



LfL



**BAYERISCHE
STAATSGÜTER**
Landwirtschaft gestalten



**Peatland
Science
Centre**



Heimat verbindet.

Entwicklung moorverträglicher Bewirtschaftungsmaßnahmen für landwirtschaftlichen Moor- und Klima- schutz (MoorBewi)



Gefördert durch
Bayerisches Staatsministerium für
Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus



Projektbericht

Projektförderung:	Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (FuE) durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus (StMELF)
Förderkennzeichen:	KL/20/05
Geschäftszeichen:	30-66
Projektlaufzeit:	01.01.2021 – 31.12.2024
Projektleitung:	Dr. Annette Freibauer, Dr. Michael Diepolder Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Projektkoordination:	Dr. Lennart Gosch Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Projektbearbeitung:	Dr. Annette Freibauer, Dr. Michael Diepolder, Dr. Lennart Gosch, Bastian Zwack, Eva Schmidt, David Weiß, Teresa Koller, Agnes Lauko, Ute-Irene Böhm, Paul Heinemann Institut für Agrarökologie und Biologischen Landbau (IAB) Dr. Stephan Hartmann, Bastian Zwack Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (IPZ) Stefan Thurner, Annika Woortman Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT) Dr. Ewald Sticksel, Anton Deutinger, Anton Friedrich, Julian Goppelt, Johann Pflügler, Andreas Walz, Josef Wieland Bayerische Staatsgüter (BaySG) Prof. Dr. Matthias Drösler, Florian Braumann, Marie-Luise Dexl, Lena Jörg, Daniel Lenz, Frank Pannemann, Pia Röder, Martina Schlaipfer Peatland Science Center an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (PSC-HSWT) Dr. Ulrich Mäck, Anja Schumann Arbeitsgemeinschaft Schwäbisches Donaumoos e.V. (ARGE) Michael Hafner, Raphael Burkhardtsmayer, Anita Walter Donaumoos-Zweckverband (DMZV)
Titelbild:	Rohrglanzgrasernte im Schwäbischen Donaumoos von A. Schumann, ARGE Donaumoos
Herausgegeben im:	Dezember 2024

Entwicklung moorverträglicher Bewirtschaftungsmaßnahmen für landwirtschaftlichen Moor- und Klimaschutz (MoorBewi)

Zitationsvorschlag:

Gosch, Lennart; Koller, Teresa; Schmidt, Eva; Weiß, David; Zwack, Bastian; Diepolder, Michael; Hartmann, Stephan; Woortman, Annika; Thurner, Stefan; Sticksel, Ewald; Braumann, Florian; Dexl, Marie-Luise; Lenz, Daniel; Pannemann, Frank; Röder, Pia; Schlaipfer, Martina; Drösler, Matthias; Schumann, Anja; Mäck, Ulrich; Burkhardtsmayer, Raphael; Walter, Anita; Hafner, Michael; Freibauer, Annette (2024): Entwicklung moorverträglicher Bewirtschaftungsmaßnahmen für landwirtschaftlichen Moor- und Klimaschutz (MoorBewi), Projektbericht, Freising: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Dezember 2024.

Inhaltsverzeichnis

Seite

Zusammenfassung	19
1 Einleitung	23
1.1 Ausgangslage und Stand der Forschung in Bayern (LfL).....	24
1.2 Projektziele (LfL).....	26
1.3 Vorhabenstruktur (LfL).....	26
1.4 Untersuchungsstandorte (LfL)	30
1.4.1 Versuchsstation Karolinenfeld (LfL, BaySG).....	31
1.4.2 Klosterland Benediktbeuern (LfL)	34
1.4.3 Freisinger Moos (PSC-HSWT)	35
1.4.4 Altbayerisches Donaumoos (LfL, PSC-HSWT, DMZV)	37
1.4.5 Schwäbisches Donaumoos (ARGE).....	39
2 Wiedervernässung und Wassermanagement.....	43
2.1 Vernässungs- und Wasserstandsregelungstechniken (LfL, PSC-HSWT)	43
2.1.1 Wasserregelung in Karolinenfeld (BaySG, LfL)	46
2.1.1.1 Wiedervernässung der Versuchsflächen (BaySG, LfL)	48
2.1.1.2 Wiedervernässung der gesamten Versuchsstation (LfL).....	52
2.1.1.3 Wasseranalytische Untersuchungen (LfL)	58
2.1.2 Wasserregelung im Freisinger Moos (PSC-HSWT)	61
2.1.3 Wasserregelung am Ackerstandort bei Königsmoos im Altbayerischen Donaumoos (PSC-HSWT)	66
2.1.4 Wasserregelung am Langenweiher im Altbayerischen Donaumoos (LfL)	67
2.1.5 Wasserregelung im Klosterland Benediktbeuern (LfL)	69
2.1.6 Bewertung der erprobten Wasserregelungstechniken für die landwirtschaftliche Praxis (LfL)	71
2.2 Abstimmung der Wasserstandsanhebung mit den Vor-Ort-Akteuren am Beispiel der Versuchsstation Karolinenfeld (BaySG).....	73
3 Nutzungsmöglichkeit Nassgrünland.....	75
3.1 Einsatz von Saatgutmischungen mit nassetoleranten Futtergräsern (LfL)	76
3.1.1 Schnittregime und Düngung (LfL).....	77
3.1.2 Anhebung des Grundwasserstandes und Einteilung der Versuchspartzellen in Wasserstufen (LfL)	78
3.1.3 Erhebungen und statistische Auswertung (LfL).....	80

3.1.4	Veränderung der Bestandszusammensetzung nach der Wasserstandsanhebung (LfL).....	82
3.1.5	Scherfestigkeit der Grasnarbe (LfL).....	86
3.1.6	Erträge und Futterqualität (LfL).....	88
3.1.7	Eigenschaften der Aufwüchse bei unterschiedlichen Schnitthäufigkeiten (LfL).....	101
3.1.8	Entwicklung einer Saatgutmischung für grundwassernahe Moorstandorte (LfL).....	103
3.1.9	Umwandlung von Acker in Grünland auf der Versuchsstation Karolinenfeld (BaySG)	104
3.1.10	Umwandlung von Acker in Weideland im Schwäbischen Donaumoos (ARGE)	104
3.1.11	Nachsaat in bestehendes Grünland am Standort Langenweiher (LfL)...	105
3.2	Eignung von Nassgrünlandaufwuchs für andere Verwendungszwecke (DMZV)	106
3.3	Landtechnische Optionen in Bayern (LfL)	106
3.3.1	Eingesetzte Technik für die Bewirtschaftung nasser Moorstandorte (LfL)	108
3.3.2	Datenerfassung und Messgeräte (LfL).....	122
3.3.3	Aufwand (Verfahrensschritte, Arbeitszeit) für die Bewirtschaftung nasser Moorstandorte (LfL)	130
3.3.4	Geerntete Erträge und Qualitäten (LfL).....	131
3.3.5	Optimierungsmöglichkeiten für den Technikeinsatz (LfL).....	139
3.3.6	Fazit Landtechnik (LfL)	140
3.3.7	Aufbau eines Fuhrparks auf der Versuchsstation Karolinenfeld (BaySG)	141
3.4	Nassweidesysteme (ARGE)	142
3.4.1	Installation von Liegeflächen (ARGE)	143
3.4.2	Erfahrungen mit den Liegeflächen (ARGE)	144
3.5	Fazit Etablierung und Bewirtschaftung von Nassgrünland (LfL, ARGE)	145
4	Etablierung, Produktionstechnik und Verwertung von Anbau-Paludikulturen	147
4.1	Etablierung und Vermehrung von Paludikulturen (PSC-HSWT)	147
4.1.1	Keimfähigkeit (PSC-HSWT)	148
4.1.1.1	Saatgutbeschaffung: Material und Methoden (PSC-HSWT)	148
4.1.1.2	Keimversuche: Material und Methoden (PSC-HSWT)	149
4.1.1.3	Keimversuche: Ergebnisse (PSC-HSWT).....	149

4.1.1.4	Keimversuche: Diskussion (PSC-HSWT)	154
4.1.1.5	Fazit Keimversuche (PSC-HSWT)	155
4.1.2	Keimungsbedingungen (PSC-HSWT)	155
4.1.2.1	Gewächshausversuche 23-02, 23-03: Keimbed. in versch. Gewächshäusern (PSC-HSWT)	155
4.1.2.2	Saattiefe (Gewächshausversuch 24-02, Keimversuch) (PSC-HSWT)...	156
4.1.2.3	Licht (Keimversuch im Keimschrank) (PSC-HSWT)	157
4.1.2.4	Diskussion Keimungsbedingungen (PSC-HSWT).....	157
4.1.2.5	Fazit Keimungsbedingungen (PSC-HSWT)	157
4.1.3	Saatgutbildung (PSC-HSWT)	158
4.1.3.1	Saatgutverfügbarkeit am Markt (PSC-HSWT)	158
4.1.3.2	Saatgut-Monitoring 2023-2024 Langenmosen (PSC-HSWT)	158
4.1.3.3	Saatgutbildung an verschiedenen Standorten 2024 (PSC-HSWT)	158
4.1.3.4	Maschinentest Dreschen (PSC-HSWT)	159
4.1.3.5	Diskussion Saatgutbildung (PSC-HSWT)	159
4.1.3.6	Fazit Saatgutbildung (PSC-HSWT)	159
4.1.4	Anzucht im Gewächshaus (PSC-HSWT).....	160
4.1.4.1	Bachelorarbeit Jungpflanzenaufzucht (PSC-HSWT).....	160
4.1.5	Vegetative Vermehrung (PSC-HSWT).....	161
4.1.5.1	Gewächshausversuch 24-01 Rhizomteilung Hormone (PSC-HSWT)...	161
4.1.5.2	Gewächshausversuch 24-03 Vegetationspunkt (PSC-HSWT)	162
4.1.5.3	Erfahrung Pflanzenteilung (PSC-HSWT)	162
4.1.5.4	Tastversuch (Feldversuch) 23-3 Rhizomteilung (PSC-HSWT).....	163
4.1.5.5	Fazit vegetative Vermehrung und Empfehlung für die Praxis (PSC-HSWT)	164
4.1.6	Etablierungsversuche (PSC-HSWT)	164
4.1.6.1	Methoden (allgemeiner Teil) (PSC-HSWT)	165
4.1.6.2	Beikrautmanagement (Versuch 22-02) (PSC-HSWT).....	165
4.1.6.3	Weitere Feldversuche zur Saat (PSC-HSWT)	175
4.1.6.4	Gesamtdiskussion Saat (PSC-HSWT)	177
4.1.6.5	Weitere Pflanzversuche (PSC-HSWT)	179
4.1.6.6	Gesamtdiskussion Pflanzung (PSC-HSWT)	181
4.1.7	Gesamtfazit und Empfehlungen für die Praxis für die Etablierung der Sumpf-Segge (PSC-HSWT).....	183
4.2	Ernte von Anbau-Paludikulturen (LfL, ARGE, DMZV)	184
4.2.1	Fazit Landtechnik Paludikulturen (LfL).....	188

4.3	Verwertungsmöglichkeiten für Paludikulturen (DMZV, ARGE).....	188
4.3.1	Methodik (DMZV).....	188
4.3.2	Überblick und Wertung der Verwertungsoptionen – Paludiverwertungsmatrix (DMZV)	189
4.3.3	Kulturauswahl und Besonderheiten bei der Ernte (DMZV)	190
4.3.3.1	Auswahl der Paludikulturen für Testversuche (DMZV).....	190
4.3.3.2	Ernte und Aufbereitungsnotwendigkeit von Paludibiomasse (DMZV, ARGE).....	192
4.3.4	Wertschöpfung und Vermarktung (DMZV).....	194
4.3.4.1	Aufbau von Paludi-Wertschöpfungsketten (DMZV).....	194
4.3.4.2	Einkommensstruktur und Vermarktung (DMZV).....	196
4.3.4.3	Koordinierte Vermarktungsbemühungen (DMZV)	197
4.3.5	Untersuchte Verwertungsbereiche und einzelne Paludiprodukte (inkl. Machbarkeitsstudie) (DMZV, ARGE).....	199
4.3.5.1	Paludifasern und Holzzellstoffersatz (DMZV, ARGE)	200
4.3.5.2	Bauprodukte inkl. Machbarkeitsstudie Möbelplatten (DMZV, ARGE, LfL)	201
4.3.5.3	Faserverstärkte Kunststoffe (DMZV, ARGE)	205
4.3.5.4	Faserverbundstoffe für Leichtbauteile in der Automobilindustrie (DMZV)	206
4.3.5.5	Pflanzenkohle (DMZV).....	207
4.3.5.6	Einstreu (DMZV, ARGE)	207
4.3.5.7	Faserverstärker Mörtelbeton (DMZV).....	208
4.3.5.8	Substrate (DMZV).....	208
4.3.5.9	Lebensmittel, Gewürze und Heilkräuter (DMZV, ARGE)	209
4.3.5.10	Textilien (DMZV)	209
4.3.5.11	Biogas (DMZV)	210
4.3.6	Fazit (DMZV)	210
5	Treibhausgasmessungen	212
5.1	Manuelle Haubenmessungen (PSC-HSWT)	212
5.1.1	Material und Methoden (PSC-HSWT).....	212
5.1.2	Ackerstandort im Altbayerischen Donaumoos (PSC-HSWT)	213
5.1.2.1	Ergebnisse (PSC-HSWT).....	213
5.1.2.2	Diskussion (PSC-HSWT).....	214
5.1.3	Nassgrünland im Freisinger Moos (PSC-HSWT).....	215
5.1.3.1	Ergebnisse aus 2022 (PSC-HSWT).....	215

5.1.3.2	Ergebnisse aus 2023 (PSC-HSWT).....	217
5.1.3.3	Diskussion (PSC-HSWT).....	218
5.1.4	Wasserbüffelweide im Schwäbischen Donaumoos (PSC-HSWT)	220
5.1.4.1	Ergebnisse (PSC-HSWT).....	220
5.1.5	Versuchsstation Karolinenfeld (PSC-HSWT).....	223
5.2	Eddy-Kovarianz Messtechnik (PSC-HSWT).....	223
5.2.1	Methodik (PSC-HSWT).....	223
5.2.2	Messergebnisse für Wasserbüffelweide im Schwäbischen Donaumoos (PSC-HSWT)	224
5.2.3	Messergebnisse für Nassgrünland auf der VS Karolinenfeld (PSC-HSWT)	225
6	Entwicklung des Moorbauernprogramms.....	227
6.1	Konzeptvorschlag für ein Förderprogramm (LfL)	228
6.2	Programmteile für ein Förderprogramm (LfL)	229
6.3	Erste Erfahrungen aus der Praxis (ARGE).....	230
7	Wissenstransfer	232
7.1	Veranstaltungen und Kommunikationsprodukte (PSC-HSWT, LfL)	232
7.2	Demonstration von einsetzbarer Landtechnik (LfL)	240
7.3	Feldtage (ARGE, DMZV).....	241
7.3.1	Schwäbisches Donaumoos (ARGE).....	241
7.3.2	Altbayerisches Donaumoos (DMZV)	241
7.4	Entwicklung der Versuchsstation Karolinenfeld zu einem Moorversuchsgut (BaySG).....	242
7.5	Fazit Wissenstransfer (PSC-HSWT).....	242
8	Verwertungsmöglichkeiten der Ergebnisse und Erfolgsaussichten nach Projektende.....	244
8.1	Aktuelle Verwertung der Ergebnisse	244
8.2	Erfolgsaussichten nach Projektende und Ausblick	244
9	Danksagung.....	247
10	Literatur	249
11	Anhang	257
11.1	Evaluierungs-Matrix für die Nährstofffreisetzung und Nährstoffretention (LfL)	257
11.2	Steckbriefe Fuhrpark Versuchsstation Karolinenfeld (BaySG)	260
11.3	Übersicht über Forschungs- und Entwicklungsergebnisberichte (DMZV)	270

Abbildungsverzeichnis

Seite

Abbildung 1.1: Übersichtskarte von Bayern mit den MoorBewi-Untersuchungsstandorten.	31
Abbildung 1.2: Übersichtskarte der Versuchsstation Karolinenfeld.	34
Abbildung 1.3: Übersichtskarte der Untersuchungsflächen im Klosterland Benediktbeuern.	35
Abbildung 1.4: Übersichtskarte der Untersuchungsfläche im Freisinger Moos.	36
Abbildung 1.5: Übersichtskarte der Untersuchungsfläche in Langenweiher im Altbayerischen Donaumoos.	38
Abbildung 1.6: Übersichtskarte der Untersuchungsfläche am Ackerstandort im Altbayerischen Donaumoos.	38
Abbildung 1.7: Übersichtskarte der Untersuchungsfläche Riedhausen im Schwäbischen Donaumoos.	41
Abbildung 1.8: Übersichtskarte der Untersuchungsfläche mit Wasserbüffeln im Schwäbischen Donaumoos.	41
Abbildung 2.1: Schemata der untersuchten Wasserregelungstechniken.	43
Abbildung 2.2: Wasserstand und Überstau auf Fläche 1 der Versuchsstation Karolinenfeld.	47
Abbildung 2.3: Grundwasserflurabstände auf Untersuchungsfläche 1 der Versuchsstation Karolinenfeld.	49
Abbildung 2.4: Grundwasserflurabstände (Median) auf der Untersuchungsfläche 2 der Versuchsstation Karolinenfeld für das hydrologische Jahr 2022 (a) und 2023 (b).	50
Abbildung 2.5: Das Messwehr im Erlbach, dem zentralen Vorfluter auf der Versuchsstation Karolinenfeld.	52
Abbildung 2.6: Übersicht über die berechenbaren Komponenten im Modellsystem MIKE SHE, das für die Machbarkeitsstudie zur Wiedervernässung der Versuchsstation Karolinenfeld eingesetzt wurde.	53
Abbildung 2.7: Flächennutzungspotential mit Angaben der mittleren jährlichen Grundwasserflurabstände und der Tage mit Überstau pro Jahr für die Machbarkeitsstudie Karolinenfeld (DHI WASY GmbH, 2024).	57
Abbildung 2.8: Resultierende Wasserbilanz der Machbarkeitsstudie Karolinenfeld für ein Jahr vor und nach den Wiedervernässungsmaßnahmen (DHI WASY GmbH, 2024).	57
Abbildung 2.12: Schematische Darstellung von Transekt 1 im Freisinger Moos.	62
Abbildung 2.13: Wasserstand (Transekt 1) im Freisinger Moos mit Unterflurbewässerung.	63
Abbildung 2.14: Schematische Darstellung von Transekt 2 im Freisinger Moos.	64
Abbildung 2.15: Wasserstand (Transekt 2) im Freisinger Moos mit Unterflurbewässerung.	64
Abbildung 2.16: Verlauf der Grundwasserstände (Water Table Depth) über den Zeitraum von Januar 2022 bis Januar 2023 für die vier verschiedenen Treatments auf dem Ackerstandort im Altbayerischen Donaumoos.	67
Abbildung 2.17: Stauwehr in Langenweiher im Altbayerischen Donaumoos.	68
Abbildung 2.18: Grundwasserflurabstand im Langenweiher im Altbayerischen Donaumoos vor und nach dem Grabenanstau.	69

Abbildung 2.19: Kunststoffschacht mit abnehmbaren Rohraufsatz (L: 40 cm) im Klosterland Benediktbeuern.....	70
Abbildung 2.20: Grundwasserganglinien auf der Untersuchungsfläche Klosterland Benediktbeuern.....	71
Abbildung 2.21: Die wichtigsten Faktoren, die den Flächenwasserstand beeinflussen.....	72
Abbildung 3.1: Anteile der für das Jahr 2022 gemeldeten Nutzung (InVeKoS) von Flächen in der Moorbodenkulisse in Bayern (links) und Anteile von Flächen mit Agrarumweltmaßnahmen für Grünland in der Moorbodenkulisse in Bayern (rechts).	75
Abbildung 3.2: Häufigkeitsverteilung der Tagesmittelwerte des Grundwasserstandes unter Geländeoberkante (GOK) an einer für die Untersuchungsfläche repräsentativen Messstelle auf der Versuchstation Karolinenfeld.....	78
Abbildung 3.3: Blick auf die Untersuchungsfläche an der Versuchstation Karolinenfeld mit Versuchsparzellen in der feuchten bis mäßig feuchten Bodensenke und in frischen bis mäßig trockenen Randbereichen (Foto: Birgit Gleixner, LfL).	79
Abbildung 3.4: Relative Veränderung der Ertragsanteile vor dem ersten Schnitt zwischen den Jahren 2021 und 2023 (links) sowie die Entwicklung der Relativen Diversität der Pflanzenbestände (rechts; SF = Standardfehler).	82
Abbildung 3.5: Pflanzenbestände ohne bzw. mit einem zu geringen Anteil an nassetoleranten Futtergräsern (RG6 oben, RG7 unten) waren in feuchten bis mäßig feuchten Bereichen nicht mehr als Futter verwertbar (abgestorbenes, nicht erntbares Pflanzenmaterial).....	84
Abbildung 3.6: Entwicklung der Pflanzenbestände unterschiedlicher Saatgutmischungen mit nassetoleranten Leitgräsern in feuchten bis mäßig feuchten Bereichen in den Jahren 2021-2023.	86
Abbildung 3.7: Zusammenhang zwischen der gemessenen Scherfestigkeit (y-Achse) und dem Ertragsanteil (x-Achse, %) der als nassetolerant bewerteten Futtergräser.	87
Abbildung 3.8: Gemessene Scherfestigkeiten ausgewählter Grünlandmischungen bei Ernteterminen unter nassen Bedingungen.....	87
Abbildung 3.9: Gesamtertrag (links), Rohproteingehalt des 2. Schnitts (Mitte) und Energiedichte des 2. Schnitts (rechts) drei ausgewählter Mischungen bei Wasserstufe T: frisch-feuchte Bereiche; Wasserstufe F: feucht-nasse Bereiche.....	88
Abbildung 3.10: Grasnarbe im neu etablierten Weidegrünland im Schwäbischen Donaumoos im Sommer 2024.....	105
Abbildung 3.11: Bayernweite Übersicht zu den Praxisbetrieben für die landtechnischen Untersuchungen.....	107
Abbildung 3.12: Versuchsplan Verfahrenstechniken und Saatgutmischungen am Moorversuchsgut in Karolinenfeld (Eigene Darstellung basierend auf einer Grundlage von Bastian Zwack).....	113
Abbildung 3.13: Fendt 211 Traktor mit Secco Duplex 310F Doppelmesser Frontmähwerk und Secco Duplex 335H Heckmähwerk (links) und Brielmaier Motormäher mit BB- Umwelttechnik Doppelmesser (rechts) (Bilder: Annika Woortman)	115

