 m beträgt. Dies wäre in weiteren Untersuchungen vor Ort mit der Realität abzugleichen. Ist die tatsächliche

Lage der Drainagen bekannt kann für diese präziser das Potenzial durch Rückbau ermittelt werden.

Moorflächen, für die auch bei Rückbau der Drainagen große Grundwasserflurabstände modelliert werden, könnten gegebenenfalls durch Zuleitung von Wasser wiedervernässt werden. Als ersten Anhalt für das Potenzial für die Zuleitung von Wasser kann die Menge des Gesamtabflusses des Einzugsgebietes herangezogen werden in der die jeweilige Moorfläche liegt. Als nächstes wären dann vor Ort Untersuchungen zur vorhandenen Infrastruktur für eine mögliche Zuleitung von Wasser durchzuführen.

5.2 Aus ökonomischer Sicht

Geringe THGE-Vermeidungskosten können mit vergleichsweise hohen Einkommens- bzw. Deckungsbeitragsverlusten auf Ebene der betroffenen Betriebe verbunden sein. Ein exemplarisch betrachteter Betrieb mit 38 % Anteil der LF auf Moorböden würde beispielsweise bei THGE-Vermeidungskosten von knapp 80 € je t CO₂eq gemäß den EFEM-Ergebnissen etwa 36 % seines Gesamtdeckungsbeitrags verlieren. Solange keine wirtschaftlich tragfähige alternative Nutzung stattfindet, könnten einzelne Betriebe durch die Moorwiedervernässung ihre Existenzgrundlage verlieren, selbst bei geringem Ausmaß der Wiedervernässung.

Grundsätzlich gab es starke regionale Disparitäten bezüglich der THGE-Vermeidungskosten, die auf die unterschiedlichen agrarstrukturellen und naturräumlichen Rahmenbedingungen zurückzuführen sind, darunter die Viehbesatzdichte, die Anzahl der Biogas- und Biomethananlagen, die Ertragsfähigkeit der Flächen, die Betriebsgrößen, die potenziell erzielbare THGE-Reduktion im Zusammenspiel mit der möglichen Grundwassererhöhung sowie die räumliche Konfiguration der Moorflächen. Aus betrieblicher Sicht ist die Wiedervernässung aus weniger zusammenhängenden und kleineren Moorflächen tendenziell mit geringeren Deckungsbeitragsverlusten und geringeren THGE-Vermeidungskosten verbunden. Allerdings können die Planungs- und Baukosten bei größeren Flächen pro ha deutlich günstiger sein, was einen Trade-off aufzeigt.

Eine hohe THGE-Reduktion ist eigentlich nur bei vollständiger und dauerhafter Wiedervernässung und nicht nur bei rein trockener extensiver Nutzung der Moorflächen möglich. Daraus ergeben sich insbesondere in Regionen mit intensiver Milchviehhaltung wie Oberschwaben Umsetzungshürden der Wiedervernässung in der Praxis. Dies zeigt sich auch daran, dass Grünland auf Moorstandorten derzeit eher intensiver als Grünland auf mineralischen Böden genutzt wird und daher erheblich zur Futtergrundlage der Milchviehbetriebe beiträgt. Aufgrund der kompetitiven Milchviehhaltung in der Region konnten im Zuge der sukzessiven Wiedervernässung von Moorflächen auch Verschiebungen im Anbauspektrum hin zu einer Ausdehnung der Ackerfutterproduktion und insgesamt einer leichten Intensivierung auf der Restfläche beobachtet werden. Aufgrund der hohen Vorzüglichkeit der Milchproduktion in der Untersuchungsregion gehen wir auch davon aus, dass jegliche alternative Nutzungen der wiedervernässten Standorten, die nicht der Futtererzeugung dienen, derzeit eine eher geringe Attraktivität aufweisen. In der Kürze der Zeit konnten jedoch keine alternativen Nutzungen der

Moorstandorte näher betrachtet werden. Die Analyse alternativer Nutzungskonzepte ist Bestandteil einer Folgestudie und erfordert insbesondere eine tiefgründige sozioökonomische Analyse unter Einbindung betroffener landwirtschaftlicher Betriebe.