Abbildung 3.14: Traktor mit Standardbereifung vorne und hinten und einem Krone KW 13.02/12T Kreiselzettwender (links) und Ibex Einachsmotormäher mit einem Kreiselzettwender SIP (Spinder 350/4 Alp H Zetter) (rechts) (Bilder: Annika Woortman)	115
Abbildung 3.15: Leicht angepasste und angepasste Standardtechnik mit einem Kammschwader von BB-Umwelttechnik (links) und Spezialtechnik mit dem AllroundMax Heuschieber von Seeber (rechts) (Bilder: Annika Woortman)	116
Abbildung 3.16: Leicht angepasste und angepasste Standardtechnik mit einem Steyr Ladewagen (links) und Spezialtechnik mit Biber Rundballenpresse (rechts) (Bilder: Annika Woortman)	116
Abbildung 3.17: Verfahrenstechniken 1. Schnitt Exaktversuch Karolinenfeld	117
Abbildung 3.18: Schäffer Teleskoplader 6370 T (links) und Ballen Wickelgerät von McHale (995LM) (rechts) (Bilder: Annika Woortman).....	117
Abbildung 3.19: Leicht angepasste Standardtechnik (links) und angepasste Standardtechnik (rechts) (Bilder: Annika Woortman)	118
Abbildung 3.20: Verfahrenstechniken 2. Schnitt Exaktversuch Karolinenfeld	119
Abbildung 3.21: Fendt 275 S Traktor mit einem Pöttinger TOP 42 N Kreiselchwader (links) und IBEX-Motormäher mit Reform Bandrechen (rechts) (Bilder: Annika Woortman)	119
Abbildung 3.22: Verfahrenstechniken 3. Schnitt Exaktversuch Karolinenfeld	120
Abbildung 3.23: Verfahrenstechniken 1-3. Schnitt Exaktversuch Karolinenfeld.....	120
Abbildung 3.24: Mähtechnikeinsatz im Versuchsjahr 2024 (Bilder: Annika Woortman)	121
Abbildung 3.25. Schwadtechnikeinsatz im Versuchsjahr 2024 (Bilder: Annika Woortman)	121
Abbildung 3.26: Bergetechnikeinsatz im Versuchsjahr 2024 (Bilder: Annika Woortman)	122
Abbildung 3.27: Bestandshöhenmessung mittels "drop down" Methode (Bilder: Annika Woortman).....	122
Abbildung 3.28: Quadratmeter auf einer Versuchsparzelle (Bild: Annika Woortman)	123
Abbildung 3.29: Greisinger Digitalthermometer GTH 1170 (Bild: Annika Woortman)	125
Abbildung 3.30: Silierte Siloballen bei der Probenahme (links) und Soloballen, der nach 90 Tagen Silierung beprobt wird (rechts). (Bilder: Annika Woortman)	125
Abbildung 3.31: Metabo Bohrmaschine mit angebautem Bohraufsatz zur Siloballenbeprobung (Bilder: Annika Woortman).....	125
Abbildung 3.32: Bodenfeuchtemessgerät bei der Messung auf der Versuchsfläche (Bild: Annika Woortman)	126
Abbildung 3.33: Scherfestigkeitsmessgerät im Einsatz (Bild: Annika Woortman).....	127
Abbildung 3.34: Frisch gewickelter Rundballen beim Wiegen (links) und istorische Sackwaage der Gebr. Janner (rechts) (Bilder: Annika Woortman).....	128
Abbildung 3.35: Fuhrwerkswaage der BaySG in Karolinenfeld (links) und mobile Achslastwaage auf den Praxisbetrieben ohne Fuhrwerkswaage (rechts) (Bilder: Annika Woortman)	128
Abbildung 3.36: Trockenmasseertrag auf einschürigen nassen Moorpraxisflächen.....	131
Abbildung 3.37: Trockenmasseertrag auf zweischürigen nassen Moorflächen.....	132

Abbildung 3.38: Rohproteinерtrag auf einschürigen nassen Moorpraxisflächen.....	132
Abbildung 3.39: Rohproteinерtrag auf zweischürigen nassen Moorpraxisflächen	133
Abbildung 3.40: Energieertrag auf einschürigen nassen Moorpraxisflächen	133
Abbildung 3.41: Energieertrag auf zweischürigen nassen Moorpraxisflächen.....	134
Abbildung 3.42: Korrelation des Gesamtertrags [t/ha] und des potenziellen Ertrags [t/ha] pro Schnitt, dargestellt anhand einer linearen Regression.....	135
Abbildung 3.43: Pufferkapazität je Schnitt und Verfahrenstechnik und Saatgutmischung	136
Abbildung 3.44: Wasserlösliche Kohlenhydrate je Schnitt.....	137
Abbildung 3.45: Wasserbüffel im Schwäbischen Donaumoos	142
Abbildung 3.46: Suhle auf Wasserbüffelweide.....	143
Abbildung 3.47: Liegefläche mit Weidezelt und Tränke	143
Abbildung 3.48: Befestigte Liegefläche mit Weidehütte.....	144
Abbildung 4.1: Typischer Keimverlauf von im Projekt verwendetem Carex acutiformis.....	150
Abbildung 4.2: Keimrate in Abhängigkeit des Sammelzeitpunktes. Die Länge der Striche gibt min- und max- Werte der Wiederholungen wieder (links). Eindruck der zu 50% braunen Samenstände Anfang Juli (rechts).	151
Abbildung 4.3: Finale Keimrate über T50. der nach ISTA-Kriterien (2021) validen Keimtests.....	153
Abbildung 4.4: Keimungsbeschleunigung durch Stratifikation gegenüber unstratifiziertem Saatgut (Stratifikationstage =0)	154
Abbildung 4.5: Verlauf der Keimung in den verschiedenen Gewächshäusern.....	156
Abbildung 4.6: Keimrate bei verschiedener Ablagetiefe	156
Abbildung 4.7: Saatgutbildung in Langenmosen in Jahr 2023 und 2024	158
Abbildung 4.8: Pflanzschale mit Rhizomschnittlingen verschiedener Bewurzelungsstufen vor dem Abdecken (links) und Spitzen der Rhizome vor dem Abtrennen für den Versuch „Vegetationspunkt“ (rechts) (Bildrechte: Frank Pannemann (li.) und Stefanie Roß (re.)	161
Abbildung 4.9: Räumliche Lage des Beikrautmanagementversuchs 2022 auf dem Versuchsgut Karolinenfeld mit Grundwassergradienten.	167
Abbildung 4.10: Ganglinie des Grundwasserflurabstandes (cm) an beispielhaften, zentral in den Standorten gelegenen Pegeln an den beiden Versuchsstandorten.	169
Abbildung 4.11: Carex-Trockenmasse-Ertrag im zweiten Standjahr für alle gepflanzten Versuchsglieder (links) und Tastparzellen (rechts)	170
Abbildung 4.12: Ertrag aller gepflanzten Prüfglieder in Abhängigkeit des Grundwasserstandes. Links: Varianten mit auffälligen Unterschieden, rechts: Varianten ohne auffälligen Unterschied	170
Abbildung 4.13: Carex-Trockenmasse-Ertrag im zweiten Standjahr für alle gesäten Versuchsglieder und Tastparzellen. „Ort“ entspricht dem Faktor A: Wasserstufe	171
Abbildung 4.14: Biplot der (>800) Vegetationsaufnahmen (Carex- Etablierungsversuche).	172
Abbildung 4.15: RDA-Biplot der Pflanzung (Carex-Etablierung). Tabelle 4.11	174
Abbildung 4.16: RDA-Biplot der Saat. Blaue Pfeile stellen die Bewirtschaftung (siehe Tabelle 4.11) und die Umweltparameter dar. Schwarze Punkte stellen den Schwerpunkt einer Art dar.	174

Abbildung 4.17: Ganglinie des Grundwasserflurabstands des nächstgelegenen Pegels C_01 in 2023 und Tagesdurchschnitt der Lufttemperatur in 20 cm Höhe.....	176
Abbildung 4.18: Individuenzahl im Juli des Folgejahres über mittlerem Grundwasser-Flur-Abstand (Mai-Okt) 2023 beim Decksäaten-Versuch.....	177
Abbildung 4.19: Unkrautmenge im 1. Jahr (links) und Ertrag im 2. Jahr (rechts), verschiedene Skalen.	180
Abbildung 4.20: Eindruck der Direktpflanzung ins Grünland	181
Abbildung 4.21: Ertragsanteil von Carex in der Trockenmasse des zweiten Etablierungsjahres mit Standardabweichung. Zu beachten sind vor allem die Varianten Hacken und Striegeln.....	182
Abbildung 4.22: Erfolgreiche Erntevorführung von Seggen und Rohrglanzgras mit Spezialtechnik im November 2024 (https://www.youtube.com/watch?v=SIIVijeA2LQ)	184
Abbildung 4.23: Brielmaier Einachsmäher mit umwickelten Erntegut (links), mitte: verstopftes Trommelmähwerk (mitte), Traktor mit Doppelmesser (rechts)	186
Abbildung 4.24: Adaptierte Wachstums-Marktanteil-Matrix (Boston Consulting Group, 2024) für Paludiprodukte und -bereiche (Erläuterung siehe Fließtext)	189
Abbildung 4.25: Darstellung der Einflussgrößen und Stellschrauben auf Qualität und Einsatz von Paludibiomasse	193
Abbildung 4.26: Fallbeispiel - Status quo der regionalen Wertschöpfungskette für die Papierbranche im bayerischen Donaumoos	195
Abbildung 4.27: Schemenhafte Darstellung des Biomasse- und Investitionsbedarf eines Produkts bis zur Markteinführung	196
Abbildung 5.1: Gesamtemissionen 2022 (in t CO ₂ -eq ha ⁻¹ yr ⁻¹) auf dem Ackerstandort für die verschiedenen Bewirtschaftungssysteme (konventionell und ökologisch) und Treatments (Wassermanagement [WM] und Referenz [Ref]).....	214
Abbildung 5.2: Gesamtemissionen 2022 (in t CO ₂ -eq ha ⁻¹ yr ⁻¹) für die verschiedenen Treatments im Freisinger Moos.	216
Abbildung 5.3: Gesamtemissionen 2023 (in t CO ₂ -eq ha ⁻¹ yr ⁻¹) für die verschiedenen Treatments im Freisinger Moos.	218
Abbildung 5.4: Footprint (rote Linien) des Eddy-Kovarianz-Turms (schwarzes Plus) und die Lage der Treibhausgas Messflächen (orange Punkte) auf der Wasserbüffelweide im Schwäbischen Donaumoos.....	221
Abbildung 5.5: Messzeitpunkte der Treatments. Die Datumsachse ist in Wochenintervalle aufgeteilt. Blau zeigt die bereits gemessenen und Rot die geplanten Messungen.	222
Abbildung 5.6: Stündliche CH ₄ -Flüsse [mg/m ² /h], erfasst mit der Eddy-Kovarianz-Messtechnik (grau), im Vergleich zu den stündlich interpolierten Haubenmessungen (bunt) vom 1. Januar 2024 bis 1. Juli 2024 auf der Wasserbüffelweide im Schwäbischen Donaumoos.....	222
Abbildung 5.7: Messschema für den Stoffaustausch zwischen Ökosystem und Atmosphäre anhand eines Eddy-Kovarianz-Turms mit Gasanalysator und 3D-Ultraschallanemometer (Peatland Science Centre, 2024).....	223
Abbildung 5.8: Mittlere Tageswerte aus halbstündlich gemessenen Treibhausgasflüssen in Tonnen CO ₂ -Äquivalente pro Hektar pro Tag (t	

CO ₂ -eq ha ⁻¹ d ⁻¹) von 01. März 2023 bis 01. Oktober 2024 für das Untersuchungsgebiet schwäbisches Donaumoos (DOW).....	224
Abbildung 5.9: Karte der Flux-Footprint-Prediction (Kljun et al., 2015) für den Eddy-Kovarianz-Turm in DOW von 01. März 2023 bis 01. Oktober 2024 (links) und in KLF von 07. März 2023 bis 01. Oktober 2024 (rechts).	225
Abbildung 5.10: Mittlere Tageswerte aus halbstündlich gemessenen Treibhausgasflüssen in Tonnen CO ₂ -Äquivalente pro Hektar pro Tag (t CO ₂ -eq ha ⁻¹ d ⁻¹) von 07. März 2023 bis 01. Oktober 2024 für das Untersuchungsgebiet Karolinenfeld (KLF).....	226
Abbildung 10.1: Evaluierungs-Matrix für die Nährstofffreisetzung und Nährstoffretention (Teil 1)	257
Abbildung 10.2: Evaluierungs-Matrix für die Nährstofffreisetzung und Nährstoffretention (Teil 2)	258
Abbildung 10.3: Evaluierungs-Matrix für die Nährstofffreisetzung und Nährstoffretention (Teil 3)	259

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1.1: Klimatische Kennwerte der Untersuchungsstandorte.	31
Tabelle 2.1: Übersicht über die Standorte der im Rahmen von MoorBewi erprobten Wasserregelungstechniken	44
Tabelle 2.2: Berechnungsansätze für die hydrologischen Prozesse im MIKE SHE Modell für die Versuchsstation Karolinenfeld	55
Tabelle 2.3: Ergebnisse der wasseranalytischen Untersuchungen für die Messstellen Grundwasser, Erlbach, Schacht und Kirchbach.	59
Tabelle 2.4: Mittlere Grundwasserflurabstände (in cm) der verschiedenen Treatments im Freisinger Moos für die Jahre 2022 und 2023	65
Tabelle 2.5: Mittelwerte der Grundwasserflurabstände (in cm) am Ackerstandort im Altbayerischen Donaumoos über den gesamten Messzeitraum	67
Tabelle 3.1: Saatstärke und Gewichtsanteile der geprüften Saatgutmischungen für Nassgrünland.	77
Tabelle 3.2: Bewirtschaftungszeitpunkte des Versuches „Bestandsentwicklung“ (BE) und der Varianten des Versuches „Schnittregime“ (3 und 4 Schnitte) an der Versuchsstation Karolinenfeld.	78
Tabelle 3.3: Grundwasserstand unter der Geländeoberkante und Anzahl an Tagen mit Stauwasser von Versuchsparzellen der Versuche „Bestandsentwicklung“ und „Schnittregime“.	80
Tabelle 3.4: Abmessung der Versuchsparzellen sowie die zur Beprobung eingesetzte Technik für die Saatgutmischungsversuche	81
Tabelle 3.5: Gesamterträge pro Jahr und Erträge der einzelnen Aufwüchse der Bestandstypen in dt TM/ha (Mittelwerte der vollständig wiedervernässten Jahre 2022 und 2023 $\pm$ Standardfehler des Mittelwerts).	88
Tabelle 3.6: Inhaltsstoffe der von den Bestandstypen genommenen Frischgrasproben (Mittelwerte der vollständig wiedervernässten Jahre 2022 und 2023 $\pm$ Standardfehler des Mittelwerts).	90
Tabelle 3.7: Energiegehalte der von den Bestandstypen genommenen Frischgrasproben (Mittelwerte der vollständig wiedervernässten Jahre 2022 und 2023 $\pm$ Standardfehler des Mittelwerts).	92
Tabelle 3.8: Phosphor,- Magnesium- und Kaliumgehalte der Bestandstypen (Mittelwerte der vollständig wiedervernässten Jahre 2022 und 2023 $\pm$ Standardfehler des Mittelwerts).	94
Tabelle 3.9: Schwefelgehalte und Stickstoff/Schwefel-Verhältnis der Bestandstypen (Mittelwerte der vollständig wiedervernässten Jahre 2022 und 2023 $\pm$ Standardfehler des Mittelwerts).	97
Tabelle 3.10: Mangangehalte [in mg Mn/kg TM] der Bestandstypen (Mittelwerte der vollständig wiedervernässten Jahre 2022 und 2023 $\pm$ Standardfehler des Mittelwerts).	98
Tabelle 3.11: TM-Erträge sowie Ergebnisse der Weender- und Mineralstoffanalyse von Grünlandaufwüchsen in Karolinenfeld (Mittelwerte aus sechs Ansaatmischungen und den beiden vollständig wiedervernässten Jahren 2022 und 2023).	100
Tabelle 3.12: Jahresertrag in dt TM/ha des Bestandstyps LfL-M bei drei und vier Schnitten in unterschiedlichen Wasserstufen (Mittelwerte der vollständig wiedervernässten Jahre 2022 und 2023 $\pm$ Standardfehler des Mittelwerts).	101

Tabelle 3.13: Inhaltsstoffe und Energiegehalte der in voriger Tabelle genannten Proben.....	102
Tabelle 3.14: Zusammensetzung der aus den Versuchsergebnissen abgeleiteten neu optimierten Saatgutmischung.....	103
Tabelle 3.15: Verfahrenstechniken - Arbeitsschritt Mähen	109
Tabelle 3.16: Verfahrenstechniken - Arbeitsschritt Schwaden	110
Tabelle 3.17: Verfahrenstechniken - Arbeitsschritt Bergen	111
Tabelle 3.18: Artenaufteilung der drei Saatgutmischungen.....	114
Tabelle 3.19: Untersuchte Parameter bei den Laborproben (Landtechnik)	129
Tabelle 3.20: Test auf Normalverteilung der untersuchten Parameter des silierten Materials.....	138
Tabelle 4.1: Ökologische Zeigerwerte für erwachsene, optimal entwickelte <i>Carex acutiformis</i> -Pflanzen unter Konkurrenz aus Jäger, J., Eckehart (2011).....	148
Tabelle 4.2: Sammelzeitpunkte und Reinigungseinstellungen für Keimexperimente mit <i>Carex acutiformis</i>	150
Tabelle 4.3: Übersicht zu durchgeführten Vorbehandlungen in Keimversuchen	152
Tabelle 4.4: Bedingungen des Vorversuchs (Gewächshaus)	155
Tabelle 4.5: Umweltparameter der beiden Standorte (Keimschrank, Gewächshaus, Stichpunktartig bestimmt)	157
Tabelle 4.6: Mittlerer Grundwasserflurabstand (GFA) von 01.03.24 bis 15.07.24 des jeweils zu den Parzellen für die Saatgutbildung nächstgelegenen Pegels auf der Versuchsstation Karolinenfeld	158
Tabelle 4.7: Nährstoffgehalte im Substrat (Grunddüngung) und Düngelösung zum Nachdüngen (aus Pietsch, 2024)	160
Tabelle 4.8: Ergebnisse der Versuche zur Rhizomstecklingen von <i>Carex acutiformis</i>	161
Tabelle 4.9: Ergebnisse des Feld-Tastversuchs zur Rhizomteilung.....	163
Tabelle 4.10: Paludikultur-Feldversuche in MoorBewi mit Schwerpunkten.....	164
Tabelle 4.11: Faktorstufen der Bewirtschaftung im Bewirtschaftungsvergleich (Etablierungsversuche <i>Carex</i>)	166
Tabelle 4.12: Liste der bei Deckungsgradschätzungen für die <i>Carex</i> -Etablierungsversuche aufgenommenen Arten.....	168
Tabelle 4.13: Verfahrensschritte der Paludikulturente im Altbayerischen Donaumoos.....	185
Tabelle 4.14: Verfahrensschritte der Paludikulturente im schwäbischen Donaumoos.....	187
Tabelle 4.15: Impressionen von Paludiprodukten, Prototypen und Testproduktionen	198
Tabelle 5.1: Treibhausgasbilanzen (in t CO ₂ -eq ha ⁻¹ yr ⁻¹) der verschiedenen Bewirtschaftungssysteme (konventionell und ökologisch) und Treatments (Wassermanagement [WM] und Referenz [Ref]) auf dem Ackerstandort im Jahr 2022.	213
Tabelle 5.2: Treibhausgasbilanzen (in t CO ₂ -eq ha ⁻¹ yr ⁻¹) der verschiedenen Treatments im Freisinger Moos für das Jahr 2022.....	216
Tabelle 5.3: Treibhausgasbilanzen (in t CO ₂ -eq ha ⁻¹ yr ⁻¹) der verschiedenen Treatments im Freisinger Moos für das Jahr 2023.....	218
Tabelle 5.4: Treatments auf der Wasserbüffelweide im Schwäbischen Donaumoos mit ihrer Lage als Koordinaten, sowie beschreibende Charakteristiken	221
Tabelle 7.1: Liste von Führungen und Vorträge im Rahmen von MoorBewi	233

Tabelle 7.2: Liste von Veröffentlichungen im Rahmen von MoorBewi.....	237
Tabelle 7.3: Multimediale Präsentationsformate im Rahmen von MoorBewi.....	238

Zusammenfassung

Im Projekt „Moorverträgliche Bewirtschaftungsmaßnahmen“ (MoorBewi) wurde untersucht, wie sich in den Bereichen Wassermanagement, Nassgrünland und Paludikulturen derzeit in der Praxis noch bestehende Hemmnisse für die Umsetzung einer moorverträglichen Bewirtschaftung abbauen lassen. Dazu wurden in unterschiedlichen Moorregionen Bayerns Feldversuche zur Erprobung und Evaluierung von Bewirtschaftungsmaßnahmen durchgeführt. Der geerntete Aufwuchs wurde auf Eignung als Futtermittel in Milchviehbetrieben sowie auf Verwertbarkeit in stofflichen Wertschöpfungsketten untersucht. Wichtige Erkenntnisse aus dem Projekt sind in die Ausgestaltung des bayerischen Moorbauernprogramms eingegangen.