Die Wiedervernässung von landwirtschaftlich genutzten Moorstandorten ist keine kurzfristig lösbare Aufgabe. Hohe wirtschaftliche Betroffenheiten auf einzelbetrieblicher Ebene können kaum vermieden werden. Es bedarf daher einer sinnvollen und langfristig angelegten Strategie bzw. vorausschauenden Planung zur Wiedervernässung der Moorflächen im Hinblick auf den Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit der wirtschaftlich zukunftsfähigen und resilienten Betriebe. Dies umfasst ein strategisches Flächenmanagement unter Nutzung von Instrumenten wie Flächenpools oder der Flurneuordnung. Flächen einzelner Betriebe ohne Hofnachfolge könnten zur Bildung von Flächenpools gezielt erworben werden, um Betriebe zu kompensieren, die Flächen durch Wiedervernässungsprojekte verlieren. So ist die Zahl der Betriebe mit weniger als 10 ha LF in Baden-Württemberg zwischen 2010 und 2020 bereits um ca. 14 % gesunken (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2025b). In der Untersuchungsregion beträgt die LF der Betriebe mit weniger als 10 ha LF ungefähr der Summe der potenziell wiedervernässbaren Moorflächen.

Wie zuvor beschrieben, wird das Grünland auf den Moorstandorten derzeit überwiegend intensiv genutzt und der Anteil an FAKT II-Maßnahmen ist geringer als bei Grünland auf mineralischen Böden. Eine Extensivierung würde zwar zu keiner Akkumulation des Kohlenstoffs führen, jedoch den derzeitigen Kohlenstoffabbau verringern. Daher könnten kurzfristig zusätzliche Extensivierungsprogramme spezifisch für Moorstandorte angeboten werden, die jedoch eine höhere Attraktivität aus monetärer Sicht als bisher aufweisen müssten.

6 Zusammenfassung

Mit dem Wasserhaushaltsmodell RoGeR konnten für alle Niedermoore und überdeckten Niedermoore im baden-württembergischen Teil von Oberschwaben mittlere langjährige Grundwasserflurabstände für ein Referenzszenario und für ein Moorschutzszenario abgeleitet werden. Das hydrologische Referenzszenario geht davon aus, dass alle landwirtschaftlich genutzten Moorflächen derzeit drainiert werden. Das hydrologische Moorschutzszenario geht von einem kompletten Rückbau der Drainagen auf allen Moorflächen aus. Aufgrund der Modellannahmen findet auf den wiedervernässten Moorstandorten keine wirtschaftliche Nutzung mehr statt. Die modellierten Grundwasserflurabstände können als Grundlage zur Abschätzung des CO₂-Minderungspotenzials durch Rückbau von Drainagen unter gegebenen Landnutzungen dienen. Anhand einer hydrologischen Gliederung der Moorflächen ist es zudem möglich Aussagen über das Wasserdargebot aus den Einzugsgebieten der Moorflächen zu machen und damit das Potenzial für eine Zuleitung von Wasser auf die Moorflächen zu quantifizieren. Die hydrologischen Untersuchungen geben einen ersten Überblick über das Potenzial zur Wiedervernässung und der damit verbundenen Reduktion der CO₂-Emissionen. Für konkrete Maßnahmen wie Rückbau der Drainagestrukturen und Zuleitung von Wasser sind vor Ort weitere ausgiebige Untersuchungen erforderlich.

Ein Ensemble verschiedener Kombinationen globaler und regionaler Klimamodelle zeigt für das RCP8.5 (erst späte Maßnahmen zur CO₂-Reduktion) zum Teil gegensätzliche Trends des Gesamtabflusses für die Zukunft (2071-2100) für das Bodensee-Einzugsgebiet in Oberschwaben. Die verschiedenen Klimamodelle geben sowohl Zunahmen des Gesamtabflusses im Vergleich zu 1981-2010 als auch Abnahmen aus. Die Variation der Ergebnisse der Klimamodelle ist dabei geringer als die zwischenjährliche Variation des Gesamtabflusses im 11-jährigen Modellzeitraum (2013-2023) des Wasserhaushaltsmodells RoGeR für diese Region. Ein eindeutiger Klimatrend des Gesamtabflusses kann aus den Ergebnissen der Klimamodelle für die Zukunft nicht abgeleitet werden.

Im Ergebnis der hydrologischen Analyse lieferte RoGeR die räumliche Lage und den Umfang potenzieller Wiedervernässungsflächen für das geodatenbasierte ökonomische Modell PALUD sowie die jeweils erzielbare THGE-Minderung auf den Moorflächen auf Basis modellierter Grundwasserstände vor und nach der Wiedervernässung und Art der landwirtschaftlichen Nutzung. PALUD optimiert die Landnutzung (Ackerland und Grünland) auf Basis der Maximierung eines Gesamtdeckungsbeitrags in der Untersuchungsregion unter Berücksichtigung agronomischer und betrieblicher Restriktionen. Im Rahmen der Studie wurde PALUD um die einzelbetriebliche Ebene erweitert. Dies war durch die Zurverfügungstellung eines Auszugs der GA-Daten mit anonymisierter ID der Betriebe möglich. Durch einen Zuordnungsalgorithmus wurden Rinderzahlen gemäß statistischen Daten für die Untersuchungsregion auf die Einzelbetriebe verteilt. Zudem wurde die Nachfrage der Biogas- und Biomethanproduktion im Modell berücksichtigt.

Etwa 60 % der Acker- und Grünlandflächen auf Moorstandorten bzw. ca. 12.545 ha wurden im Rahmen der boden-hydrologischen Analyse als wiedervernässbar bewertet. Davon waren ca. 11.400 ha Grünland. Die ausgeschlossenen Flächen waren entweder kleiner als 5 ha oder

in Bezug auf das vorliegende Bodenmaterial ungeeignet, z. B. Flächen mit bereits stark zersetzten Torfschichten und folglich geringem THGE-Minderungspotenzial. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass zu THGE-Vermeidungskosten zwischen 70 und 200 € je t CO₂eq zwischen etwa 50 % und fast 100 % des Wiedervernässungspotenzials ausgeschöpft werden kann. Die Auswirkungen auf der Regions- bzw. Sektorebene waren dabei eher moderat. Insgesamt konnte eine maximale Veränderung der Rinderzahlen um ca. -4 % beobachtet werden sowie ein Rückgang des Umsatzes der Biogas- bzw. Biomethananlagen um ca. 0,4% im Vergleich zur modellierten Referenz. Dabei zeigten sich auch regionale Disparitäten. Bei Wiedervernässung von etwa der Hälfte der wiedervernässbaren Moorflächen liegen die THGE-Vermeidungskosten in Biberach bei ca. 60 €, in Ravensburg bei ca. 100 € und in Sigmaringen zwischen 70 und 80 € je t CO₂eq. In Biberach und dem Bodenseekreis werden bei THGE-Vermeidungskosten von mehr als 130 € je t CO₂eq wenig zusätzliche Flächen wiedervernässt.

Die Auswirkungen des Moorschutzszenarios auf Betriebsebene wurden mithilfe des Modells EFEM analysiert. Hierzu wurden exemplarische Betriebsmodelle mit unterschiedlichen Flächenanteilen landwirtschaftlich genutzter Moorflächen ausgewählt. Die Modellergebnisse zeigen, dass die Effekte für Betriebe mit einem geringen bis mittleren Mooranteil vergleichsweise gering wären. Diese Betriebe könnten die fehlende Futterproduktion der wiedervernässten, derzeit noch genutzten Moorflächen durch Futterzukauf kompensieren. Betriebe mit einem höheren Mooranteil müssten hingegen Tiere abstocken. Davon wären in geringerem Umfang Milchkühe und in stärkerem Maße Mast- und Aufzuchtfernen betroffen. Aufgrund des hohen THGE-Einsparungspotenzials der wiedervernässten Acker- und Grünlandflächen fallen die Vermeidungskosten vergleichsweise gering aus und reichen von 2 bis etwa 80 € je t CO₂eq. Die Wiedervernässung und die damit verbundene Reduktion der Futterproduktion würden jedoch eine Verringerung der betrieblichen Deckungsbeiträge von bis zu 36 % verursachen.