Zur Wasserstandsanhhebung werden regelbare Techniken zum Anstau bereits vorhandener Entwässerungseinrichtungen empfohlen. Auf den Untersuchungsflächen auf der Versuchstation Karolinenfeld, im Altbayerischen Donaumoos und im Klosterland Benediktbeuern konnte beispielsweise mit Stauwehren mit Schiebern an Entwässerungsgräben oder Stauschächten mit Teleskoprohren in Rohrdränsystemen der Wasserstand erfolgreich angehoben werden. Im Freisinger Moos ließ sich der Wasserstand durch eine Unterflurbewässerung im Vergleich zum reinen Grabenanstau noch etwas erhöhen. Gemäß Moorbauernprogramm wird ein Grundwasserflurabstand von -20 cm für Nassgrünland und -10 cm für Anbau-Paludikulturen angestrebt. Inwiefern ein Rückstau ausreichend für die Wiedervernässung einer Moorfläche ist, hängt maßgeblich von den Standortfaktoren ab. Positiv auf die Wiedervernässbarkeit wirken sich ein konstanter Zufluss bzw. großes Einzugsgebiet sowie ein z.B. durch eine Senkenlage reduzierter horizontaler oder durch eine Stauschicht geringer vertikaler Grundwasserabfluss aus. Wenn die Standortbedingungen weniger günstig für die Wiedervernässung sind, müssen ggf. mehr Stauanlagen (beispielsweise bei stark geneigtem Gelände) installiert oder eine zusätzliche Wassereinleitung in Betracht gezogen werden. Eine frühzeitige Abstimmung mit den Wasserbehörden und Anrainern ist empfehlenswert, um die Umsetzbarkeit der Wasserstandsanhhebung und damit die Voraussetzung zur Beantragung des Moorbauernprogrammes gesichert planen zu können. Für die Beantragung einer wasserrechtlichen Genehmigung und für die technische Umsetzung von Maßnahmen zur Wasserstandsanhhebung wurden in Abstimmung mit dem StMUV und nachgelagerten Behörden Hilfestellungen erarbeitet.

Bei der Umwandlung von Ackerland in mittelintensiv genutztes Nassgrünland sollten nässeangepasste Süßgräser eingesät werden, um stabile Futtergrasbestände zu erreichen. Empfehlenswert ist die Einsaat von Rohrschwingel, der neben Mähgrünland auch für eine Beweidung in Frage kommt. Unter sehr nassen Bedingungen setzt sich das Rohrglanzgras durch, sofern es im Bestand vorkommt. Die Einsaat sollte für eine möglichst erfolgreiche Etablierung der Futtergräser im Herbst vor der Wasserstandsanhhebung erfolgen. Wenn jedoch in einem bereits bestehenden Grünland nässeangepasste Süßgräser etabliert werden sollen, ist es sehr empfehlenswert, dass die Wasserstandsanhhebung zeitgleich zur Aussaat erfolgt, um die Altgrasnarbe zu schwächen. Aus den im Projekt gewonnenen Erkenntnissen wurde eine modifizierte Mischungsempfehlung für wiedervernässte Niedermoorstandorte entwickelt, die in den Bayerischen Qualitätssaatgutmischungen seit 2024 als Mischung BQSM®-W-1M enthalten ist. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass bei Wiedervernässung die Energiegehalte im Futter gleichbleiben, aber mit Ertragseinbußen in Höhe von rund 15 % beim Trockenmasseertrag und dem Proteingehalt bzw. von rund 30% beim N-Ertrag gegenüber mäßig feuchtem Grünland zu rechnen ist. Die Erträge erwiesen sich als mehrjährig stabil. Die Nassgrünlandaufwüchse können in Milchviehbetrieben als Strukturergänzung

sowie bei der Verfütterung an Trockensteher und Jungvieh eingesetzt werden. Sie eignen sich aufgrund des geringen Kaliumgehaltes auch zur Milchfieberprophylaxe. Im Rahmen von MoorBewi ist es nicht gelungen, das Erntematerial ohne Einsatz von Siliermitteln erfolgreich zu silieren. Heulage- oder Heunutzung sind möglich.

Bei der Etablierung von Anbau-Paludikulturen stand in MoorBewi die Sumpf-Segge (*Carex acutiformis*) im Fokus der Untersuchungen, da für die übrigen bisher erprobten Anbau-Paludikulturen bereits in einem vorigen Projekt (MOORuse) Empfehlungen für die Etablierung abgegeben werden konnten. Die umfangreichen Keim-, Gewächshaus- und Feldversuche haben ergeben, dass die Anpflanzung weiterhin als Etablierungsmethode empfohlen wird, u.a. vor dem Hintergrund, dass Saatgut für Anbau-Paludikulturen momentan nur schwer verfügbar ist. Um möglichst schnell einen geschlossenen Bestand zu erhalten, eignet sich das Fräsen der Grasnarbe und eine Abdeckung mit Mulchmaterialien. Es zeigte sich aber, dass auch bei der Einpflanzung in eine bereits vorhandene Grasnarbe sich bereits im zweiten Jahr ein geschlossener Bestand bildet, sofern ausreichend nasse Bedingungen auf dem Feld vorherrschen. Bei der Ansaat konnten zwar im Labor Keimraten von 70 % erreicht werden, der Feldaufgang lag jedoch deutlich darunter. Wenn trotzdem eine Ansaat (statt einer Anpflanzung) als Etablierung in Erwägung gezogen wird, sollte die Aussaat möglichst im Juli auf einer bereits wiedervernässten Fläche erfolgen.

Alle untersuchten Maßnahmen führen nachweislich zu Klimaschutz. Dies wurde durch Messungen der Treibhausgasemissionen aus landwirtschaftlich genutzten Mooren in Bayern unter verschiedenen Bewirtschaftungsformen, Wassermanagementstrategien und Nutzungsintensitäten bestätigt. Neben nässeangepasstem Grünland auf der Versuchsstation Karolinenfeld und im Freisinger Moos und konventionellem und ökologischem Körnermais im Altbayerischen Donaumoos wurden auch Messungen auf einer mit Wasserbüffeln beweideten, wiedervernässten Fläche im Schwäbischen Donaumoos durchgeführt. Dabei kamen manuelle Haubenmessungen und die Eddy-Kovarianz-Technik zum Einsatz. Die Ergebnisse im Altbayerischen Donaumoos zeigen, dass Wasserstandsmanagement im Acker selbst bei relativ tiefen Grundwasserständen bereits CO₂-Emissionen reduziert. Im Freisinger Moos wurde die Treibhausgasreduzierungsleistung der Unterflurbewässerungssysteme von Wasserstand, Vegetation und Bodeneigenschaften bestimmt. Die wiedervernässten Flächen mit Wasserbüffelbeweidung im Schwäbischen Donaumoos weisen voraussichtlich eine deutliche Emissionsreduktion gegenüber entwässertem Grünland auf. Nach Beendigung des Messzeitraumes schließt sich die Modellierung der Spurengasmessung an, die die Basis dafür sind, dass eindeutige Aussagen getroffen werden können. In der Regel dauert es mindestens ein halbes Jahr, nach Ende der Messzeit, bis stabile Treibhausgasbilanzen berechnet sind. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass ein gezieltes Wasserstandsmanagement die wesentliche Maßnahme ist, um die Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Moorflächen zu verringern. Aufgrund der erreichten z.T. recht niedrigen Wasserstände wurde allerdings bei den Acker- und Schnittgrünland-Optionen noch keine vollständige Klimaneutralität erreicht.

Zur Bewirtschaftung von wiedervernässten Moorflächen kann unterschiedliche Landtechnik zum Einsatz kommen. Bisher werden in der Praxis im Nassgrünland vor allem angepasste Standardtechnik (z. B. Doppelbereifung) oder Technik aus der Berglandwirtschaft (z. B. Mähtracs) eingesetzt. In besonders nassen Bereichen wird i. d. R. auf Einachstechnik zurückgegriffen. Der Arbeitszeitaufwand ist dabei aufgrund der häufigeren Rüstzeiten oder Störungen in der Regel deutlich höher als bei entwässerten Grünlandflächen. Spezialtechnik wie Raupenfahrzeuge werden bisher wenig und wenn, dann vor allem für Anbau-Paludikulturen verwendet. Bei einschürigen Paludikulturen mit nur einem Erntetermin im Winter

stellten sich Erntesysteme mit rotierenden Elementen aufgrund des langen und faserigen Materials des Ernteguts als nicht geeignet heraus. Eine Spezialmaschine mit Häcksler funktionierte dagegen auch in sehr herausfordernden Bedingungen bei hohen Biomassen, Nässe und gelagertem Aufwuchs gut. Weiterhin ist der Winterschnitt von Paludikulturen mit logistischen Schwierigkeiten bei der Materialtrocknung verbunden. Diese ist jedoch hinsichtlich der Lagerbarkeit und damit der Rohstoffverfügbarkeit für die sich entwickelnden Verwertungsschienen essenziell.

Die Bewirtschaftung nasser Grünlandflächen kann auch durch die Beweidung mit geeigneten Tierrassen erfolgen. Aufgrund der sehr extensiven Haltungsform mit geringem Viehbesatz wurde innerhalb des Projektes die Möglichkeit einer Ganzjahresbeweidung geprüft. Wasserbüffel eigneten sich am besten mit einer entsprechenden Weideausstattung, die dem Tierwohl entsprach. Durch die Selbstvermarktung und Förderprogramme konnte eine Wirtschaftlichkeit nachgewiesen werden. Die Anlage befestigter Liegeflächen erwies sich fürs Tierwohl, die Arbeitswirtschaft und Schonung des Aufwuchses sowie der Grasnarbe als sehr erfolgreich.

Zur Erprobung unterschiedlicher pilothafter Verwertungsoptionen wurde vor allem der Aufwuchs, auf den vormals im Projekt MOORuse etablierten Paludikulturflächen verwendet. Im Fokus der stofflichen Verwertung steht in der Regel die Qualität und Einsetzbarkeit der Fasern aus dem Nasskulturaufwuchs. Als vielversprechend stellte sich der Einsatz dieser Fasern in der Bau- und Papierbranche heraus. Heterogenes Material aus Nassgrünlandaufwuchs kann gut zu Bauplatten verpresst werden, während Schilf und Rohrglanzgras aus Reinbeständen sich gut für die Papierherstellung eignen. Für die Vermarktung der neuen Produkte sollte der große CO₂-Einspareffekt, der durch Wiedervernässungsmaßnahmen und Paludikulturanbau auf der Fläche entsteht, im Vordergrund stehen, da die Rohstoffqualität von Nasskulturen gegenüber konventionellen Rohstoffen wie Holz oder Stroh meist keinen Marktvorteil bietet.

Da die Entwicklung von Wertschöpfungsketten für die Paludikulturen noch Zeit in Anspruch nehmen wird, kommt einer attraktiven Förderung der moorverträglichen Bewirtschaftung durch das Moorbauernprogramm eine wichtige Rolle zu. Die Fördersätze stehen mittlerweile fest. Sie liegen bei 3.300 € je Hektar und Jahr für die Umwandlung von Acker in Dauergrünland (M 10). Die Fördersätze von 600 € für die Bewirtschaftung von nassem Grünland mit Nassenachweis durch Zeigerpflanzen (M 12), 900 € für wiedervernässstes Nassgrünland mit Stauziel (M 14) und 2.200 € für Anbau-Paludikulturen mit Stauziel (M 16) je Hektar und Jahr bieten einen Ausgleich für den entgangenen Nutzen im Vergleich zu den Standardkulturen bei trockenen Bedingungen. Für die Beantragung von Maßnahmen des Moorbauernprogramms mit Stauziel (M14, M16) ist die Installation einer Staueinrichtung erforderlich. Im Projekt wurden Arbeitshilfen und Fachgrundlagen für die Umsetzung erstellt. Mithilfe einer Analyse des Digitalen Geländemodells lässt sich der Rückstaubereich abschätzen, in dem sich der Zielwasserstand voraussichtlich einstellt. So können die Standorte der Bauwerke bereits in der Planungsphase festgelegt werden, um den Antragsstellenden eine fundierte Abschätzung der förderfähigen Fläche zu ermöglichen.

Der Wissenstransfer in die Praxis ist ein wichtiges und notwendiges Tätigkeitsfeld, da die moorverträgliche Bewirtschaftung für die meisten landwirtschaftlichen Akteure noch Neuland darstellt bzw. auf starke Skepsis stößt. Durch die Projektstellen zur Klimaschutzberatung - Schwerpunkt Moore (KliMo-Beratung) wurden an den Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (ÄELF) Anlaufstellen geschaffen, um den landwirtschaftlichen Moorbodenschutz in die Fläche zu bringen. Die in MoorBewi gewonnenen Erkenntnisse sowie die erstellten Kommunikationsprodukte wie der Muster-Foliensatz sollen diese und

weitere Multiplikatoren bei ihrer Arbeit zur Umsetzung des Moorbauernprogrammes unterstützen. Im MoorBewi Projekt haben die vielfältigen Partner ihre komplementären Erfahrungen und Kenntnisse sehr gewinnbringend und vertrauensvoll für den Moorboden- und Klimaschutz zusammengebracht. Das entstandene Fachnetzwerk ist ebenso wertvoll wie die fachlichen Ergebnisse und sollte weiter gepflegt und ausgebaut werden.

1 Einleitung

Beim Projekt "Entwicklung moorverträglicher Bewirtschaftungsmaßnahmen für landwirtschaftlichen Moor- und Klimaschutz" (MoorBewi) wurde untersucht, wie Moorboden bei angehobenen Grundwasserständen durch eine angepasste Nutzung erhalten und damit Klimaschutz in der Praxis umgesetzt werden kann. Eine moorverträgliche Bewirtschaftung bietet eine Chance, Klimaschutz, Bodenerhalt und Wertschöpfung miteinander zu verbinden. Für eine Umsetzung in der Praxis gilt es, die Rahmenbedingungen für landwirtschaftliche Betriebe so auszugestalten, dass eine Umstellung ökonomisch tragbar ist. Ebenfalls sollten die sich ergebenden Synergien deutlich werden und damit zu einer zunehmenden Akzeptanz in der Landwirtschaft einer Region beitragen.

Moorböden bestehen überwiegend aus Torf, der sich aus unvollständig zersetztem Pflanzenmaterial unter wassergesättigten Bedingungen gebildet hat und aufgrund des hohen Anteils an organischer Substanz große Mengen Kohlenstoff speichert. In Mitteleuropa wurden die Moorböden im letzten Jahrhundert großflächig entwässert, unter anderem für eine landwirtschaftliche Nutzung. Die Entwässerung führt zu einer Zersetzung des Torfes, womit eine Freisetzung des darin gebundenen Kohlenstoffs als Kohlenstoffdioxid (CO_2) einhergeht. Insbesondere intensiv bewirtschaftete Acker- und Grünlandflächen auf Moorboden emittieren mit 30-40 t CO_2 -Äquivalenten pro Hektar und Jahr große Mengen an Treibhausgasen. Die Zersetzung des Torfes geht zudem mit einer Bodensackung und -degradierung einher, so dass die Bodenbedingungen auf der jeweiligen Moorfläche dauerhaft nachteilig verändert werden. Je nach Standortbedingungen kann dies auch bedeuten, dass die derzeitige Nutzung der Moorfläche in absehbarer Zeit nicht mehr fortgeführt werden kann.

Durch eine Anhebung des Wasserstandes auf entwässerten Moorflächen können die hohen Treibhausgasemissionen deutlich und schnell reduziert sowie der Torfschwund aufgehalten werden. Moorbodenschutz stellt somit eine effektive Klimaschutzmaßnahme dar. Als optimal für den Klimaschutz gilt ein Wasserstand, der im Jahresmittel nahe der Geländeoberkante liegt. Es stellt sich jedoch die Frage, ob bzw. wie unter diesen Bedingungen eine landwirtschaftliche Nutzung weiterhin möglich ist.

Eine Bewirtschaftung nasser Moorböden ist mit nässeangepasstem Dauergrünland (Mähgrünland, Beweidung) oder moortypischen Pflanzenarten möglich, die zusammenfassend als Paludikulturen bezeichnet werden. Dazu zählen beispielsweise Schilf, Rohrkolben, Rohrglanzgras und Seggen, zu deren Etablierung, Bewirtschaftung und Verwertung deutschlandweit Untersuchungen durchgeführt wurden und werden. Entsprechende Projekte können in der Moorschutzdatenbank Moornet (www.moor-net.de) recherchiert werden. Bisher werden Paludikulturen jedoch nur pilothaft auf Projektflächen angebaut und Erfahrungen mit Wiedervernässungen von Mooren liegen überwiegend aus Naturschutzprojekten vor. Für weiterhin landwirtschaftlich genutzte Moorstandorte mit zum Teil stark degradiertem Oberboden liegen dagegen bisher kaum Erfahrungen vor. Hinsichtlich der Verwertung bieten Paludikulturen verschiedene energetische und stoffliche Nutzungslinien, die aber noch nicht umfassend untersucht und optimiert sind. Paludikulturen sind immer noch im Pionierstadium, obgleich die grundsätzlichen Optionen für ihre Verwertung großteils bekannt sind (Wichtmann, Schröder und Joosten, 2016). Auch ist die Frage offen, inwieweit Grünlandaufwüchse weiterhin auf wiedervernässten Niedermoorstandorten als Futter geeignet sind bzw. wie sich diese Futterressource in Milchviehbetriebe integrieren lässt. Diese Frage ist insofern von besonderer Bedeutung, da sich u.a. im südbayerischen Raum

viele intensiv genutzte Grünlandflächen auf jahrzehntelang entwässerten Niedermoorstandorten befinden.

1.1 Ausgangslage und Stand der Forschung in Bayern (LfL)

Gemäß der nach den Vorgaben für einen Mindestschutz von Feuchtgebieten und Mooren (GLÖZ2-Standards) der GAP-Konditionalitäten-Verordnung erstellten Moorbodenkulisse gibt es in Bayern ca. 228.000 ha Moorböden, die zu 95 % genutzt und mehr oder weniger tief entwässert sind. Nach dem Klimabericht (StMUV, 2022) emittieren diese 5,1 Mio t CO₂-Äquivalente, was 6 % der Treibhausgasemissionen in Bayern entspricht. Nach der detaillierteren Methodik der Treibhausgasbilanzierungen aus dem KliMoBay Projekt liegen die Treibhausgasemissionen bei 6,7 Mio t CO₂-Äquivalenten (Klatt et al., 2023).

Eine Wasserstandsanhhebung in Moorböden bietet demnach eine Chance, die Klimabilanz in Bayern deutlich zu verbessern. Auf Basis der im Rahmen der GAP ausgewiesenen Moorbodenkulisse (GLÖZ2) sind in Bayern ca. 134.000 Hektar Moorböden landwirtschaftlich genutzt und dafür in der Regel entwässert worden, davon 2/3 als Grünland und 1/3 als Acker. Das Bayerische Klimaschutzprogramm (2022) sieht vor, dass bis zum Jahr 2029 rund 20.000 Hektar davon moorverträglich bewirtschaftet werden sollen. Die finanzielle Unterstützung einer freiwilligen Umstellung auf eine moorverträgliche Bewirtschaftung soll im Rahmen des Moorbauernprogrammes erfolgen, das seit 2023 vom StMELF angeboten wird. Aktuelle Informationen zum Moorbauernprogramm finden sich auf <https://www.stmelf.bayern.de/foerderung/foerderung-von-agrarumweltmassnahmen-in-bayern/index.html>.

Zudem sollen auf den staatseigenen Flächen der Versuchsstation Karolinenfeld der BaySG der Wasserstand flächenhaft angehoben und der Betrieb als Beispiel- und Musterbetrieb für klimaverträglichere Bewirtschaftungsmöglichkeiten auf Moorböden neu ausgerichtet werden.