Schlussfolgernd kann gesagt werden, dass die Wiedervernässung von landwirtschaftlich genutzten Moorstandorten keine kurzfristig lösbare Aufgabe darstellt. Trotz geringer bis moderater THGE-Vermeidungskosten, können hohe wirtschaftliche Betroffenheiten auf einzelbetrieblicher Ebene kaum vermieden werden. Bereits bei geringem Ausmaß der Moorwiedervernässung verlieren einzelne Betriebe ihre Existenzgrundlage, sofern keine alternativen wirtschaftlich tragfähigen Nutzungskonzepte existieren. Die Moorwiedervernässung erfordert somit zudem eine vorausschauende strategische Planung im Hinblick auf den Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit von wirtschaftlich zukunftsfähigen und resilienten Betrieben. Dies umfasst ein strategisches Flächenmanagement unter Nutzung von Instrumenten wie Flächenpools oder der Flurneuordnung. Beispielsweise könnten Flächen von Betrieben ohne Hofnachfolge gezielt erworben werden, um Betriebe zu kompensieren, die künftig Flächen durch Wiedervernässungsprojekte verlieren. Kurzfristig könnten beispielsweise im Rahmen von FAKT II zusätzliche Extensivierungsprogramme spezifisch für Grünland auf Moorstandorten angeboten werden, da die räumliche Analyse gezeigt hat, dass Grünland auf Moorstandorten eher intensiver als Grünland auf mineralischen Böden genutzt wird. Durch eine Extensivierung könnte zumindest der weitere Abbau von Bodenkohlenstoff reduziert werden. Im Rahmen künftiger Studien mit Fokus auf eine sozioökonomische Analyse der betroffenen Betriebe, sollten alternative Nutzungskonzepte für wiedervernässte Moorflächen näher betrachtet werden.

Literatur

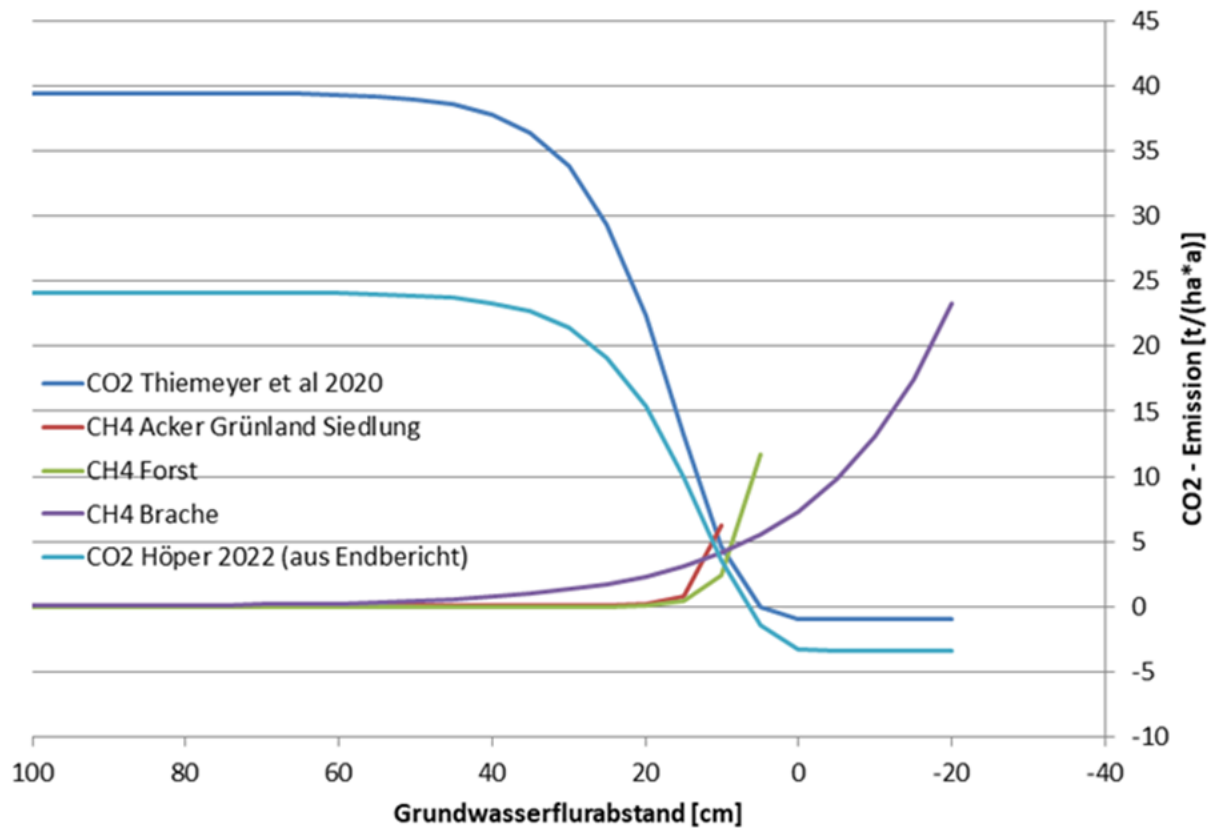
- Angenendt, E., Nitsch, H., Sponagel, C., 2021. Möglichkeiten zur Verstärkung des Aspektes Klimaschutz in landwirtschaftlichen Förderprogrammen. Ad hoc-Studie im Rahmen der Bewertung des MEPL III. [WWW Document]. URL https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/site/pbs-bw-mlr/get/documents_E-1564668575/MLR.LEL/PB5Documents/mlr/Agrarpolitik/Begleit-%20und%20Ad%20hoc%20Studien/MEPL-Klima-Bericht_final_2021-04-15.pdf (accessed 11.10.25).
- Angenendt, E., Petig, E., Sponagel, C., Geier, C.R., Witte, F., Bahrs, E., Weik, J., Winter, A., Lewandowski, I., Reinhardt-Hanisch, A., Gallmann, E., Roth, C., Sarpong, N., Seifert, J., 2024. Analyse von Klimaschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft auf ihr Potenzial zur Emissionsminderung und ihren Auswirkungen auf die Strukturen der Landwirtschaft in Baden-Württemberg [WWW Document]. URL https://lw.landwirtschaft-bw.de/site/pbs-bw-rebrush2024/get/documents_E-475523535/MLR.LEL/PB5Documents/mlr/Klimawandel/KlimaschutzLandBW_Gutachen_2024.pdf (accessed 10.9.25).
- Buschmann, C., Osterburg, B., Martens, T., Schrautzer, J., 2025. Abatement costs of climate-friendly peatland management – Case study results for two German peatland regions under agricultural use. *Agric. Syst.* 227, 104348. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2025.104348>
- Buschmann, C., Röder, N., Berglund, K., Berglund, Ö., Lærke, P. E., Maddison, M., Mander, Ü., Myllys, M., Osterburg, B., van den Akker, J. J., 2020. Perspectives on agriculturally used drained peat soils: Comparison of the socioeconomic and ecological business environments of six European regions. *Land use policy*, 90, 104181.
- DLV, 2019. Kooperativer Klimaschutz durch angepasste Nutzung organischer Böden - Ein Leitfaden. Ansbach (Landschaft als Lebensraum, 26).
- Domke, N., Gocht, A., Grethe, H., 2024. Innovations in Agricultural Land Use: Opportunity Costs of Rewetting Agriculturally Used Organic Soils in Germany. *Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V.*, 60. Abgerufen am 16.01.2026 von https://www.gewisola.de/files/60_GE-WISOLA_Gie%C3%9Fen_Tagungsband.pdf
- Eickenscheidt, T., Bockermann, C., Bodenmüller, D., Großkinsky, T., Gutermuth, S., Hafner, M., Hartmann, H., Hartung, C., Heuwinkel, H., Kapfer, M., Krimmer, J., Krus, M., Kuchler, C., Kuptz, D., Lohr, D., Mack, R., Mäck, U., Mann, S., Meinken, E., Moning, C., Rist, E., Schön, C., Schröder, T., Schumann, A., Theuerkorn, W., Zollfrank, C., Drösler, M. (2023): MOORuse - Paludikulturen für Niedermoorböden in Bayern - Etablierung, Klimarelevanz & Umwelteffekte, Verwertungsmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit, Abschlussbericht, 254 p. doi: 10.5281/zenodo.10778063.
- FNR, 2025. Faustzahlen Biogas. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) [WWW Document]. URL <https://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen> (accessed 12.22.25).
- Fuß, R., 2025. LULUCF Inventare der Bundesländer Deutschlands : Submission 2025.
- Geier, C.R., Angenendt, E., Bahrs, E., Weik, J., Sponagel, C., 2025. Model-based analysis of the impact of an eco-scheme premium on the climate protection potential of short rotation coppice in Baden-Württemberg. *Farming Syst.* 3, 100136. <https://doi.org/10.1016/j.farsys.2024.100136>
- Greifswald Moor Centrum, 2019. . Klimaschutz Auf Moorböden Lösungsansätze Best-Pract.-Beispiele. URL https://greifswaldmoor.de/files/images/pdfs/201908_Broschuere_Klimaschutz%20auf%20Moorb%C3%B6den_2019.pdf (accessed 10.30.21).
- Höper, H., 2022. Treibhausgasemissionen der Moore und weiterer kohlenstoffreicher Böden in Niedersachsen [WWW Document]. https://doi.org/10.48476/GEOFAKT_38_1_2022
- Infodienst Landwirtschaft - Ernährung - Ländlicher Raum, 2025. . Naturräume Baden-Württ. Voralpines Hügel- Moorl. URL <https://lr.landwirtschaft-bw.de/Lde/Startseite/Allgemeines/Voralpines+Huegel+und+Moorland#Einfuehrung> (accessed 12.9.25).