Bisher lagen in Bayern nur wenige Erfahrungen mit der moorverträglichen Bewirtschaftung vor. Das Projekt MoorBewi hat wesentliche Grundlagen für die Umsetzung des Moorbauernprogramms erarbeitet und unterstützte die genannten Ziele des Klimaschutzprogramms, indem es u.a. die Wissensgrundlagen verbessert und die Wiedervernässung der Versuchsstation Karolinenfeld begleitet hat. In die Projektarbeit sind auch Ergebnisse aus vorhergehenden Forschungs- und Umsetzungsvorhaben zum Moorbodenschutz in Bayern eingeflossen, dazu zählen:

- Klimaschutz- und Anpassungspotenziale in Mooren Bayerns (KliMoBay) <https://www.hswt.de/forschung/projekt/1335-klimobay>
- Wiedervernässungsmaßnahmen im Rahmen von Renaturierungsprojekten im Naturschutz, deren Erfahrungen in Praxisleitfäden des LfU zusammengefasst sind <https://www.lfu.bayern.de/natur/bayaz/moore/renaturierung/index.htm>
- Entwicklung von KULAP-Maßnahmen für eine innovative Nassgrünlandnutzung mit Dränmanagement und Grünlanderneuerung für Intensivgrünland auf Niedermoorstandorten (MoorKULAP) <https://www.lfl.bayern.de/iab/kulturlandschaft/240564/index.php>
- Paludikulturen für Niedermoorböden in Bayern - Etablierung, Klimarelevanz & Umwelteffekte, Verwertungsmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit (MOORuse) <https://www.hswt.de/forschung/projekt/958-mooruse>

In der Praxis werden schwach bis gar nicht entwässerte Moorböden in Bayern in der Regel als extensives Grünland (z. B. Streuwiesen, Ganzjahresbeweidung mit Robustrindern) unter

Nutzung von Instrumenten aus der Landschaftspflege und des Vertragsnaturschutzes bewirtschaftet.

Der mittlere Emissionsfaktor für schwach entwässertes extensives Grünland liegt laut dem Peatland Science Center (PSC) bei 24,2 t CO₂-Äquivalenten pro Hektar und Jahr. Im Projekt KliMoBay lagen die Treibhausgasbilanzen eines extensiven Grünlandes am Standort Benediktbeuern zwischen 5,7 (Grundwasserflurabstand 15 cm unter Geländeoberkante) und 30,2 (Grundwasserflurabstand 27 cm unter GOK) t CO₂-Äquivalent pro Hektar und Jahr (Klatt et al., 2023).

Es war bislang nicht klar, inwieweit auf mittel-intensiv genutztem Nassgrünland auch qualitativ wertvolles Futter für die Viehhaltung erzeugt werden kann. Im Projekt MoorKULAP wurden bereits Parzellen auf der Versuchsstation Karolinenfeld angelegt, um verschiedene Gras- und Kräutermischungen im Hinblick auf Futterqualität und Nässeignung zu erproben. Ziel war die Entwicklung einer speziell auf bayerische Verhältnisse angepassten Mischung für Neuansaat und Grünlanderneuerung mit Eignung in der Milchviehhaltung. Die Treibhausgasbilanzen auf der Grünlandversuchsfläche der Versuchsstation vor Anhebung der Wasserstände wurden ebenfalls im Rahmen von KliMoBay erhoben und lagen zwischen 17,2 (Grundwasserflurabstand 27 cm unter GOK) und 51,1 (Grundwasserflurabstand 46 cm unter GOK) t CO₂-Äquivalent pro Hektar und Jahr (Klatt et al., 2023).

Zum Anbau von Paludikulturen liegen in Bayern bisher nur Erfahrungen aus Forschungsprojekten vor. Im Projekt MOORuse wurde die Etablierung unterschiedlicher Paludikulturen (Schilf, Seggen, Rohrkolben, Rohrglanzgras) auf Niedermoorböden im Freisinger Moos, im Bayerischen Donaumoos und im Schwäbischen Donaumoos erprobt. Dabei zeigte sich beispielsweise, dass sich die bisher getesteten Paludikulturen unterschiedlich gut durch Ansaat etablieren lassen. Während Schilf, Rohrkolben und Rohrglanzgras durch eine Ansaat etabliert werden konnten, gelang dies bei der Sumpf-Segge nur durch eine Anpflanzung, die wesentlich teurer und aufwändiger als die Ansaat ist. Das Peatland Science Center der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (PSC-HSWT) hat seine Erfahrungen diesbezüglich in einem Etablierungsleitfaden (Eickenscheidt, Krimmer und Drösler, 2023) festgehalten.

Nach erfolgter Etablierung wurden in MOORuse die Treibhausgasbilanzen der unterschiedlichen Paludikulturen gemessen (Eickenscheidt et al., 2023). Dabei zeigte sich, dass tatsächlich alle erprobten Paludikulturen die Treibhausgasemissionen nicht nur deutlich reduzieren, sondern auch eine Senkenfunktion von durchschnittlich -13 t CO₂-Äquivalent pro Hektar und Jahr aufweisen (Eickenscheidt et al., 2023). Damit ergibt sich ein Reduktionspotential von bis zu 53,4 t CO₂-Äquivalent pro Hektar und Jahr bei der Umwandlung von drainierten Ackerflächen in Anbau-Paludikulturen. Noch nicht abschließend geklärt sind die Emissionsrisiken bei der Standortvorbereitung und Etablierung von Paludikulturen.

Auch zu den Verwertungsschienen wurden in MOORuse weitreichende Untersuchungen durchgeführt, so wurde ihre Eignung in der thermischen Verwertung, in der Biogasnutzung, als Torfersatzstoffe, für biogene Polymere, für Dämm- und Baustoffplatten sowie als Einstreu und Raufutter erprobt. Die Recherchen im Rahmen von MOORuse haben ergeben, dass sich ein Markt für Paludikulturprodukte erst entwickeln muss. Die Marktpartner müssen durch eine entsprechende Netzwerkentwicklung unterstützt werden, außerdem müssen Produktanforderungen genauer definiert werden. Gleiches gilt für alternative Verwertungslinien von mittelintensivem und extensivem Nassgrünland. Nur falls es gelingt, tragfähige Konzepte zu entwickeln, werden Betriebe bereit sein, Maßnahmen mit staatlicher Förderung umzusetzen.

1.2 Projektziele (LfL)

Eine erfolgreiche Umsetzung einer moorverträglichen Landwirtschaft geht mit substanziellen Änderungen im Wassermanagement einher und erfordert innovative produktionstechnische Lösungen für produktives Nassgrünland oder für den Anbau von Paludikulturen.

Gesamtziel des Projekts MoorBewi war es, in den Bereichen Wasserstandsanhebung, Grünlandnutzung und Paludikulturen die wesentlichen Hemmnisse für eine moorverträgliche Nutzung abzubauen und gleichzeitig die Klimaschutzwirkung moorverträglicher Bewirtschaftungsoptionen zu quantifizieren. Die Erkenntnisse aus den Untersuchungen sind in das bayerische Förderprogramm für Moor- und Klimaschutz des StMELF, dem Moorbauernprogramm, eingegangen. Die Teilziele und Arbeitspakete des Projektes beziehen sich auf Forschungs- und Entwicklungsfragen, die sich direkt aus Überlegungen für das Förderprogramm abgeleitet haben.

Teilziele waren unter anderem:

- Beurteilung und Weiterentwicklung verschiedener Maßnahmen zur Wiedervernässung und Wasserregelung von landwirtschaftlich genutzten Moorflächen
- Entwicklung möglichst stabiler Zielbestände für mittelintensiv genutztes Grünland auf wiedervernässten Moorböden nach Umwandlung von Ackerflächen in Grünland bzw. Erneuerung von bisher dräniertem Intensivgrünland
- Übertragung von Praxiserfahrungen aus der Nutzung von Extensivgrünland auf mittelintensiv genutztes nasses Grünland sowie Erprobung innovativer Verfahren und Geräte für die Ernte von wiedervernässten, mehrschnittigen Grünlandflächen im Hinblick auf Befahrbarkeit, Ertrag und Futterqualität
- Weiterentwicklung des Anbaus von Paludikulturen, insbesondere der Sumpf-Segge (*Carex acutiformis*) als vielversprechende Kultur für bayerische Niedermoorstandorte, um Kosten und Aufwand für die Verfahren zur Vermehrung und Etablierung zu senken
- Netzbildung für Verwertungsoptionen für den Aufbau von Wertschöpfungsketten
- Quantifizierung und Bewertung der Klimaschutzwirkung der im Projekt erprobten moorverträglichen Bewirtschaftungsmaßnahmen
- Schaffung von Fachgrundlagen für ein Förderprogramm für die Wiedervernässung landwirtschaftlicher Moorböden und moorverträgliche Bewirtschaftungsformen
- Begleitung und Unterstützung der schrittweisen Wiedervernässung der Flächen der staatlichen Versuchsstation Karolinenfeld und der Umwandlung in einen Musterbetrieb für klimaverträglichere Bewirtschaftungsmöglichkeiten auf Moorböden
- Wissenstransfer in die Praxis, um die beim Moorbodenschutz und Moorbauernprogramm involvierten Akteure mit Beratungs- und Umsetzungshilfen zu unterstützen

1.3 Vorhabenstruktur (LfL)

Das Projekt MoorBewi wurde als Forschungs- und Entwicklungsvorhaben durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus gefördert. Die Projektlaufzeit betrug zunächst 01.01.2021 bis 31.05.2024 und wurde anschließend noch kostenneutral bis zum 31.12.2024 verlängert.

Aufgrund der vielfältigen und fachübergreifenden Fragestellungen, die sich bei der Entwicklung von Nutzungskonzepten für nasse Moorböden ergeben, waren unterschiedliche Partner im Projekt beteiligt, welche nachstehend aufgeführt sind.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL, www.lfl.bayern.de)

Die LfL ist eine Landesbehörde im Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus (StMELF) mit Sitz in Freising und fungiert als Wissens- und Kompetenzzentrum für die Landwirtschaft in Bayern. Ihr Ziel ist die Förderung einer nachhaltigen, am Gemeinwohl orientierten Land- und Ernährungswirtschaft. Innerhalb der LfL waren verschiedene Institute am Projekt beteiligt: das Institut für Agrarökologie und Biologischen Landbau (LfL-IAB), das Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (LfL-IPZ) und das Institut für Landtechnik und Tierhaltung (LfL-ILT).

Aufgaben: Projektleitung und -koordination (IAB), Wassermanagement (IAB), Nassgrünland für Futterbau (IPZ/IAB), Landtechnik (ILT), Moorbauernprogramm (IAB), Wissenstransfer (IAB)

Projektmitarbeitende: Dr. Annette Freibauer, Dr. Michael Diepolder, Dr. Stephan Hartmann, Stefan Thurner, Dr. Lennart Gosch, Paul Heinemann, Teresa Koller, Agnes Lauko, Ute-Irene Böhm, Eva Schmidt, David Weiß, Annika Woortman, Bastian Zwack

Projektwebseiten:

www.lfl.bayern.de/moorbewirtschaftung (IAB)

www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/293731/index.php (IPZ)

www.lfl.bayern.de/ilt/pflanzenbau/gruenland/302375/index.php (ILT)

Bayerische Staatsgüter (BaySG, www.baysg.bayern.de)

Die BaySG sind ein kaufmännisch eingerichteter Staatsbetrieb des Freistaats Bayern, mit Sitz in Grub/Poing bei München. Mit sieben Schwerpunktzentren an ca. 25 Standorten in Bayern sind sie Dienstleister im Versuchs- und Bildungswesen für die LfL und das StMELF. Der für den Moorbodenschutz wichtigste Standort der BaySG ist die Versuchsstation Karolinenfeld in der Nähe von Rosenheim, der als Demobetrieb für eine moorverträgliche Bewirtschaftung dienen soll.

Aufgaben: Unterstützung der Feldversuche, Wiedervernässung der Versuchsstation Karolinenfeld, Aufbau eines Fuhrparks mit moorbodenschonender Technik, Wissenstransfer

Projektmitarbeitende: Dr. Ewald Stickse, Anton Deutinger, Anton Friedrich, Julian Goppelt, Johann Pflügler†, Andreas Walz, Josef Wieland

Projektwebseite: www.baysg.bayern.de/zentren/freising/246564/index.php

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT, www.hswt.de)

Die HSWT ist an ihren beiden Standorten Weihenstephan (Freising) und Triesdorf auf Grüne Ingenieurwissenschaften ausgerichtet. Um die wissenschaftliche Basis für die Moorentwicklung in Süddeutschland und international weiter zu verbessern, wurde 2022 das **Peatland Science Centre** (PSC, www.hswt.de/forschung/forschungseinrichtungen/institut-fuer-oekologie-und-landschaft/peatland-science-centre) gegründet.

Aufgaben: Treibhausgasmessungen, Wassermanagement (Unterflurbewässerung), Anbau von Paludikulturen, Wissenstransfer

Projektmitarbeitende: Prof. Dr. Matthias Drösler, Florian Braumann, Marie-Luise Dextl, Lena Jörg, Daniel Lenz, Frank Pannemann, Judith Pietsch, Pia Röder, Martina Schlaipfer

Projektwebseite: www.hswt.de/forschung/projekt/1612-moorbewi

Arbeitsgemeinschaft Schwäbisches Donaumoos e.V. (ARGE, www.arge-donaumoos.de)

Die ARGE Donaumoos mit Sitz in Leipheim ist ein Verein, der sich für den Erhalt und die gezielte Weiterentwicklung des Schwäbischen Donaumooses engagiert. Sie hat bereits umfangreiche Erfahrungen mit der Wiedervernässung für Naturschutzzwecke u.a. im Leipheimer und Gundelfinger Moos und steht in engem Kontakt mit den landwirtschaftlichen Akteuren in der Region.

Aufgaben: Nassbeweidung, Verwertungsschienen von Paludikulturen, Praxistauglichkeit Moorbauernprogramm, Wissenstransfer

Projektmitarbeitende: Dr. Ulrich Mäck, Thomas Henle, Raphael Rehm, Anja Schumann

Projektwebseite: www.arge-donaumoos.de/arbeitsfelder/themen/landwirtschaft

Donaumoos-Zweckverband (DMZV, www.donaumoos-zweckverband.de)

Der DMZV mit Sitz in Karlshuld setzt das Entwicklungskonzept für das Albayerische Donaumoos um und verfolgt Ziele aus den Bereichen Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Naturschutz, wozu auch der Klima- und Moorbodenschutz zählt. Verbandsmitglieder sind der Bezirk Oberbayern sowie Landkreise, Gemeinden und Wasserverbände aus der Region.

Aufgaben: Verwertungsschienen von Paludikulturen

Projektmitarbeitende: Michael Hafner, Raphael Burkhardtsmayer, Anita Walter

Projektwebseite: www.donaumoos-zweckverband.de/landwirtschaft-moorbewi

Unter Leitung der LfL fand in der Regel jeweils im Frühjahr und im Herbst eines Jahres das Gesamtprojekttreffen in Freising statt, bei dem Erfahrungen ausgetauscht, Entscheidungen getroffen und das weitere Vorgehen abgestimmt wurde. Über die gesamte Projektlaufzeit wurden insgesamt neun Gesamtprojekttreffen abgehalten. Ein intensiverer Austausch der Projektpartner fand innerhalb der sechs Arbeitspakete (AP) statt, die im Folgenden kurz dargestellt sind.



AP 1: Gesamtkoordination

Eine moorverträgliche Bewirtschaftung geht mit vielen verschiedenen Fragestellungen einher, weswegen unterschiedliche Fachbereiche tangiert werden und zusammenarbeiten müssen. Das Projekt MoorBewi wurde daher als Verbundvorhaben mit verschiedenen Projektpartnern aufgesetzt. Aufgaben der Projektkoordination waren u. a. die Überwachung des Projektfortschritts, die Vernetzung der Akteure, Förderung der fachübergreifenden Zusammenarbeit sowie der Kontakt zum Fördermittelgeber (StMELF). Unter anderem durch das Aufsetzen eines Kooperationsvertrages, regelmäßig angesetzte Projekttreffen und eine abgestimmte und angepasste Verwaltung der Projektmittel wurde versucht, die Forschungsbedingungen im Projekt so gut wie möglich auszugestalten.



AP 2: Wiedervernässung und Wassermanagement

Die Anhebung des Wasserstandes ist die zentrale Voraussetzung für den Moorbodenschutz, die für den Landwirtschaftsbereich möglichst regelbar ausgestaltet sein sollte. Die Forschung in diesem Arbeitspaket drehte sich daher darum, welche technischen Verfahren für welche Standortbedingungen in Frage kommen. Im Fokus standen dabei sowohl Maßnahmen an Entwässerungsgräben (z. B. Stauwehre, Unterflurbewässerung) als auch an Rohrdränsystemen (z. B. Anstauschächte), für deren Umsetzung ein technischer Leitfaden sowie eine Beratungshilfe zur Beantragung der wasserrechtlichen Genehmigung erstellt wurde. Es wurden Pilotmaßnahmen zum Wasserrückhalt an verschiedenen Standorten sowie eine Erfolgskontrolle mittels Grundwasserpegeln durchgeführt. Da die Versuchsstation Karolinenfeld großflächig wiedervernässt werden soll, wurde eine modellgestützte Machbarkeitsstudie für die weitere Umsetzung in Auftrag gegeben.



AP 3: Etablierung und Bewirtschaftung von wiedervernässtem Moorgrünland mittlerer Nutzungsintensität

In diesem Arbeitspaket wurde geprüft, ob im Nassgrünland Futter in ausreichender Qualität für die Viehhaltung generierbar ist. Sowohl für die Umwandlung von dränierten Ackerflächen in flexibel vernässtes Grünland als auch für bisher dränierte Grünlandflächen wurden nasseangepasste Saatgutmischungen erprobt. Dabei wurde eine Grünlandbewirtschaftung auf mittlerem Nutzungsniveau angestrebt, wobei verschiedene Mähzeitpunkte getestet wurden. Hinsichtlich der Bewirtschaftung wurden zum einen landtechnische Optionen und die Arbeitswirtschaft für die verschiedenen Arbeitsschritte im Mähgrünland und die Verbesserungen der Bedingungen für Nassbeweidung (u. a. durch befestigte Liegeflächen) evaluiert. Sowohl für Mähgrünland auf mittlerem Nutzungsniveau als auch für Weideland mit Ganzjahresbeweidung durch Wasserbüffel wurde die Klimaschutzwirkung untersucht.



AP 4: Paludikulturen

Die Untersuchungen dieses Arbeitspaket fokussierten sich auf Wissens- und Erfahrungslücken beim Anbau, der Klimaschutzwirkung und der Wertschöpfungskette von Paludikulturen. Arbeitsschwerpunkt bezüglich des Anbaus stellte die Vermehrung und Etablierung von Seggen (*Carex acutiformis*) dar, wozu Labor-, Gewächshaus- und Freilanduntersuchungen stattfanden. Da die Emissionsrisiken für Treibhausgase in der Etablierungsphase der Paludikulturen bisher noch nicht ausreichend erfasst waren, wurden parallele Haubenmessungen durchgeführt. Mit der Identifizierung von Absatzmärkten und Wertschöpfung sollte eine entscheidende Hürde überwunden werden, damit Landwirte auf eine moorverträgliche Nutzung umstellen. Hierzu wurden die Einsatzmöglichkeiten des mittels niedermoorschonender Bewirtschaftung gewonnenen Ernteguts verschiedenen Testreihen unterzogen, u.a. für die Produktion von Bauplatten und Biopolymeren.



AP 5: Entwicklung eines Förderprogramms

Die klimaverträgliche Bewirtschaftung von Moorböden wird nur mit einem unterstützenden Förderprogramm möglich sein. In Bayern wird dies mit dem Moorbauernprogramm umgesetzt. Über die Instrumente der Ländlichen Entwicklung wird die Infrastruktur für die Wasserstandsanhhebung gefördert. Über das Bayerische Kulturlandschaftsprogramm – Moorbauernprogramm (M) wird eine klimaverträgliche Nutzung auf der Fläche gefördert. Für bereits nass bewirtschaftete Moorflächen wurden Pflanzenarten identifiziert, die für einen Nässenachweis herangezogen werden können. AP5 lieferte dafür die fachlichen Grundlagen.



AP 6: Wissenstransfer und Dialog mit der Praxis

Da die nasse Moorbewirtschaftung für viele Akteure Neuland ist und daher zahlreiche Vorbehalte existieren, ist eine faktenbasierte, dem aktuellen Wissensstand gemäße Aufbereitung der Fachinformation für die Kommunikation wichtig. In diesem Arbeitspaket wurden zielgruppen-spezifische Kommunikationsprodukte erarbeitet, wie etwa ein Musterfoliensatz für die Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten als erster Ansprechpartner im landwirtschaftlichen Moorbodenschutz. Der Dialog mit den verschiedenen Akteuren entstand vor allem durch zahlreiche Führungen zu den Untersuchungsstandorten, insbesondere auf der Versuchsstation Karolinenfeld, sowie auf Feldtagen im Schwäbischen und Altbayerischen Donaumoos. Zudem wurden Beiträge in Print- und Onlinemedien veröffentlicht, u.a. Videos zur auf nassen Moorböden eingesetzten Landtechnik.

1.4 Untersuchungsstandorte (LfL)

Das Projekt MoorBewi hatte einen bayernweiten Fokus. Der Großteil der landwirtschaftlich genutzten Moore befindet sich allerdings in den südlicheren Regionen in Oberbayern und Schwaben, wo ein Niederschlagsüberschuss herrscht. Bei den Untersuchungsstandorten (Abbildung 1.1, Tabelle 1.1) handelte es sich vorwiegend um:

- voralpine Moore: durch Grünland und Futterbau geprägte Verlandungs- und Versumpfungsmoore mit hohen Niederschlägen, geringer Grundwasserzufuhr und zumeist Entwässerung durch Rohrdränagen (u. a. Versuchsstation Karolinenfeld, Klosterland Benediktbeuern)
- flussbegleitende Moore: Durchströmungsmoore entlang der großen Flusstäler bis zur Donau mit Ackerbau, Biogasnutzung und Grünland, hoher Grundwasserzufuhr und zumeist Grabenentwässerung (u. a. Freisinger Moos, Schwäbisches und Bayerisches Donaumoos).

Schwerpunktfelder für eine moorverträgliche Bewirtschaftung sind in Bayern intensiv genutzte Acker- oder Grünlandstandorte auf stark entwässerten Nieder- und Anmooren. Hochmoore wurden in Bayern vorrangig zur Torfgewinnung genutzt und sind aus landwirtschaftlicher Sicht von untergeordneter Bedeutung.

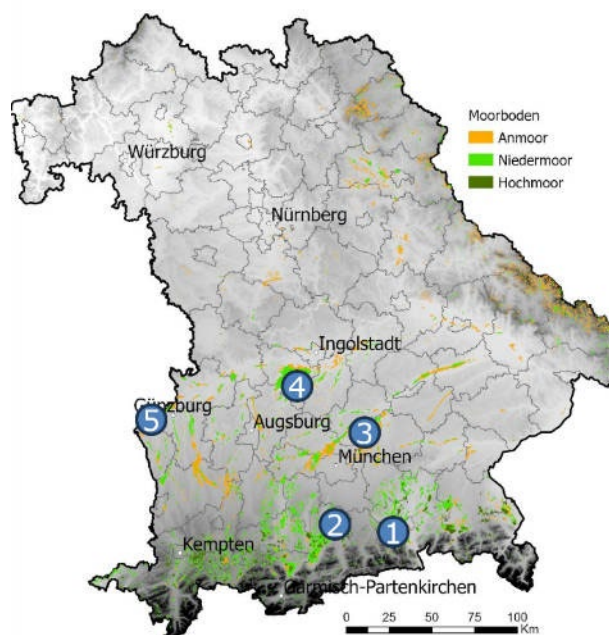


Abbildung 1.1: Übersichtskarte von Bayern mit den MoorBewi-Untersuchungsstandorten. Zuordnung der Untersuchungsstandorte siehe nachfolgende Tabelle.

Tabelle 1.1: Klimatische Kennwerte der Untersuchungsstandorte. Die Werte für den Jahresniederschlag und die Jahresmitteltemperatur entstammen den unterhalb der Werte angegebenen Messstationen. Für die DWD-Messstationen ohne Temperaturmessungen wurden nahegelegene LfL-Messstationen verwendet.

Nr.	Untersuchungsstandort	Höhe ü. NN in m	Jahresniederschlag (mm)	Jahresmitteltemperatur (°C)
1	Versuchsstation Karolinenfeld	470	1090	9,2
		DWD-Messstation Rosenheim 1991-2020		
2	Klosterland Benediktbeuern	601	1503	*8,5
		DWD- Messstation Benediktbeuern: 1991-2020		
		*Wetterstation Steingaden (LfL) 2018-2023		
3	Freisinger Moos	449	960	8,7
		DWD- Messstation Weißenstephan: 1991-2020		
4	Altbayerisches Donaumoos	384	755	*9,5
		DWD- Messstation Schrobenhausen: 1991-2020		
		*Wetterstation Ainertshofen (LfL) 1992-2021		
5	Schwäbisches Donaumoos	444	716	9,2
		DWD- Messstation Günzburg: 1991-2020		

1.4.1 Versuchsstation Karolinenfeld (LfL, BaySG)

Entstehung der Moorböden: Die Flächen der Versuchsstation Karolinenfeld der Bayerischen Staatsgüter sind Teil der Rosenheimer Stammbeckenmoore, die sich durch die Verlandung und Versumpfung des Rosenheimer Sees bildeten (Zahlheimer, 1989). Vor etwa 20.000 Jahren, auf dem Höhepunkt der letzten Kaltzeit, war das Rosenheimer Gebiet vom Innegletscher bedeckt. In dem anstehenden weichen mineralischen Untergrund (Molasse)

schürfte der Gletscher eine bis zu 300 m tiefe Mulde aus und lagerte End- und Seitenmoränen ab. In dieser Mulde bildete sich nach der letzten Kaltzeit der Rosenheimer See. Vor mehr als 12.000 Jahren durchbrach der Inn die Endmoränenwälle nördlich von Wasserburg am Inn, wodurch der See auslief. Durch die Gletscherbäche aus den Alpen, Erosion im Flussbett des Inns und von umliegenden Flächen wurde Geschiebe herangebracht, das auf dem (ehemaligen) Seegrund sedimentierte. Es bildete sich der sogenannte „Seeton“ mit einer Mächtigkeit von bis zu 150 m, bei dem es sich aber nicht um reinen Ton handelt, sondern um eine Mischung aus Feinsanden, Schluffen oder tonigen Schluffen und Tonen (Cudmani et al., 2022). In dem Gebiet der Versuchsstation steht ein Substrat mit hohem Tongehalt an, nach Westen hin nimmt der Schluffgehalt zu. Nach dem Auslaufen des Sees entstand durch die stauende Schicht ein Moorkomplex aus Bruchwäldern und Schilfröhricht, auf dem mit der Zeit ein Hochmoor aufwuchs.

Entwässerung und Nutzung der Moorböden: Im Bereich der Versuchsstation wurde im 19. Jahrhundert ein Teil des Torfs als Brennmaterial abgebaut und bis auf den Niedermoorkörper abgetragen. Seit 1905 wurden systematische Entwässerungsgräben geplant (Zahlheimer, 1989). Anschließend fand im Bereich der jetzigen Versuchsstation Karolinenfeld eine Umwandlung in landwirtschaftliche Nutzflächen statt. Beginnend im Jahr 1948 wurden die Bereiche zwischen den Gräben mit Tondrainagen im Fischgrätenmuster weiter trockengelegt. Eine letzte Tieferlegung der Dränagen erfolgte 1983, dabei wurden die Hauptversuchsflächen (siehe Flächen 1 und 2 in Abbildung 1.2) bis auf den unterliegenden Seeton tief entwässert. Tonrohre, die als Sauger dienen, sind in 10 m Abstand verlegt und führen das Dränagewasser Sammlern zu, die in Pumpschächte münden, die wiederum das Wasser dem Vorfluter zuführen. Die Torfmächtigkeit beträgt überwiegend 0,5 bis 1 m, der als Kernversuchsfläche genutzte Bereich weist Torfauflagen bis 2 m auf.

Auf dem tiefgründig entwässerten Moorboden fand bis zum Projektbeginn eine intensive ackerbauliche Nutzung statt. Von den rund 140 ha landwirtschaftlich genutzter Fläche wurden rd. 97 ha als Acker, 21 ha als Dauergrünland und etwa 21 ha als Kurzumtriebsplantage (KUP) genutzt. Des Weiteren liegen auf der Station rd. 20 ha Naturwald. Die Station diente bis ins Jahr 2020 im Wesentlichen der Aufzucht von Kälbern und Jungrindern für Forschungszwecke und zu Fütterungsversuchen.

Untersuchungen für eine moorverträgliche Bewirtschaftung: Beginnend im Jahr 2020 erfolgte die schrittweise Umwandlung sämtlicher Ackerflächen in Grünland, die 2022 ihren Abschluss fand. Die nunmehr ausschließliche Grünlandnutzung wurde im Jahr 2023 auf biologische Bewirtschaftung umgestellt.

Der nächste Schritt stellt die großflächige Anhebung der Wasserstände auf den Moorböden dar. Die Flächen der Versuchsstation sind überwiegend arrondiert, lediglich zwei kleine Teilflächen sind nicht im Besitz der Versuchsstation. Hier ist ein Flächentausch eingeleitet bzw. wurde mit einem Eigentümer eine mündliche Vereinbarung getroffen, dass die Ver-nässungsmaßnahmen starten können. Die meist nur gering geneigten Flächen liegen auf einer leichten Kuppe, sodass sie ein kleines Einzugsgebiet aufweisen. Der zentrale Vorfluter der Flächen ist der Erlbach, der Richtung Nordosten verläuft. Einige kleine Flächen im Süden des Gebietes entwässern in südliche bzw. östliche Richtung.

Im Rahmen von MoorBewi wurden auf der Versuchsstation Karolinenfeld verschiedene Untersuchungen durchgeführt (Abbildung 1.2). Auf Fläche 1 wurde von 2020 bis 2024 der Aufwuchs nässeangepasster Grünland-Saatgutmischungen in Kombination mit einem Schachtanbau mit Unterflurbewässerung, der bereits im Projekt Moor-KULAP eingeleitet wurde, durch das IAB/IPZ der LfL untersucht. Ergänzend wurden von der LfL-IAB-

Arbeitsgruppe „Bodentiere“ im Herbst 2023 stichprobenartige Untersuchungen zur Wirkung einer Wiedervernässung auf die Abundanz und Biomasse von Regenwürmern und epigäischen Arthropoden durchgeführt. Letztere Erhebungen waren kein vorgesehener Teil des Projekts MoorBewi, bieten aber interessante Diskussionspunkte. Bei Interesse wird gebeten, direkt mit der Arbeitsgruppe (Leitung R. Walter) Kontakt aufzunehmen.

Auf Fläche 2 fanden von 2023 bis 2024 Befahrbarkeitsversuche durch das ILT der LfL statt, für die die Wasserregelung mit einem Schacht-Kaskadensystem erfolgte.

Die Fläche 3 diente der Untersuchung der Etablierung der Sumpf-Segge als Paludikultur durch das PSC der HSWT. Zu Beginn der Etablierungsversuche erfolgte die Wasserzufuhr über Beregnung, im Jahr 2024 ließ sich auch auf diesen Flächen ein Schachtanstau umsetzen.

Zudem wurde in Zusammenarbeit von LfL und BaySG ein Messwehr im Erlbach errichtet, mit dem Abflussdaten zur Planung der weiteren Vernässung der VS Karolinenfeld erhoben wurden. Im Vorfeld einer durch die BaySG beauftragten Machbarkeitsstudie wurde ein hydrologisches Modell erstellt, das unter anderem auf Grundwasserganglinien, Abflussdaten des Messwehres und meteorologischen Daten basiert. Die Machbarkeitsstudie umfasst eine zweistufige Simulation: Zunächst sollen als einfachste Methode alle Drainagestränge angestaut und der zentrale Vorfluter Erlbach durch ein umgewandeltes Stauwehr (ehemals Messwehr) verschlossen werden. Lässt sich der Zielwasserstand von 0 bis 30 cm auf den Flächen dadurch nicht erreichen, werden im zweiten Schritt geeignete Knotenpunkte im Drainagen- und Grabensystem ermittelt, um eine großflächige Wasserstandsanhhebung zu ermöglichen. Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie können ab 2025 in Folgeprojekten umgesetzt werden.

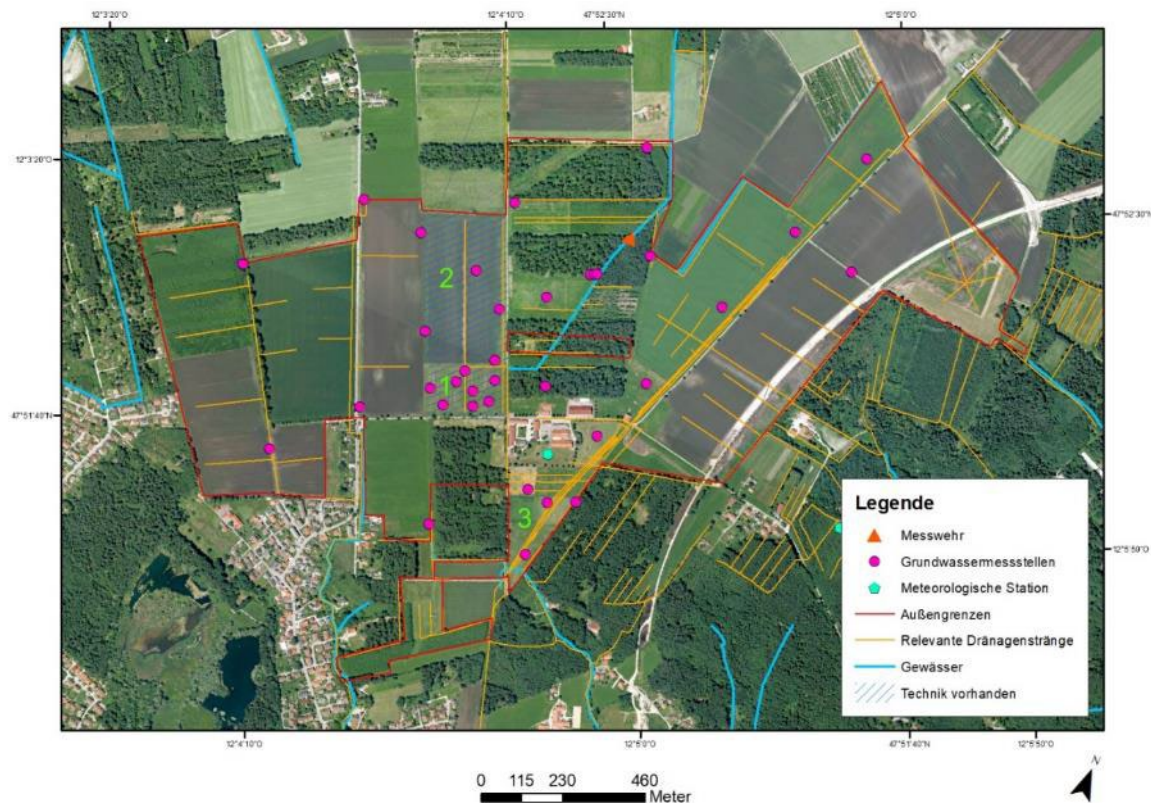


Abbildung 1.2: Übersichtskarte der Versuchsstation Karolinenfeld. Die MoorBewi-Untersuchungsflächen sind nummeriert: 1 Saatgutmischungen für Nassgrünland, 2 Befahrbarkeitsversuche mit Landtechnik für Nassgrünland, 3 Etablierung der Sumpf-Segge als Paludikultur.

1.4.2 Klosterland Benediktbeuern (LfL)

Entstehung der Moorböden: Die Flächen des Klosterlandes Benediktbeuern liegen in den Loisach-Kochelsee-Mooren im Bereich des Stammtrichters des Loisach-Isargletschers und weisen je nach Lage unterschiedliche hydrogenetische Moortypen auf: An den Rändern sind Hangmoore verbreitet, während sich in der Mitte eine Zwischenform aus Versumpfungs- und Verlandungsmoor gebildet hat. Der Torfkörper wird partiell von dünnen mineralischen Schichten durchzogen, die jedoch keine hydraulisch wirksamen Trennschichten darstellen.

Entwässerung und Nutzung der Moorböden: Als Untersuchungsstandort dienen zwei benachbarte Flächen des Klosterlandes, die extensiv als Grünland bewirtschaftet werden. Im Vergleich zum natürlichen Zustand zeigt sich eine deutliche Absenkung des Wasserspiegels im Gebiet und in der angrenzenden Loisach. Kartographische Aufzeichnungen aus dem Moorarchiv belegen, dass die Torfmächtigkeit am Standort im Bereich von 3 bis 8 Metern variiert. Bei der Torfansprache wurde der Oberboden als vererdet und der übrige Torfkörper als mäßig bis stark zersetzt angesprochen. Die Grundwasserganglinien für den Standort vor der Wiedervernässung zeigen, dass die Fläche im Winter oberflächennah vernässt ist und im Sommer bis zu 80 cm trockenfällt.

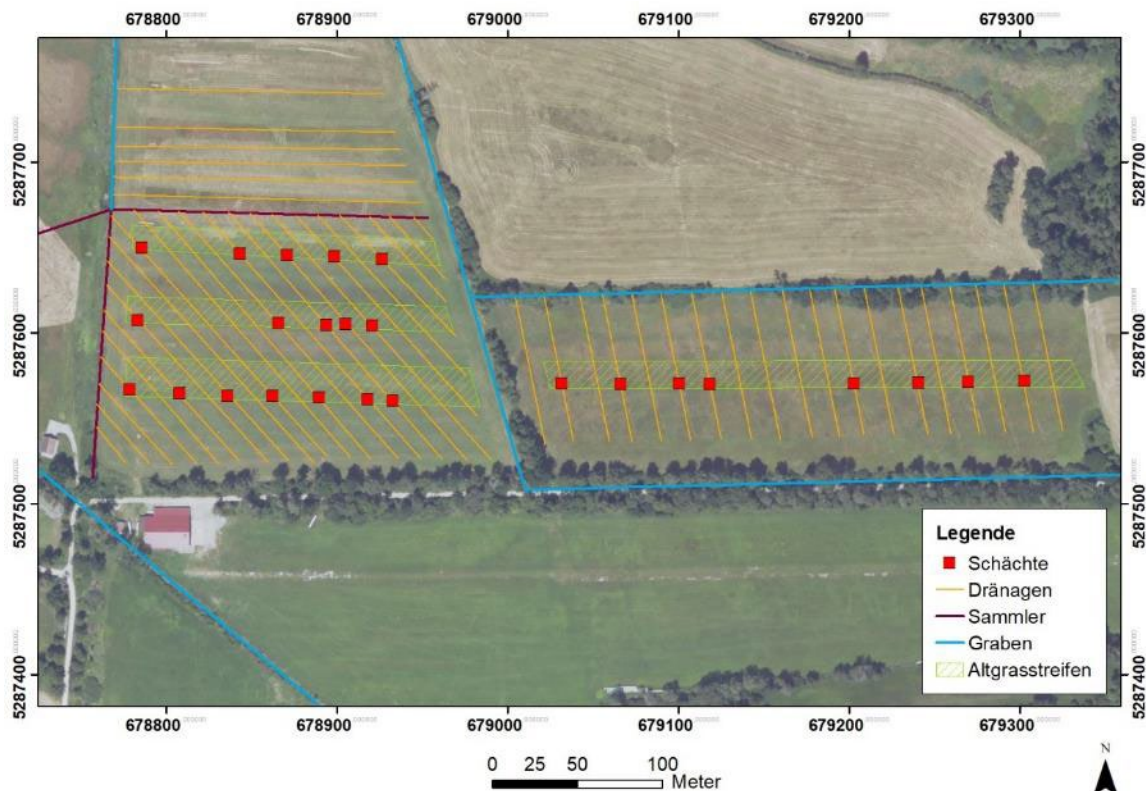


Abbildung 1.3: Übersichtskarte der Untersuchungsflächen im Klosterland Benediktbeuern

Die Gräben auf den Versuchsflächen haben eine Tiefe von ca. 1 m. Die beiden Flächen (jeweils ca. 4 ha) weisen ein Südost-Nordwest-Gefälle von ca. 1 m bzw. 3 m auf. In Abständen von 10 m beziehungsweise 15 m durchziehen Dränagen die Flächen in etwa 90 cm Tiefe. Der Ablauf der Dränagen erfolgt auf der einen Fläche in einen Sammlerschacht und auf der anderen in einen Graben.

Untersuchungen für eine moorverträgliche Bewirtschaftung: Im Rahmen von MoorBewi wurden auf den beiden Versuchsflächen durch die LfL Maßnahmen zur Wasserstandsanhhebung durchgeführt. Weitere Untersuchungen zur Nutzung fanden nicht statt, da die Flächen auch nach Wiedervernässung als extensives Grünland im Vertragsnaturschutzprogramm bewirtschaftet werden. Allerdings fanden bereits im Vorfeld Treibhausgasmessungen auf der westlichen Untersuchungsfläche im Rahmen des Projekts KliMoBay statt.

1.4.3 Freisinger Moos (PSC-HSWT)

Entstehung der Moorböden: Das Freisinger Moos (48°22'N, 11°40'O) ist ein grundwassergespeistes Niedermoor in Süddeutschland, gelegen zwischen der Isar im Süd-Osten und dem Tertiär-Hügelland an seiner nördlichen und nord-westlichen Grenze. Die maximale Torftiefe beträgt 5,5 m. Bei der Entstehung des Freisinger Moores spielt die Münchner Schotterebene eine wichtige Rolle. Diese entstand während der Eiszeiten durch den Transport und die Ablagerung großer Mengen von Gesteinsmaterial, das von den Alpengletschern und den Flüssen, insbesondere der Isar, mitgeführt wurde. Diese Schotterschichten bildeten eine weitläufige, durchlässige Ebene, die das Grundwassersystem in der Region bis heute prägt. Die Schotterebene ist nach Norden geneigt und daher tritt am Nordende das Grund-

wasser im Schotterkörper an die Oberfläche. Daher entwickelte sich die Kette der Niedermoore aus Dachauer Moos, Freisinger Moos und Erdinger Moos nach dem Rückzug der Gletscher vor etwa 12.000 Jahren. Das kontinuierlich anstehende Grundwasser schaffte die nassen Bedingungen, die für das Wachstum von torfbildenden Pflanzenarten, wie Braunmoose, Schilf und Seggen optimal sind.