- Krimly, T., Angenendt, E., Bahrs, E., Dabbert, S., 2016. Global warming potential and abatement costs of different peatland management options: A case study for the Pre-alpine Hill and Moorland in Germany. *Agric. Syst.* 145, 1–12.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.02.009>
- LEL, 2025. Landwirtschaftliche Betriebsverhältnisse und Buchführungsergebnisse. Baden-Württemberg - Wirtschaftsjahr 2024/25. Landesanstalt für Landwirtschaft, Ernährung und Ländlichen Raum. [WWW Document]. URL https://lel.landwirtschaft-bw.de/Lde/Startseite/Unsere+Themen/Landwirtschaftliche+Betriebsverhaeltnisse+Baden_Wuerttemberg (accessed 12.29.25).
- LEL, 2024a. Kalkulationsdaten Marktfrüchte - Konventioneller und Ökologischer Anbau [WWW Document]. URL <https://lel.landwirtschaft-bw.de/Lde/Startseite/Unsere+Themen/Pflanzenbau> (accessed 2.24.25).
- LEL, 2024b. Landwirtschaftliche Betriebsverhältnisse und Buchführungsergebnisse. Baden-Württemberg - Wirtschaftsjahr 2023/24. Landesanstalt für Landwirtschaft, Ernährung und Ländlichen Raum. [WWW Document]. URL <https://lel.landwirtschaft-bw.de/Lde/Startseite/Unsere+Themen/landwirtschaftliche+Betriebsverhaeltnisse+BW+-+Heft+73> (accessed 12.29.25).
- LEL, 2023. Landwirtschaftliche Betriebsverhältnisse und Buchführungsergebnisse. Baden-Württemberg - Wirtschaftsjahr 2022/23. Landesanstalt für Landwirtschaft, Ernährung und Ländlichen Raum. [WWW Document]. URL <https://lel.landwirtschaft-bw.de/Lde/Startseite/Unsere+Themen/Landwirtschaftliche+Betriebsverhaeltnisse+BW+-+Heft+72> (accessed 12.29.25).
- LEL, 2022. Kalkulationsdaten Futterbau [WWW Document]. URL <https://lel.landwirtschaft-bw.de/Lde/Startseite/Unsere+Themen/Pflanzenbau> (accessed 2.24.25).
- LfL, 2025. LfL Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft [WWW Document]. URL <https://www.stmelf.bayern.de/idb/default.html> (accessed 10.7.25).
- LGRB, 2023. LGRB-BW BK50-Moor: Feuchtgebiets- und Moorverbreitung. Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB). [WWW Document]. URL <https://metadaten.geoportal-bw.de/geonetwork/srv/api/records/89e7f1ee-f5af-4746-bcae-081b0707194b> (accessed 10.7.25).
- LKV, 2025. Milchleistungsprüfung [WWW Document]. URL <https://lkvbw.de/milchleistungspruefung/milchleistungspruefung.html> (accessed 12.22.25).
- LUBW, 2025. WFS Historische Moorbodenkarte. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg [WWW Document]. URL <https://rips-gdi.lubw.baden-wuerttemberg.de/arcgis/services/wfs/Moorkataster/MapServer/WFSServer?request=GetCapabilities&service=WFS> (accessed 12.22.25).
- Osterburg, B., Heidecke, C., Bolte, A., 2019. Folgenabschätzung für Maßnahmenoptionen im Bereich Landwirtschaft und landwirtschaftliche Landnutzung, Forstwirtschaft und Holznutzung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. Johann Heinrich von Thünen-Institut, DE.
- Petig, E., Choi, H.S., Angenendt, E., Kremer, P., Grethe, H., Bahrs, E., 2019. Downscaling of agricultural market impacts under bioeconomy development to the regional and the farm level—An example of Baden-Wuerttemberg. *GCB Bioenergy* 11, 1102–1124.
<https://doi.org/10.1111/gcbb.12639>
- Röhl, M., Röhl, S., Lachmann, H., Vincon, S., Billen, N., 2025. Treibhausgasemissionen aus organischen Böden in Baden-Württemberg (Endbericht).
- Schönhart, M., Schmid, E., Schneider, U.A., 2011. CropRota – A crop rotation model to support integrated land use assessments. *Eur. J. Agron.* 34, 263–277.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.004>
- Schwemmler, R., Leistert, H., Steinbrich, A., Weiler, M., 2024. RoGeR v3.0.5 – a process-based hydrological toolbox model in Python. *Geosci. Model Dev.* 17, 5249–5262.
<https://doi.org/10.5194/gmd-17-5249-2024>