Entwässerung und Nutzung der Moorböden: Die hydrologische Situation im Freisinger Moos wurde durch Eingriffe des Menschen im 19. und 20. Jahrhundert stark verändert, als umfangreiche Entwässerungsmaßnahmen zur landwirtschaftlichen Nutzung durchgeführt wurden. Diese Entwässerung führte zu einer Absenkung des Grundwasserspiegels, was die Oxidation und Zersetzung der obersten Torfschichten beschleunigte und zu Bodenabsenkungen führte. Etwa 88,8 % der Moorfläche werden derzeit landwirtschaftlich genutzt: 24,1 % als Ackerland, 23,5 % als intensiv genutztes Grünland und 41,2 % als extensiv genutztes Grünland, wobei hier die Anmoorböden und mineralische Randbereiche mit einbezogen sind (Eberl, 2016). Der Hauptnutzungstyp ist Grünland, wovon ein kleinerer Teil intensiv bewirtschaftet wird mit bis zu vier Schnitten pro Jahr. Ungefähr 4 % der Gesamtfläche besteht aus geschützten Biotopen. In diesen Bereichen des Freisinger Moores sind oft noch intakte Moorböden erhalten.

Untersuchungen für eine moorverträgliche Bewirtschaftung: Auf der Versuchsfläche im Freisinger Moos (Abbildung 1.4) wurden verschiedene Arten von Unterflurbewässerungen (rohrlos, Dränagerohre in 30 cm und Dränagerohre in 50 cm Tiefe) an einen Graben mit einem regelbaren Stauwehr angeschlossen. Auf den jeweiligen Untersuchungsparzellen wurden Treibhausgasmessungen durchgeführt, um die Auswirkung der Unterflurbewässerung auf die Treibhausgasbilanzen zu ermitteln.



Abbildung 1.4: Übersichtskarte der Untersuchungsfläche im Freisinger Moos

1.4.4 Altbayerisches Donaumoos (LfL, PSC-HSWT, DMZV)

Entstehung der Moorböden: Das 180 km² große Altbayerische Donaumoos hat sich in einer natürlichen Senke gebildet, durch die einst die Donau floss. Nach der Verlagerung des Flusslaufes in Richtung Norden und der Ablagerung von Kiesbänken wurde der Abfluss der Donaumoosbäche aus dem Gebiet des heutigen Donaumooses eingeschränkt. Im Laufe der nächsten 10.000 Jahre konnten sich Niedermoortorfe bilden (Pfadenhauer, Krüger und Muhr, 1991). Im Untergrund steht Molassegestein und quartärer Schotter an. Unter Molassegestein wird eine Vielzahl an Sedimenten verstanden, die während der Entstehung der Alpen erodiert wurden. Das umfasst tertiäre Sande und Kiese der oberen Süßwassermolasse, die teilweise durch Sande, Schluffe und Tone fluviatiler Herkunft überdeckt sind. Der anstehende durchlässige mineralische Untergrund hat Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung. Entsprechend dem Moorentwicklungs-Konzept Bayern (Ringler und Dingler, 2005) kann das „Altbayerische Donaumoos“ als Talrand-Stauwassermoor und Randsenkenmoor eingeordnet werden. In den Randbereichen dominieren dabei Quellmoore. Seit der Kultivierung vor mehr als 200 Jahren hat die Torfmächtigkeit infolge der Entwässerung und des Torfstichs um bis zu 3 m abgenommen. An den Rändern ist der Grundwasserstand durch den Zufluss aus dem angrenzenden Hügelland noch einigermaßen hoch. In der Mitte des Moores ist der Grundwasserstand durch die Entwässerungskanäle hingegen stark abgesunken.

Entwässerung und Nutzung der Moorböden:

1. Grünlandstandort im Langenweiher (Abbildung 1.5)

Die Versuchsfläche wurde durch einen Landwirt im Nebenerwerb als Grünland für den Futterbau genutzt. Die 3,5 ha große Fläche ist Teil der Gewanne „Im Langenweiher“ und durch Entwässerungsgräben abgegrenzt. Durch die Nähe zu Hanglagen ist der Grundwasserzustrom im Jahresverlauf konstant hoch. Die Torfmächtigkeit beträgt ungefähr 3 m. Der Torf wird besonders im südlichen Teil oberflächennah von mineralischen Schichten aus Lehm durchzogen, die auf eine gelegentliche Überflutung während der Entstehung des Torfkörpers schließen lassen. Der Torf weist eine Zweigliederung auf: So ergab eine Profilaufnahme, dass der Oberboden vererdet ist, darunter folgt ein Horizont weniger stark zersetzten Torfs (H5-H6), gefolgt von einem Horizont mit einem höheren Zersetzungsgrad (H8).

2. Ackerstandort bei Königsmoos (Abbildung 1.6)

Die Versuchsfläche ist Teil der typischen Ackerlandlandschaft im Donaumoos. Alle Flächen sind umgeben von Gräben und werden intensiv entwässert. Im Jahr der Versuchsdurchführung wurde auf allen Flächen Körnermais angebaut. Insgesamt wurden vier Äcker betrachtet, zwei davon werden biologisch bewirtschaftet. Auf diesen wurde als Zwischenfrucht vor dem Maisanbau eine Wicken-Weidelgrasmischung angebaut. Auf den beiden konventionell bewirtschafteten Flächen wurde keine Vorfrucht angebaut.

3. Paludikulturstandort Langenmosen (ehemalige MOORuse-Fläche)

Die Versuchsfläche wurde 2018 im Rahmen des MOORuse-Projekts angelegt und war bis 2017 als Ackerfläche intensiv genutzt. Die Fläche ist durch Gräben und eine drainierten Nachbarfläche abgegrenzt, verfügt über große Torfmächtigkeit von bis zu 4 m und eine sehr gute Wasserverfügbarkeit wegen der direkt angrenzenden Hanglage. Inzwischen wachsen dort fast in Reinbeständen gut etabliertes Rohrglanzgras (ca. 3 ha) und Seggen (ca. 0,5 ha). Die direkt anschließende Rohrkolbenfläche (ca. 0,5 ha) lichtet sich langsam etwas und mischt sich mit anderen Kulturen. Eine Übersichtskarte zum Standort findet sich in Eickenscheidt et al., 2023.

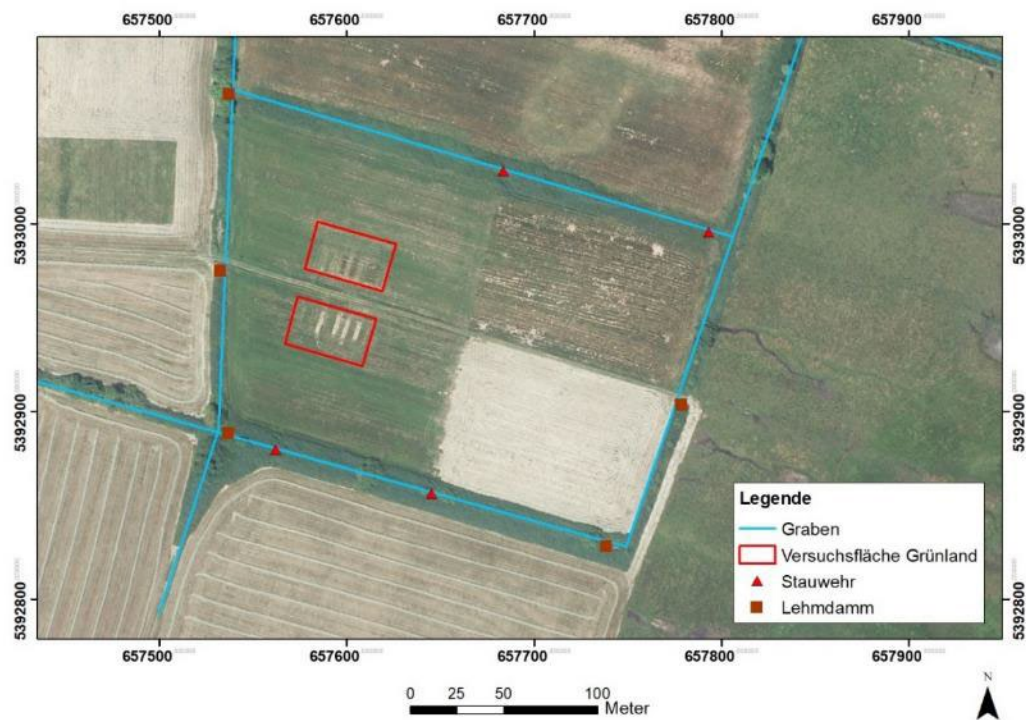


Abbildung 1.5: Übersichtskarte der Untersuchungsfläche in Langenweiher im Altbayerischen Donaumoos



Abbildung 1.6: Übersichtskarte der Untersuchungsfläche am Ackerstandort im Altbayerischen Donaumoos

Untersuchungen für eine moorverträgliche Bewirtschaftung:

1. Grünlandstandort in Langenweiher

Die Untersuchungen im Rahmen von MoorBewi waren eingebettet in ein Wiedervernäsungsvorhaben des Donaumooszweckverbands (DMZV). Auf der Versuchsfläche wurden verschiedene regelbare Stauwehre erprobt. Hinsichtlich der Nutzung fand eine Nachsaat mit nässeangepassten Futtergräsern statt, deren Etablierung dokumentiert wurde.

2. Ackerstandort bei Königsmoos

Auf der Versuchsfläche wurden Dränagerohre in 0,75-1,0 Metern Tiefe unter einem Acker verlegt (Treatment DOO_5). Darüber hinaus wurden auf einer Parallel-Fläche in 30 bis 40 Zentimetern Tiefe rohrlose Unterflurbewässerungen (sog. Maulwurfsdränagen) verlegt (Treatment DOO_4). Beide Unterflurbewässerungen wurden an einen gefluteten Entwässerungsgraben angeschlossen, der durch eine Pumpe befüllt wurde, um den erforderlichen Wasserspiegel aufrechtzuerhalten. Für die Treatments („Versuchsvarianten“) DOO_4 und DOO_5 wurden Referenzparzellen ohne jeglichen Einfluss auf den Grundwasserstand angelegt (DOO_6 und DOO_7). Auf allen Treatments wurden Treibhausgasmessungen durchgeführt, um den unterschiedlichen Einfluss des Wassermanagements auf die Treibhausgasbilanz zu erforschen.

3. Paludikulturstandort Langenmosen (ehemalige MOORuse-Fläche)

Auf der Projektfläche wurden zunächst im MOORuse Projekt alle Dränagen gekappt, zudem wurde aus einem angrenzenden Graben kontinuierlich Wasser eingeleitet. Mit den Maßnahmen konnte im Jahresmittel ein relativ hoher Grundwasserstand gewährleistet werden. Der Standort in MoorBewi dazu genutzt, um Maschinen für die Ernte zu testen und die Paludibiomasse für Verarbeitungsversuche zu gewinnen.

1.4.5 Schwäbisches Donaumoos (ARGE)

Entstehung der Moorböden: In der Folge tektonischer Vorgänge entstand während des Tertiärs und Quartärs sowie der landschaftsprägenden Dynamik von Gletschern und der Donau in den vergangenen 50.000 Jahren das Schwäbische Donaumoos als grundwasserabhängiges Moor (Mäck und Ehrhardt, 1995). Die ehemals bis zu 5 m mächtigen Torfschichten (Schuch, 1995) liegen auf bis zu 2 m dicken tonig-lehmigen Ablagerungen (Hartel, Lutz und Schmeidl, 1952), die den ehemaligen kiesigen Flusssedimenten aufliegen. Das Grundwasser im Kies und dem Karstgebirge der Schwäbischen Alb, welches hier unter den Kies und unter eine Molasseschicht abtaucht, floss ehemals aus vielen Quellen zwischen Hoch- und Niederterrasse sowie aus „Fenstern“ in der lehmigen Trennschicht in die flache Niederung (Schloz, 1990). So konnte sich hier im Laufe der Jahrtausende ein Niedermoor entwickeln, das nach Succow und Jeschke, 1990 sowohl Merkmale eines Verlandungsmoores (Mudde-Ablagerungen über dem Torf) als auch die eines Durchströmungsmoores (Randlage im Urstromtal) aufweist. Das Gebiet liegt größtenteils im Regenschatten der Schwäbischen Alb und gehört mit nur ca. 680 mm mittlerem jährlichem Niederschlag zu den regenärmsten Gebieten des schwäbischen Alpenvorlandes (Mäck und Ehrhardt, 1995). Die Bildung des Torfkörpers begann erst nach der letzten Eiszeit: In Auskolkungen (kleine wassergefüllte Vertiefungen) und Altwasserrinnen sowohl der eiszeitlichen und nacheiszeitlichen Gletscherabflüsse als auch der Donau blieben nach Hochwässern Wasserflächen zurück, in denen dann die Moorbildungsvorgänge einsetzten. Diese Moorbildung stagniert seit etwa 2.000 - 5.000 Jahren, weil sich die Wasserbilanz des Moores umkehrte (Mäck und Ehrhardt, 1995).

Entwässerung und Nutzung der Moorböden: Die landwirtschaftliche Erschließung erfolgte Anfang des 19. Jahrhunderts im Vergleich zu anderen Moorgebieten relativ spät (Flinspach, 1997). Doch wurde dann in wenigen Jahrzehnten ein ausgedehntes Grabennetz zur Entwässerung angelegt und ausgebaut, in Baden-Württemberg beginnend etwa mit der Donaukorrektur 1806-1871, in Bayern besonders intensiv nach Inbetriebnahme der Grundwasserförderung durch den Zweckverband Landeswasserversorgung Stuttgart anno 1917 (Mäck und Ehrhardt, 1995). Die Niedermoor-Randbereiche dienten noch bis in die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts während Niedrigwasserperioden zur Streugewinnung und als Viehweide und im Zentralbereich wurde bis in die 1960er Jahre lediglich Brenntorf gestochen (Flinspach, 1997, Mäck und Ehrhardt, 1995). Andere Nutzungen waren wegen der hohen Wasserstände nicht möglich.

Die verschiedenen, bis heute andauernden Eingriffe in den Wasserhaushalt (Donaukorrektur, Entwässerungsgrabennetz, Kiesabbau und Trinkwasserförderung) verursachen zusammen mit ihren Folgenutzungen wie intensive Landwirtschaft und Freizeitnutzung die gravierendsten Veränderungen in den Lebensräumen. Aus den unter dem Niedermoor liegenden Kiesschichten werden heute im baden-württembergischen Gebietsteil jährlich ca. 35 Mio m³ Grundwasser zur Trinkwasserversorgung großer Teile Baden-Württembergs entnommen (Mäck und Ehrhardt, 1995). In den letzten Jahren haben sich viele Landwirte in und um das Schwäbische Donaumoos auf Biogas-Erzeugung spezialisiert. Wo früher Wiesen das Landschaftsbild prägten, dominiert heute großflächiger Maisanbau: Seit der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden fast 2000 ha Grünland in Ackerland umgewandelt, ein Rückgang der Wiesen um mehr als 60% in nur hundert Jahren (Mäck, 2014).

1. Paludikulturfläche Riedhausen (Abbildung 1.7)

Die 2019 von der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT) im Rahmen des Projekts MOORuse eingerichteten Paludikulturflächen (6000 m² Rohrglanzgras, 6000 m² Seggen) befinden sich in Günzburg in der Gemarkung Riedhausen. Der Standort wurde früher als Kartoffelacker genutzt. Der aktuelle Bewirtschafter hat den Acker zum Teil in Grünland umgewandelt und einen anderen Teil als Acker, in der Regel für den Maisanbau, genutzt. Der Standort hat sich angeboten, da dem Eigentümer bewusst ist, dass entwässerungsbaute Bewirtschaftung letztendlich die Aufgabe der Bewirtschaftung bedeutet, aufgrund der drohenden Endlichkeit des Bodens. So ist in den letzten 25 Jahren der Moorkörper um 50 cm geschrumpft, was ein Vergleich der Moorbodenkarte von 1992 mit der aktuellen Messung durch die HWST in Hinblick auf die Eignung der Fläche zeigt. Ein weiteres Auswahlkriterium für die Fläche war die günstige Lage der Entwässerungsgräben, die eine Anhebung des Wasserstandes ermöglicht, ohne direkte Nachbarflächen zu gefährden. Die Ergebnisse sowie weitere Information (u. a. Bodenprofile) sind in Eickenscheidt et al., 2023 dargestellt.

2. Weidestandort Wasserbüffel (Abbildung 1.8)

Der Standort der Wasserbüffelfläche befindet sich im Leipheimer Moos. Die Nassweide ist auf Ökokontoflächen der Stadt Leipheim angelegt, die z. T. auch im Naturschutzgebiet liegen. Die Flächen sind nicht Teil der Wiedervernässung des Leipheimer Moores, aber von jeher relativ nasse Flächen, die durch Biberaktivitäten im nördlich gelegenen Grenzgraben sehr viel Wasser erhalten. Untersuchungen im Rahmen des Moorbodenmonitorings des Thünen-Instituts aus Braunschweig ergaben, dass die Torfmächtigkeit am Standort ca. 1 m beträgt. Im Rahmen einer im Jahr 2023 durchgeführten Bodenanalyse konnten ein hoher Kalkgehalt, ein pH-Wert von 6,5, sowie geringe Phosphat- (5 mg P₂O₅) und Kalium-Gehalte (6 mg K₂O) festgestellt werden.



Abbildung 1.7: Übersichtskarte der Untersuchungsfläche Riedhausen im Schwäbischen Donaumoos

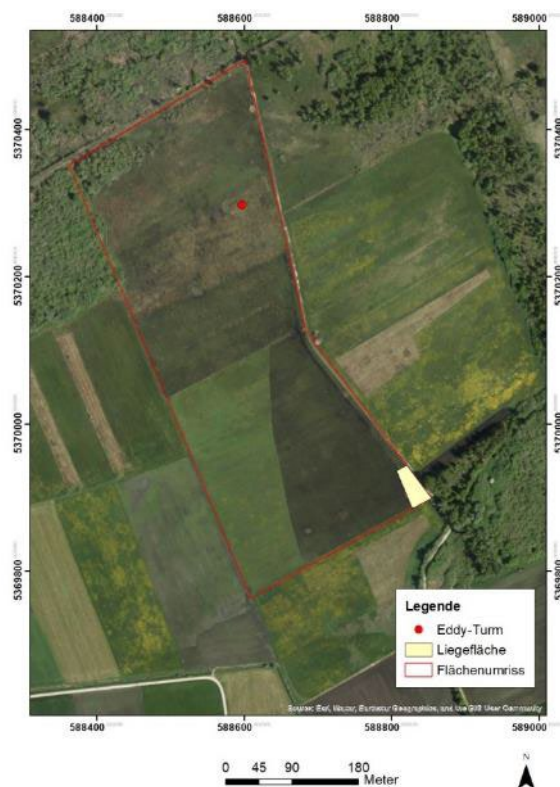


Abbildung 1.8: Übersichtskarte der Untersuchungsfläche mit Wasserbüffeln im Schwäbischen Donaumoos

Untersuchungen für eine moorverträgliche Bewirtschaftung:

1. Paludikulturfläche Riedhausen

Die ehemaligen MOORuse-Flächen konnten ohne Unterbrechung in das MoorBewi-Projekt übernommen und betreut werden. Im ersten Jahr wurden die Flächen noch hälftig zweimal und einmal gemäht, um unterschiedliche Materialqualitäten für die im Projekt erfolgten Verwertungsversuche zu erzielen. Dabei wurden verschiedene Ernteverfahren von der LfL bei Rohrglanzgras und Seggen genauer untersucht (siehe 3.3). Landwirte und Lohnunternehmer aus der Region wurden beauftragt, mit leicht modifizierten oder vorhandenen Maschinen die Ernte durchzuführen.

2. Weidestandort Wasserbüffel

Seit 2013 wird die Fläche mit Wasserbüffeln in Mutterkuhhaltung beweidet. Nasse Weidesysteme erfordern besondere Maßnahmen, um neben dem Boden vor allem das Tierwohl zu schützen. Im Zuge des Projektes wurden Liegeflächen mit unterschiedlichen Unterstellmöglichkeiten für die Tiere getestet, um eine Ganzjahresbeweidung auf nassen Moorflächen auf ihre Machbarkeit zu prüfen. Auf den befestigten Flächen sind eine frostsichere Weidetränke und eine Futterraufe aufgestellt. Aufgrund der Beweidung entstehen immer wieder offenen Bodenflächen, so legen Wasserbüffel Suhlen an, in denen sie baden. Es könnte daher sein, dass die Treibhausgasbilanz einer Nassweide sich von der eines nassen Mähgrünlandes mit geschlossener Grasnarbe unterscheidet. Daher hat die HSWT in 2023 einen Eddy-Kovarianz-Turm auf der Fläche installiert, dessen Messwerte durch Haubenmessungen ergänzt werden. Um den Einfluss der Wasserbüffel auf die Treibhausgasemissionen der Fläche evaluieren zu können, wurden in 2023 einige Tiere mit GPS-Trackern ausgestattet. Die Anzahl der Tiere variierte in den Messjahren zwischen 7 und 30. Seit Mai 2024 liegt die Zahl der Tiere konstant unter 10. Durch den Einfluss der Wasserbüffel entwickelte sich auf der Weide ein Mosaik an verschiedenen Landschaftstypen, unter anderem ein Mikrorelief aus Kleinsenken und Erhebungen mit Seggen-Vegetation.

2 Wiedervernässung und Wassermanagement

Die Wasserstandsanhhebung ist eine wesentliche Voraussetzung für eine klima- und moorverträgliche Nutzung. Diese Anhebung lässt sich auf entwässerten Moorflächen durch den Umbau vorhandener Entwässerungseinrichtungen, wie Gräben und Dränagen, umsetzen. Dabei werden diese Entwässerungseinrichtungen angestaut und bei Bedarf zusätzliches Wasser aus Oberflächengewässern oder Grundwasserkörpern eingeleitet. Fehlen geeignete Entwässerungsstrukturen, sollten Wiedervernässungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden, die möglichst geringe Eingriffe erfordern. Vor der Umsetzung der Maßnahmen ist jedoch zu prüfen, ob eine wasserrechtliche Genehmigung erforderlich ist. Die LfL hat im Rahmen von MoorBewi entsprechende Handreichungen für landwirtschaftliche Akteure herausgegeben (LfL, 2024b, LfL, 2024c).

2.1 Vernässungs- und Wasserstandsregelungstechniken (LfL, PSC-HSWT)

Im Rahmen von MoorBewi wurden verschiedene Wasserregelungstechniken erprobt und evaluiert (Abbildung 2.1, Tabelle 2.1).

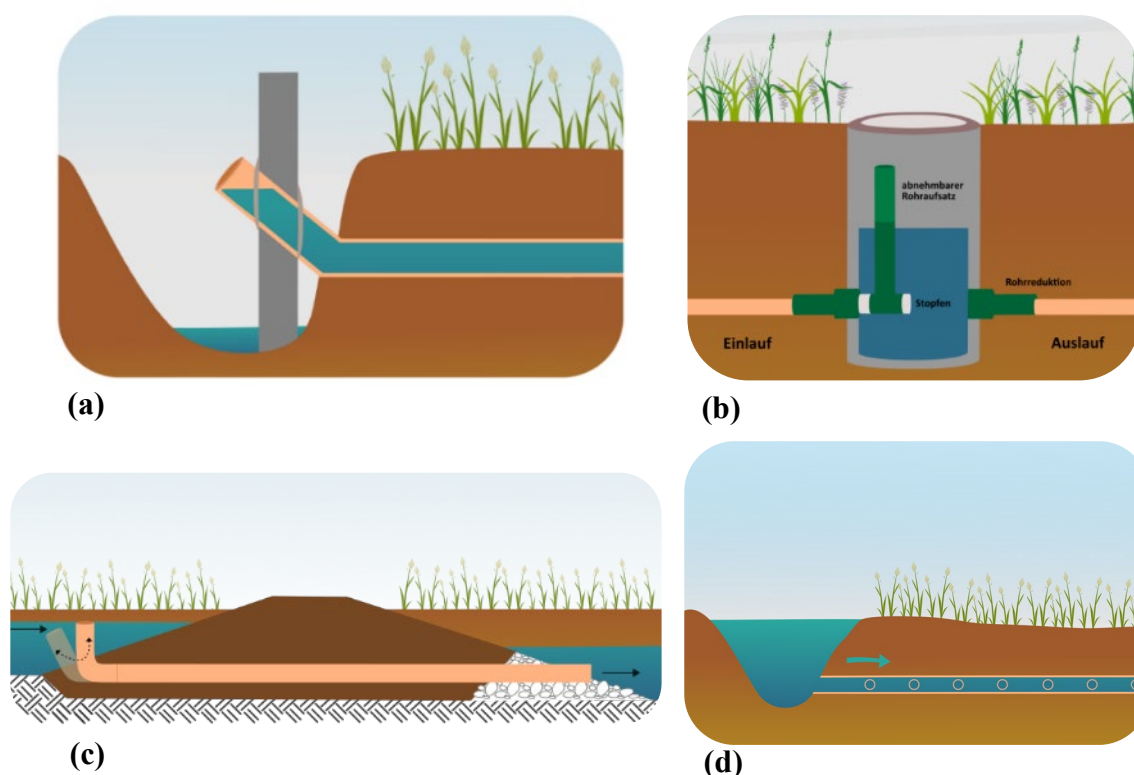


Abbildung 2.1: Schemata der untersuchten Wasserregelungstechniken. Die vorhandenen Entwässerungseinrichtungen wurden umfunktioniert. Dränagen wurden entweder durch Rohraufsätze (a) und Schächte (b) angestaut oder Gräben durch den Bau von Staudämmen (c) und Stauwehren verschlossen. Um die Wirkung dieser Maßnahme zu maximieren, erfolgt eine Bewässerung angrenzender Flächen des angestauten Grabens über Hohlgänge (d). Wird bei einem Grabenanstau zusätzliches Wasser aus angrenzenden Gewässern eingeleitet, wird von einem Grabeneinstau gesprochen.

Tabelle 2.1: Übersicht über die Standorte der im Rahmen von MoorBewi erprobten Wasserregelungstechniken

Technik zur Wasserstands-anhebung	Untersuchungsstandort				
	VS Karolinenfeld (LK Rosenheim)	Klosterland Benediktbeuern (LK Bad Tölz - Wolfratshausen)	Langenweiher Albayerisches Donaumöos (LK Neuburg-Schrobenhausen)	Maisacker Albayerisches Donaumöos (LK Neuburg-Schrobenhausen)	Freisinger Moos (LK Freising)
Grabenanstau mit Stauwehr	×				
Grabeneinstau mit Stauwehr			×		×
Grabeneinstau mit Staudamm			×	×	
Unterflurbewässerung mit Rohrdränage	×			×	×
Rohrlose Unterflurbewässerung				×	×
Dränverschluss mit Rohraufsatz	×				
Eingliedriges Schachtsystem	×	×			
Mehrgliedriges Schachtsystem (Kaskade)	×	×			

Im Moorbauernprogramm wird für Nassgrünland ein ganzjähriges Stauziel von 20 cm (KULAP M14) und für Anbau-Paludikulturen von 10 cm (KULAP M16) unter Flur angestrebt. Für die Bewirtschaftung sollten Zeiträume genutzt werden, in denen der Wasserstand auf natürliche Weise absinkt. Ist dies nicht möglich, kann eine Wasserstandsabsenkung unter bestimmten Voraussetzungen mit einer Ausnahmegenehmigung erfolgen.

Hinsichtlich der Wasserregelung ergibt sich dabei die Frage, wie Wasserregelungstechniken zur Erreichung eines optimalen Stauziels in Mooregebieten beitragen können.

Die Evaluation der Techniken erfolgte unter anderem durch ein Grundwassermonitoring, wobei auf den jeweiligen Untersuchungsstandorten Grundwasserpegel installiert wurden.

Das Grundwassermessstellennetz wurde auf Basis der hydrogeologischen Bedingungen geplant. Da es sich bei den Standorten um Niedermoorböden handelt, wurde angenommen, dass der Moorwasserstand dem Grundwasserstand entspricht, da Niedermoore durch Grundwasser gespeist werden. Die Strömungsverhältnisse lassen sich aus dem Relief oder bei starker anthropogener Überprägung aus der anstehenden mineralischen Schicht ableiten.

Die Grundwassermessstellen wurden entlang eines Profils platziert, das senkrecht zu den aus dem Relief abgeleiteten Höhenlinien als Annäherung an die Grundwassergleichen verläuft. Die Messstellen wurden in regelmäßigen Abständen positioniert, um die zu erwartenden hydraulischen Gradienten und die Fließrichtung des Grundwassers möglichst genau zu erfassen. Weiterhin soll der Einfluss von Dränagen und Staueinrichtungen auf den Wasserstand durch Messstellen erfasst werden. Die Grundwasserstandskarten wurden mithilfe des Interpolationsverfahrens Kriging unter Verwendung der Funktionen autofitVariogram und krige erstellt (R 4.2.3) (Gräler, Pebesma und Heuvelink, 2016, Hiemstra et al., 2008). Als Kriging-Methode wurde „Universal“ verwendet, da sie nicht-stationäre Trends, wie den Einfluss des Reliefs auf die Grundwasserströmung, berücksichtigt. Das Verfahren muss mit absoluten Höhen [m ü.NN] durchgeführt werden, um die räumliche Korrelation korrekt modellieren zu können.

An den meisten Untersuchungsstandorten war die Wasserregelungstechnik durch Planungen in anderen Projekten bereits vor Projektstart festgelegt. Aufgrund des Reliefs oder vorhandener Entwässerungseinrichtungen waren die Wasserregelungssysteme weitgehend vorgegeben. Auf geneigten Flächen ist es notwendig, den Wasserstand auf verschiedenen Höhen zu stauen, um das gewünschte Stauziel zu erreichen.

Für die Planung und Umsetzung von Wiedervernässungsmaßnahmen sollte die Wasserbilanz der Fläche als Teil des Landschaftswasserhaushaltes betrachtet werden. Es ist ebenfalls sinnvoll, die Standortfaktoren genauer zu betrachten, um die hydrologischen Prozesse (wie Infiltration und Grundwasserstrom in der gesättigten Zone) und deren Auswirkungen auf den Flächenwasserstand besser abschätzen zu können. Durch die Torfzersetzung sind die bodenphysikalischen Parameter sehr variabel. Dies und die allgemeine Schwierigkeit von Torf als Baumaterial und -untergrund sollten bei der Planung von Staupositionen berücksichtigt werden. Im Rahmen des Arbeitspaketes wurden zwei Arbeitshilfen erarbeitet, die bei der Planung und Umsetzung von Wiedervernässungsmaßnahmen unterstützen sollen (LfL, 2024b, LfL, 2024c):

Maßnahmen zur Wasserstandsanhhebung für eine moorbodenverträgliche Landwirtschaft

In dieser Arbeitshilfe werden die Genehmigungspflichtigkeit der Wiedervernässungsmaßnahmen ausführlich erläutert. Nach dem Bayerischen Wassergesetz benötigen alle Maßnahmen, die mit der Benutzung von Wasserkörpern mindestens dritter Ordnung verbunden sind, eine wasserrechtliche Erlaubnis. Diese Wasserkörper weisen eine wasserwirtschaftliche Bedeutung auf. Dabei kann ein Gewässer dritter Ordnung auch erst ab einem bestimmten Punkt (z. B. ab einer Einzugsgebietsgröße) zu einem Gewässer 3. Ordnung werden.

Für Wiedervernässungsmaßnahmen, die einer wasserrechtlichen Genehmigung bedürfen, muss bei der zuständigen Kreisverwaltungsbehörde ein wasserrechtlicher Antrag gestellt werden. Diese holt sich zur fachlichen Beurteilung die Stellungnahme vom Wasserwirtschaftsamt und ggf. der unteren Naturschutzbehörde ein. Auch die Gemeinde oder der Wasser- und Bodenzweckverband haben ein Mitspracherecht, da die Unterhaltungspflicht von Gewässern 3. Ordnung, oder auch keiner Ordnung, bei diesen liegt. Maßnahmen, die diese Gewässer betreffen, bedürfen also einer Zustimmung von den genannten Instanzen.

Link: <https://lfl.bayern.de/publikationen/informationen/350319/index.php>

Technischer Leitfaden zur Wasserstandsanhhebung in landwirtschaftlich genutzten Niedermooren

Der technische Leitfaden bietet eine fundierte Grundlage für die Planung und Umsetzung von Wiedervernässungsmaßnahmen. Er kombiniert hydrologisches und geotechnisches Fachwissen mit praktischen Beispielen aus Forschungsprojekten, um die Auswahl und Anpassung geeigneter Techniken zu erleichtern. Besonders im Fokus stehen Niedermoorflächen, die in Bayern eine zentrale Rolle spielen. Zielgruppe des Leitfadens sind Fachstellen, Flächeneigentümer sowie Planer, denen praxisorientierte Empfehlungen für eine erfolgreiche Moorwiedervernässung an die Hand gegeben werden.

Link: <https://lfl.bayern.de/publikationen/informationen/364310/index.php>

2.1.1 Wasserregelung in Karolinenfeld (BaySG, LfL)

Die Versuchsstation bietet durch die großen zusammenhängenden, staatseigenen Flächen gute Voraussetzungen zur Erprobung unterschiedlicher Wasserregelungstechniken. In MoorBewi wurden diese mit Feldversuchen zur Etablierung von Nassgrünland und Paludikulturen sowie Befahrbarkeitsversuchen kombiniert.

Die in Karolinenfeld erprobten Maßnahmen zur Wasserstandsanhhebung erlauben eine Regelung des Wasserstands entsprechend den Vorgaben und Anforderungen der jeweiligen Versuchsfragen. Für Flächen, die nicht für die Versuche benötigt werden, wird eine Wiedervernässung nach den Vorgaben des Moorbauernprogramms angestrebt, das ein ganzjähriges Stauziel von 20 cm unter Geländeoberkante für Nassgrünland und 10 cm unter Geländeoberkante für Anbau-Paludikulturen vorsieht.

Die Moorböden auf der Versuchsstation weisen als typische Folge der intensiven Ackernutzung stark degradierte Oberböden auf. Die Degradierung des Oberbodens geht in der Regel mit einer Verminderung der (vertikalen und horizontalen) hydraulischen Leitfähigkeit einher. Das führt u. a. dazu, dass

- die Infiltration von Niederschlagswasser behindert wird und es zu Überstau kommen kann,
- das Eindringen von Wasser in den Torfkörper aus Gräben zusätzlich zum Effekt der Selbstabdichtung des Gewässerbettes (Kolmation) erschwert wird,
- sich ein höherer hydraulischer Gradient in der Fläche und in Bezug auf benachbarte, nicht vernässte Flächen, ausbilden kann und der Rückstau länger bestehen bleibt – somit kann der Zielwasserstand spezifisch eingestellt werden.

Der durch die Bodendegradierung hervorgerufene Überstau wird häufig als zu hoher Grundwasserstand fehlinterpretiert. Abbildung 2.2 zeigt exemplarisch, dass der Grundwasserstand und der Überstau auf Fläche 1 entkoppelt sein können. Neben dem durch Degradierung bedingten Überstau kann es auch zu grundwasserinduziertem Überstau kommen. Nach der Etablierung von Seggen könnte deren ausgeprägtes Wurzelnetzwerk möglicherweise die hydraulische Leitfähigkeit erhöhen und somit die Infiltrationsrate steigern (Bastian, Luthardt und Zeitz, 2023). Dies wurde in MoorBewi jedoch nicht experimentell untersucht.

Um die Wechselwirkung zwischen Regenüberstau und Grundwasserstand zu untersuchen, wurde an der tiefsten Stelle der Grünlandfläche der Überstau erfasst und mit dem Grundwasserstand einer nahegelegenen Messstelle verglichen. Weiterhin wurde an dieser Stelle

auch die Bodenfeuchte [Vol.-%] mithilfe der Bodenfeuchte-Profilsonde von Sentek bis in 1,20 m Tiefe aller 10 cm gemessen. Da keine Kalibrierungskurve für (degradierte) Torfkörper vorlag, wurde die vorhandene Kalibrierungskurve für Asic Silt Loam Sentek verwendet, da diese für die oberen Bodenhorizonte ein ähnliches Bodengefüge aufweist.

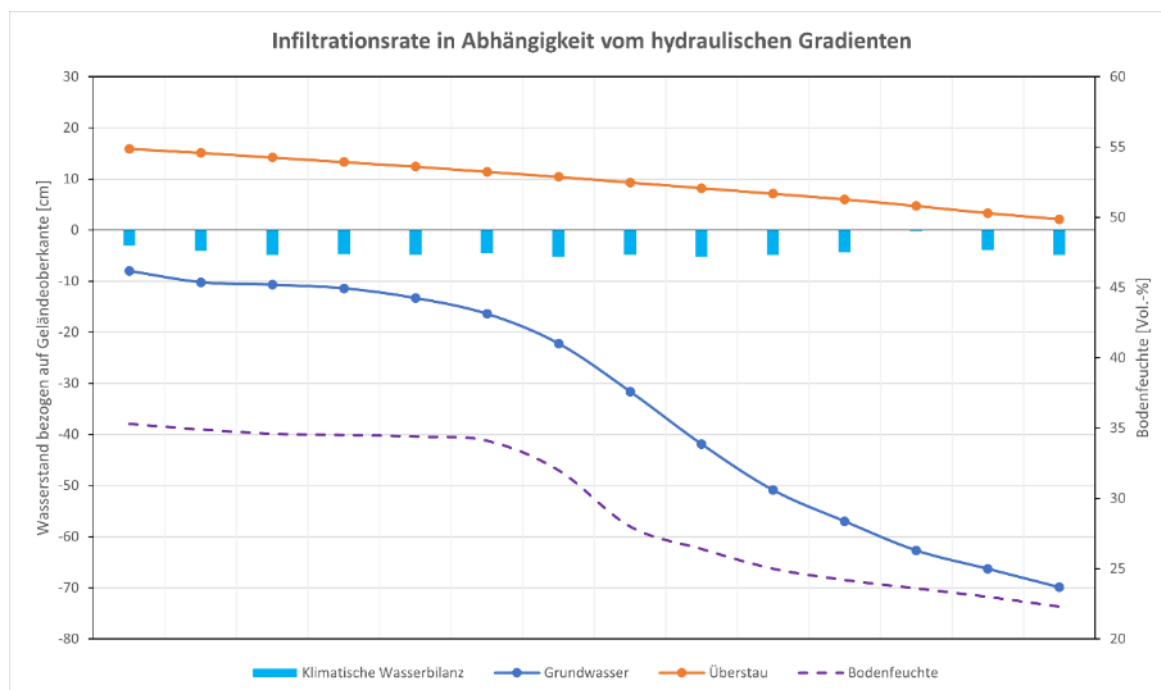


Abbildung 2.2: Wasserstand und Überstau auf Fläche 1 der Versuchsstation Karolinenfeld. Die Infiltrationsrate des Überstaus (cm/d, hier dargestellt für den Zeitraum 25.05.2023 bis 07.06.2024) ändert sich nicht mit dem hydraulischen Gradienten, der von der Bodenfeuchte und dem Abstand zum Grundwasserspiegel abhängt. Durch die starke Degradierung des Oberbodens ist die hydraulische Leitfähigkeit der limitierende Faktor im Infiltrationsprozess. Auf eine doppelte Benennung der Primärskala wurde verzichtet, da die Klimatische Wasserbilanz im betrachteten Zeitraum nahezu unverändert bleibt und damit kaum Einfluss auf den Wasserstand, insbesondere oberhalb der Geländeoberkante, hat.

Die hydraulische Leitfähigkeit und der hydraulische Gradient sind entscheidend für die Infiltrationsrate. Der Anfangswassergehalt und der Abstand zum Grundwasserspiegel beeinflussen den hydraulischen Gradienten, da dieser die Veränderung des hydraulischen Potentials über die Distanz im Boden beschreibt; das Potential wird durch den Anfangswassergehalt (Matrixpotential) und die Tiefe des Grundwasserspiegels (Gravitationspotential) bestimmt. Es zeigte sich, dass weder die Bodenfeuchte noch der Abstand zum Grundwasserspiegel direkten Einfluss auf die Infiltrationsrate (ca. 1 cm/d) im Oberboden haben, wobei die hydraulische Leitfähigkeit den hemmenden Faktor darstellt. Dies bedeutet, dass Flächen mit stark degradierten Oberböden aufgrund der begrenzten Infiltrationskapazität bei Starkniederschlägen nur eingeschränkt als kurzfristiger Wasserspeicher dienen können. Allerdings ist die reduzierte Infiltrationskapazität großflächig weiterhin ausreichend, um Unterschiede bei den Abflussspitzen durch den verfügbaren Bodenspeicher zu bewirken. Zudem kann der Torfkörper seitlich durch Zufluss aus angrenzenden Bereichen aufgefüllt werden. Eine weitere Verschlechterung des Bodengefüges durch anhaltende Entwässerung

sollte vermieden werden. Hier wird bewusst auf eine Differenzierung zwischen ungesättigter und gesättigter hydraulischer Leitfähigkeit verzichtet, da beide primär vom Bodengefüge abhängen. Die ungesättigte Leitfähigkeit ist tendenziell niedriger, weil bei ungesättigten Bedingungen nicht alle Poren am Infiltrationsprozess beteiligt sind.

Bezüglich des Niederschlags auf den Flächen der Versuchsstation Karolinenfeld ist festzustellen, dass in den vergangenen Sommern (z. B. 2023) vermehrt Starkniederschläge nach oder vor langen Trockenperioden auftraten. Die Temperatur beeinflusst durch den Verdunstungsanspruch von Vegetation und Atmosphäre den Grundwasserstand, wobei der kapillare Aufstieg durch die starke Degradierung der oberen Bodenhorizonte begrenzt sein sollte. Für die Jahre 2021 bis 2023 war die mittlere Lufttemperatur in der Vegetationsperiode ähnlich, sodass die Verdunstung bei der Evaluierung der Wasserstandsentwicklung eine untergeordnete Rolle spielt.

2.1.1.1 Wiedervernässung der Versuchsflächen (BaySG, LfL)

Bei der Wiedervernässung der Versuchsstation Karolinenfeld konzentrierten sich die Arbeiten der BaySG zunächst auf die Untersuchungsflächen (siehe Flächen 1, 2 und 3 in Abbildung 1.2) sowie Einzelmaßnahmen (z.B. Stauwehr). Für die Planung der großflächigen Wiedervernässung wurde eine Machbarkeitsstudie durchgeführt (siehe 2.1.1.2).