- Schwieder, M., Wesemeyer, M., Frantz, D., Pfoch, K., Erasmi, S., Pickert, J., Nendel, C., Hostert, P., 2022. Mapping grassland mowing events across Germany based on combined Sentinel-2 and Landsat 8 time series. *Remote Sens. Environ.* 269, 112795. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112795>
- Sponagel, C., Bendel, D., Angenendt, E., Weber, T.K.D., Gayler, S., Streck, T., Bahrs, E., 2022. Integrated assessment of regional approaches for biodiversity offsetting in urban-rural areas – A future based case study from Germany using arable land as an example. *Land Use Policy* 117, 106085. <https://doi.org/10.1016/j.landuse-pol.2022.106085>
- Sponagel, C., Weik, J., Feuerbacher, A., Bahrs, E., 2024. Exploring the climate change mitigation potential and regional distribution of agrivoltaics with geodata-based farm economic modelling and life cycle assessment. *J. Environ. Manage.* 359, 121021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121021>
- Sponagel, C., Weik, J., Witte, F., Back, H., Wagner, M., Ruser, R., Bahrs, E., 2025. Climate change mitigation potential and economic evaluation of selected technical adaptation measures and innovations in conventional arable farming in Germany. *J. Environ. Manage.* 374, 123884. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123884>
- Stahl, K., Weiler, M., van Tiel, M., Kohn, I., Hänsler, A., Freudiger, D., Seibert, J., Gerlinger, K., Moretti, G., 2022. Auswirkungen des Klimawandels auf die Abflussanteile aus Regen, Schnee und Gletscherschmelze im Rhein und seinen Zuflüssen. Synthesebericht. KHR Bericht Nr. I-28. Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR), Lelystad.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2025a. Rinderbestand - Stichtag - regionale Ebene [WWW Document]. URL <https://www.regionalstatistik.de/genesis//online?operation=table&code=41312-01-01-4-B&bypass=true&levelindex=1&levelid=1759821901887#abreadcrumb> (accessed 10.7.25).
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2025b. Agrarstrukturerhebung / Landwirtschaftszählung [WWW Document]. URL <https://www.regionalstatistik.de/genesis/online?operation=statistic&levelindex=0&levelid=1766437387346&code=41141#abreadcrumb> (accessed 10.7.25).
- Steinbrich, A., Leistert, H., Weiler, M., 2021. RoGeR – ein bodenhydrologisches Modell für die Beantwortung einer Vielzahl hydrologischer Fragen. *RoGeR – Ein Bodenhydrologisches Modell Für Beantwortung Einer Vielzahl Hydrol. Frag.* 2021, 94–101. <https://doi.org/10.3243/kwe2021.02.004>
- Tanneberger, F., Birr, F., Couwenberg, J., Kaiser, M., Luthardt, V., Nerger, M., Pfister, S., Oppermann, R., Zeitz, J., Beyer, J., van der Linden, S., Wichtmann, W., Närmann, F., 2022. Saving soil carbon, greenhouse gas emissions, biodiversity and the economy: paludiculture as sustainable land use option in German fen peatlands. *Regional Environmental Change*, 22(2), 69.
- Tegetmeyer, C., Barthelmes, K.-D., Busse, S., Barthelemes, A., 2021. Aggregierte Karte der organischen Böden Deutschlands, Greifswald Moor Centrum-Schriftenreihe 01/ 2021.
- Tiemeyer, B., Albiac Borraz, E., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer, C., Drösler, M., Ebli, M., Eickenscheidt, T., Fiedler, S., Förster, C., Freibauer, A., Giebels, M., Glatzel, S., Heinichen, J., Hoffmann, M., Höper, H., Jurasinski, G., Leiber-Sauheitl, K., Peichl-Brak, M., Roßkopf, N., Sommer, M., Zeitz, J., 2016. High emissions of greenhouse gases from grasslands on peat and other organic soils. *Glob. Change Biol.* 22, 4134–4149. <https://doi.org/10.1111/gcb.13303>
- Tiemeyer, B., Freibauer, A., Borraz, E.A., Augustin, J., Bechtold, M., Beetz, S., Beyer, C., Ebli, M., Eickenscheidt, T., Fiedler, S., Förster, C., Gensior, A., Giebels, M., Glatzel, S., Heinichen, J., Hoffmann, M., Höper, H., Jurasinski, G., Laggner, A., Leiber-Sauheitl, K., Peichl-Brak, M., Drösler, M., 2020. A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. *Ecol. Indic.* 109, 105838. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105838>
- Vos, C., 2025. Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2023: Input data and emission results.

- WBAE, WBW, 2016. . Klimaschutz Land- Forstwirtsch. Sowie Den Nachgelagerten Bereichen Ernähr. Holzverwendung Gutacht. Berl. URL https://www.bmleh.de/Shared-Docs/Downloads/DE/_Ministerium/Beiraete/agrarpolitik/Klimaschutzgutachten_2016.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (accessed 11.24.25).
- Wichmann, S., Reichelt, F., Nordt, A., 2022. Herleitung von Förderpauschalen zur Umsetzung von Moorklimaschutzprojekten. Greifswald Moor Centrum-Schriftenreihe 01/2022 (Selbstverlag, ISSN 2627-910X), 33 S. [WWW Document]. URL https://www.researchgate.net/publication/369595699_Herleitung_von_Forderpauschalen_zur_Umsetzung_von_Moorklimaschutzprojekten (accessed 12.22.25).
- Wiegmann, K., Scheffler, M., Schneider, C., Lakner, S., Sommer, P., Meyer-Jürshof, M., 2022. Klimaschutz in der GAP 2023-2027 [WWW Document]. URL <https://openumwelt.de/handle/123456789/2674> (accessed 12.23.25).
- Willenbockel, D., 2024. Peatland restoration in Germany: A dynamic general equilibrium analysis. *Ecol. Econ.* 220, 108187. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108187>
- Ziegler, R., Wichmann, W., Abel, S., Kemp, R., Simard, M., Joosten, H., 2021. Wet peatland utilisation for climate protection – An international survey of paludiculture innovation. *Cleaner Engineering and Technology*, 5, 100305.

Anhang



Anhang 1: *CO₂-Emissionen und CO₂-Äquivalenten aus CH₄ in Abhängigkeit des Grundwassers. Die CO₂-Emissionen sind hier im Vergleich dargestellt aufgrund der Formeln Thiemeyer (2020) für mittlere und intensive Nutzung und von Höper (2022) für extensiv genutztes Grünland*

Anhang 2: *Übersicht über die genutzten Öko-Regelung und FAKT II-Maßnahmen bei der Grünlandanalyse (siehe Tabelle 12)*

Öko-Regelungen	
ÖR1	Bereitstellung von Flächen zur Verbesserung der Biodiversität und Erhaltung von Lebensräumen hier: Altgrasstreifen und -flächen
ÖR4	Extensivierung des gesamten Grünlandes des Betriebes
ÖR5	Extensive Bewirtschaftung von Dauergrünlandflächen mit Nachweis von mindestens 4 Kennarten
ÖR7	Landbewirtschaftung in Natura 2000-Gebieten entsprechend der Schutzziele
FAKT II Maßnahmen	
B1.2	Extensive Bewirtschaftung bestimmter Grünlandflächen ohne N-Düngung in Betrieben ab 0,3 RGV/ha GL
B3.2	Bewirtschaftung von Artenreichem DGL mit mind. 6 Kennarten
B4	Extensive Nutzung von §30 BNatSchG/§33 NatSchG Biotopen
B5	Extensive Nutzung der FFH-Lebensraumtypen Flach- und Bergmähwiesen
D2	Ökolandbau