Nassgrünland (Flächen 1 und 2)

Auf den Flächen für Saatgutmischungs- und Befahrbarkeitsversuche wurde die Vernässung durch den geregelten Verschluss und Anschluss bestehender Drainagesysteme an Schächten realisiert. Das Verfahren basiert teilweise auf Vorarbeiten des Projekts Moor-KULAP. Dabei wurden Rohre mit Öffnungen in verschiedenen Höhen oder Teleskoprohre installiert, die an die Sammeldränage angeschlossen und in einem Schacht nach oben geführt wurden, um Grundwasser im Torfkörper gezielt zurückzuhalten. Bei Bedarf können die Verschlüsse geöffnet werden, um den Wasserstand abzusenken. Zudem wurde ein Schieber am Sammlerauslass eingebaut, um durch kurzfristige Öffnung intensive Wasserbewegung und Spülung zu ermöglichen. Um Wasserverluste zu minimieren, finden Spülvorgänge im Winterhalbjahr bei ausreichendem Niederschlag statt. Die Stauschächte sind groß genug, um sedimentiertes Material zu entfernen.

Mit diesem System wurden rund 13 ha Versuchsfläche geregelt wiedervernässt, davon drei Hektar für nässeangepasstes Grünland (Fläche 1) und zehn Hektar für Befahrbarkeitsuntersuchungen (Fläche 2). Letztere Fläche fällt über 400 m um etwa 70 cm ab. Zur Sicherstellung eines gleichmäßigen Grundwasserflurabstands wurde daher eine Kaskade von Schächten gebaut, welche die Fläche in acht Teilbereiche von je 1,25 ha gliedert. Diese Teilbereiche ermöglichen die Einstellung unterschiedlicher Wasserstände und eine unabhängige Regelung. Überschüssiges Wasser kann zwischen den Kompartimenten umgeleitet werden, und bei Bedarf kann Wasser mithilfe einer Pumpe wieder in den Torfkörper geleitet werden.

Vor der Wiedervernässung fielen die Grundwasserstände auf der Fläche 1 im Sommer auf bis zu 120 cm unter Flur ab. Durch die Maßnahmen konnten die sommerlichen Grundwasserflurabstände im Mittel auf 60 cm unter Flur angehoben werden.

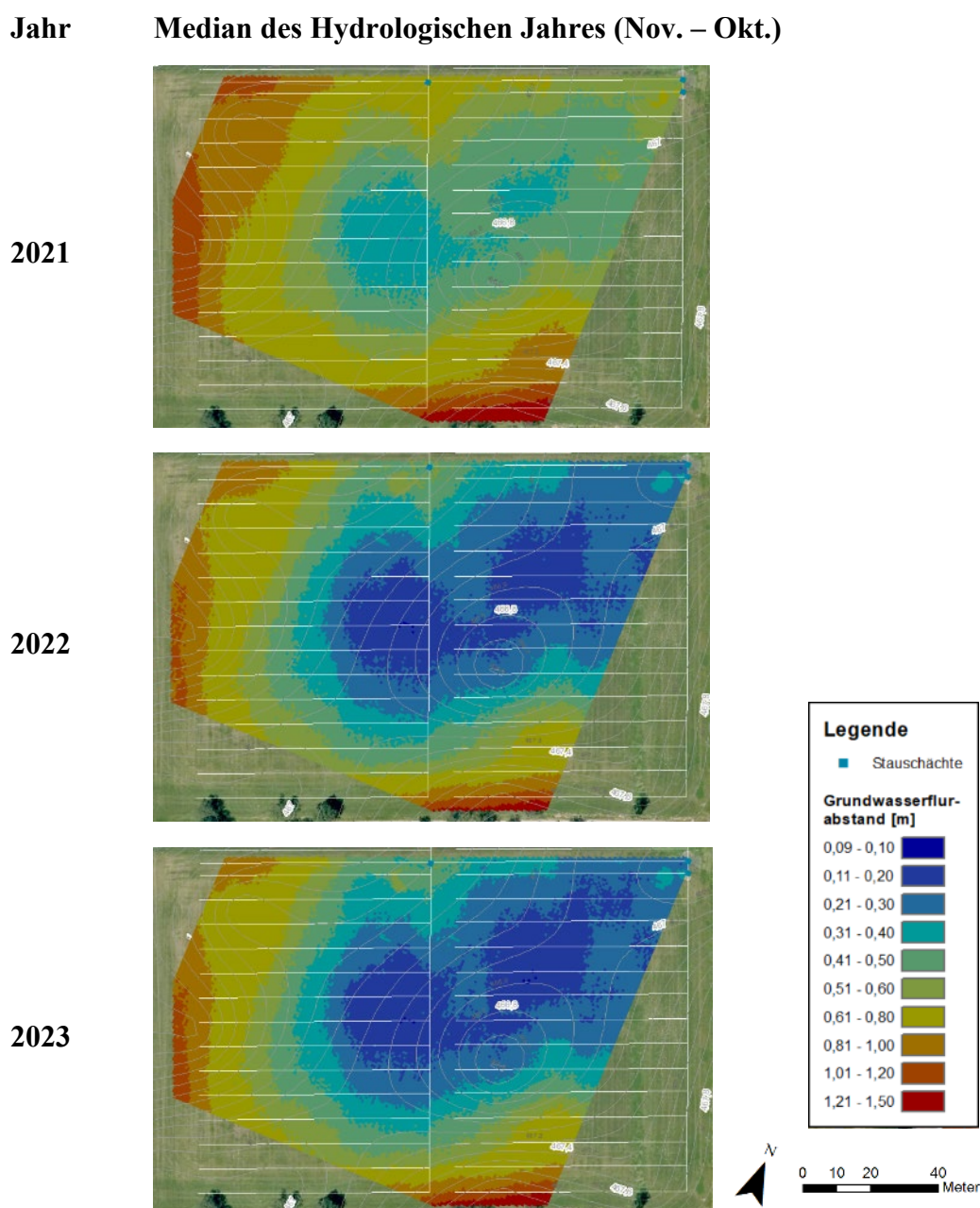


Abbildung 2.3: Grundwasserflurabstände auf Untersuchungsfläche 1 der Versuchsstation Karolinenfeld.

Da es sich hauptsächlich um den Rückstau des Grundwasserzustroms handelt, kann der Grundwasserstand in Jahren mit besonders stark ausgeprägten Trockenperioden (z. B. 2023), ohne kontinuierlichen Grundwasserzustrom, zeitweise stärker abfallen. Deswegen war auch der mittlere Jahreswasserstand des hydrologischen Jahres 2022 im Vergleich zu 2023 höher, dies trotz einer geringeren akkumulierten Niederschlagsmenge. Eine aktive Bewässerung durch den Schacht ist nur in der unmittelbaren Umgebung möglich. Durch eine langanhaltende Trockenperiode im Jahr 2023 war die Fläche trotz eines höheren akkumulierten Niederschlags geringfügig trockener als im Vorjahr (vgl. Abbildung 2.3). Aufgrund der geringen Neigung der Fläche und der damit einhergehenden geringfügigen Ausprägung

des hydraulischen Gradienten ist der Wasserstand in der Nähe der Stauanrichtungen annähernd genau einstellbar.

Die Fläche 2 ist eine geneigte Fläche mit einem kleinen Einzugsgebiet. Aufgrund des geringen Zuflusses ließ sich der Grundwasserstand im Jahresmittel nur geringfügig erhöhen: So zeigte sich nach einem Niederschlagsereignis ein kurzfristiger Rückstau von ca. 5 Tagen (vor der Wiedervernässung fiel der Grundwasserstand nach einem Tag wieder). Danach fiel die Fläche, sofern kein weiterer Niederschlag folgte, wieder trocken. Nur Teile der tiefergelegenen südlichen Fläche wiesen einen höheren Grundwasserstand auf (vgl. Abbildung 2.4).

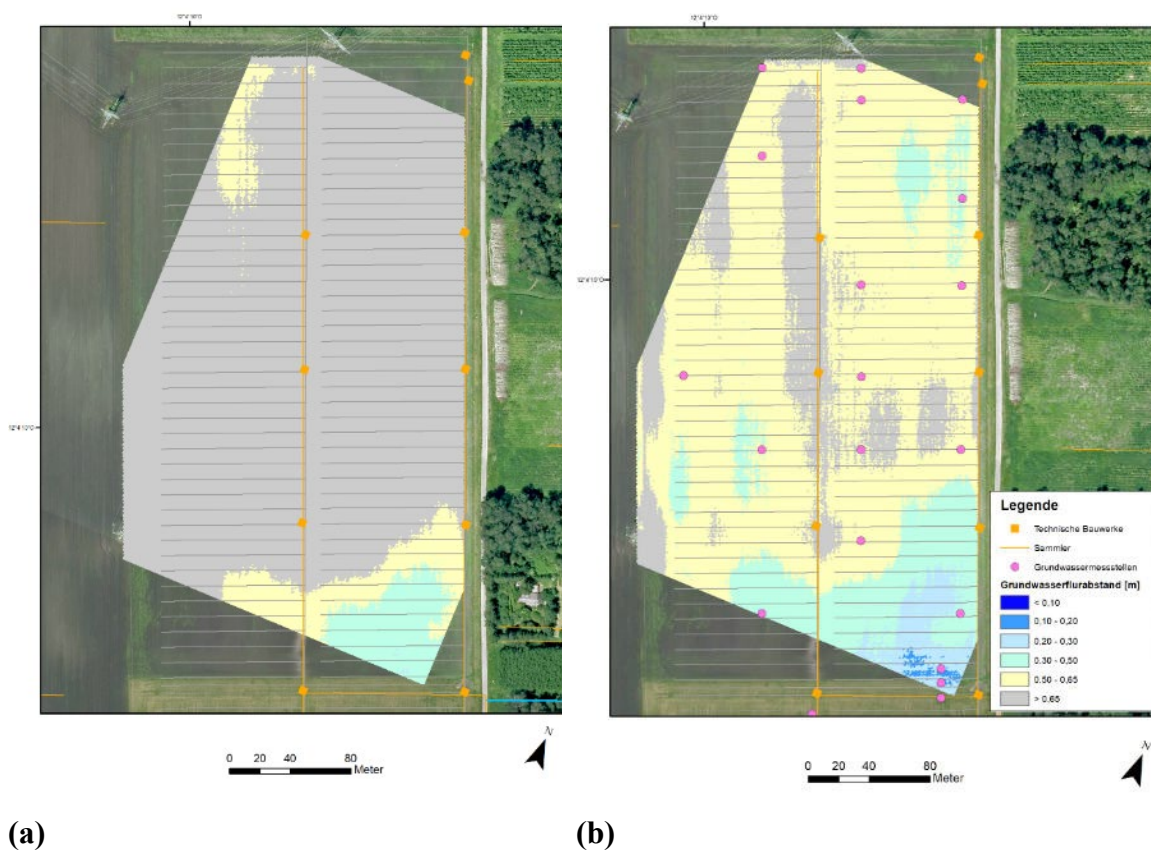


Abbildung 2.4: Grundwasserflurabstände (Median) auf der Untersuchungsfläche 2 der Versuchsstation Karolinenfeld für das hydrologische Jahr 2022 (a) und 2023 (b). Die Abbildung ist mit Bedacht zu interpretieren: Je nach Ausbautiefe liegt der höchste Wert zwischen 0,65 und 0,8 m, sodass bereits kürzere Zeiträume mit geringeren Werten eine positive Veränderung suggerieren können.

Die Torfmächtigkeit auf der Fläche beträgt ca. 0,65 m und nimmt Richtung Süden zu. Die Grundwassermessstellen reichen bis max. in ca. 0,8 m Tiefe - Grundwasserflurabstandswerte über 0,65 m deuten wahrscheinlich auf ein Trockenfallen dieser hin. Nur im südlichen Teil der Fläche werden die Zielwasserstände erreicht. Die Grundwasserströmung verläuft Richtung Südost. Null-Messwerte wurden bei dem Wert der Ausbautiefe der Grundwassermessstelle belassen, da sonst nasse Perioden im Jahresmittel überschätzt werden würden. Durch den längeren Rückstau nach Niederschlagsereignissen ergibt sich für das hydrologische Jahr ein niedriger Grundwasserflurabstand, der allerdings nicht im Zielbereich liegt.

Paludikulturen (Fläche 3)

Die Versuchsflächen für den Anbau von Paludikulturen konnten lange Zeit nicht über einen Anstau der Dränagen vernässt werden.

Dies lag zum einen daran, dass eine Gasleitung das Gelände durchquert und erst im Jahr 2023 die Genehmigung zum Anheben des Wasserstands in diesem Bereich erlangt werden konnte. Für die Betreiber der Gasleitung bayernets war es wichtig, über ein Bodengutachten sicherzustellen, dass die Vernässung die Leitung nicht aufschwimmen lässt. Die Erstellung des Gutachtens nahm einige Zeit in Anspruch. Ausschlaggebend war die Wichte unter Auftrieb, die aufgrund der degradierten Oberböden und dem dadurch bedingt geringen Porenvolumen viel höher ist als in einem intakten Moor.

Zum anderen ist der genaue Verlauf der Rohrdränagen auf der Fläche nur teilweise bekannt. Trotz erheblicher Bemühungen und verschiedener Erkundungsverfahren wie Georadar und Kanalkamera konnten die Dränagen nicht eindeutig lokalisiert werden. Aus diesem Grund fanden im Februar 2024 Grabungen statt, um die Lage der Dränagen eindeutig zu bestimmen. Da ein hoher Wasserstand für die erfolgreiche Etablierung der Paludikulturen unerlässlich ist, wurden die Versuchsflächen bis zum Jahr 2024 mit Zusatzwasser bewässert. Zur Wasservorratshaltung wurden zwei ehemalige Güllegruben mit einem Fassungsvermögen von jeweils 900 m³ zu Wasserspeichern umfunktioniert. Im Frühjahr 2024 wurden auf der Paludikulturfläche zwei Schächte eingebaut, mit denen die Fläche über den Anstau der Rohrdrängen, wie oben beschrieben, wiedervernässt werden. Eine weitere Leitung wird an der Mündung zur Hofentwässerung abgegriffen und ebenfalls verschlossen, allerdings nur mit einem Ballon. Der geregelte Dränagenanstau auf der Paludikulturfläche wurde im Frühsommer 2024 abgeschlossen. Da die Dränagen der Gasleitung im Osten der Fläche weiterhin intakt bleiben müssen, ist abzuwarten, ob sich ein hoher hydraulischer Gradient ausbilden kann, der es ermöglicht, einen lokal erhöhten Flächenwasserstand zu erreichen.

Mess-/Stauwehr am Erlbach

Das Messwehr wurde zur Abflussmessung eingesetzt und diente der Kalibrierung eines hydrologischen Modells (vgl. Kapitel 2.1.1.2). Es handelt sich um ein Thompson-Messwehr (Abbildung 2.5), bei dem der Durchfluss über einen dreieckigen Schieber anhand der Wasserstandshöhe auf der oberliegenden Seite und einer empirischen Formel bestimmt wird.



Abbildung 2.5: Das Messwehr im Erlbach, dem zentralen Vorfluter auf der Versuchsstation Karolinenfeld. Der Ablauf wird durch einen Schieber verschlossen, um das Messwehr in ein Stauwehr umzuwandeln.

Nach Abschluss der Durchflussmessungen sollte das Stauwehr angehoben werden. Um die erforderliche Standsicherheit zu gewährleisten, wurde das Wehr in den Untergrund verlängert und der Sickerwasserweg durch das Auslegen und Befestigen von Teichfolie erweitert. Ursprünglich war geplant, das Stauwehr auf eine Höhe von 1,50 m über der Gewässersohle anzuheben. Aufgrund des Rückstaus, der die Entwässerung der einen angrenzenden Fläche, die nicht der BaySG gehört, beeinträchtigt hat, wurde die Anhebung jedoch auf 0,90 m begrenzt.

Anstau einzelner Dränmündungen am Erlbach

Östlich der Fläche 2 münden drei Sammlerleitungen offen in den Erlbach. Die Leitungen wurden an der Mündung in den Vorfluter mit einem KG-Rohr gefasst und in die Höhe geführt (vgl. Abbildung 2.1 a). Über die Neigung des Rohres lässt sich die Höhe des Anstaus regeln: bei steil angestelltem Rohr steigt der Wasserstand unter der anliegenden Fläche höher an, bei flach angestelltem Rohr niedriger. Die Flächen lagen außerhalb des Bereichs der intensiven Untersuchungen, so dass keine Messwerte bezüglich des Grundwasserstandes erhoben werden konnten. Die Mitarbeiter der Station beobachteten aber, dass nach Niederschlagsereignissen der Wasserstand im Rohr stark anstieg, während in Trockenphasen der stauende Effekt geringer war. Daher liegt die Vermutung nahe, dass der Graben, in den der Sammler mündet, auch entwässernd wirkt und den Effekt des Dränagerückstaus abschwächt.

2.1.1.2 Wiedervernässung der gesamten Versuchsstation (LfL)

Für die Wiedervernässung der gesamten Versuchsstation Karolinenfeld wurden im Rahmen einer Machbarkeitsstudie durch die DHI WASY GmbH, einem Tochterunternehmen des Danish Hydraulic Institute (DHI), mithilfe eines hydrologischen Modells wirksame Maßnahmen zur großflächigen Anhebung des Wasserstandes ermittelt. Bei der Wiedervernässung in Karolinenfeld wird angestrebt, auf Teilflächen eine regelbare Wiedervernässung einzurichten, so dass der Wasserstand zu Terminen, bei denen die Befahrbarkeit der Flächen erforderlich ist (Düngung, Ernte), abgesenkt werden kann.

Im Folgenden werden die wichtigsten Modellannahmen und -parameter näher erläutert. Ein detailliertes Verständnis des Modellaufbaus und der Parametrisierung ermöglicht es, die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Simulationsergebnisse besser zu bewerten.

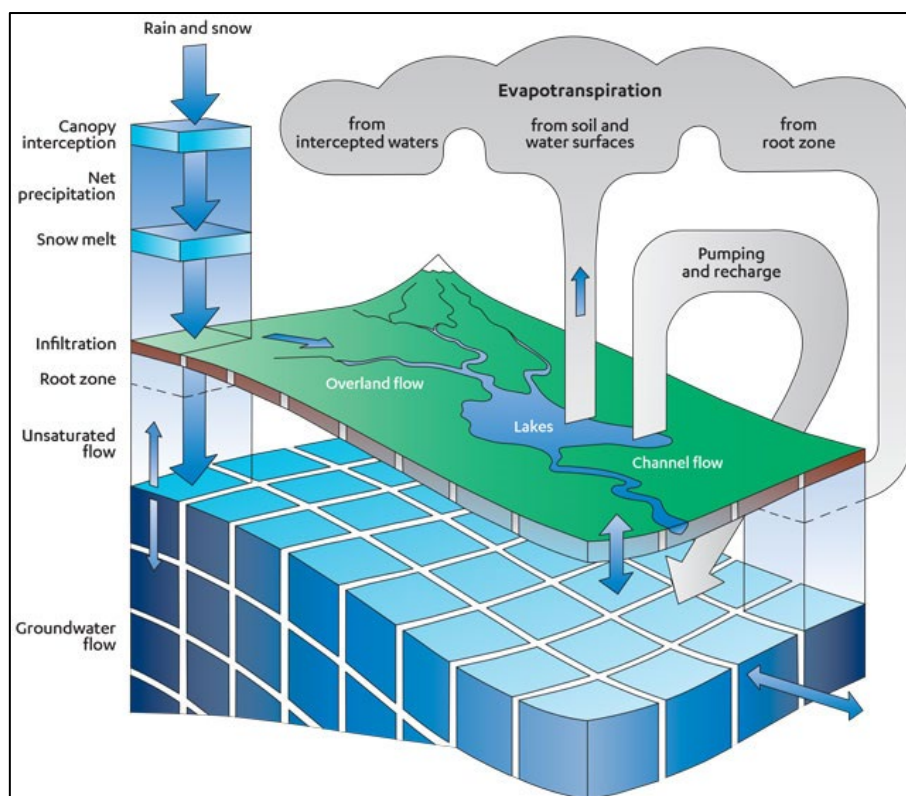


Abbildung 2.6: Übersicht über die berechenbaren Komponenten im Modellsystem MIKE SHE, das für die Machbarkeitsstudie zur Wiedervernässung der Versuchsstation Karolinenfeld eingesetzt wurde. Es handelt sich um ein rasterbasiertes Modell und integriert das Grundwasser als Teil des Wasserhaushalts (DHI WASY GmbH, 2024)

MIKE SHE von DHI WASY ist ein physikalisch-basiertes Modell und besteht aus einzelnen Modulen, die u. a. die Wasserhaushaltsgrößen Abfluss, Zufluss, Verdunstung, Niederschlag und Infiltration sowie Bauwerke wie Dränagen oder Wehre umfassen (Abbildung 2.6). Die Kopplung des 1D-Hydraulikmoduls MIKE Hydro River mit dem Wasserhaushaltsmodell MIKE SHE erfolgt über Austauschflächen an den Rändern der Rasterzellen. Die separate Modellierung von Gewässern ermöglicht eine präzise und effiziente Simulation der spezifischen Strömungsdynamiken innerhalb von Fließgewässern. MIKE Hydro River berechnet eindimensionale Strömungsprozesse unter Anwendung der Saint-Venant-Gleichungen, die Massen- und Energieerhaltung sowie den Impulssatz berücksichtigen (Tabelle 2.2). Für das hydraulische Modell wurden Querprofile der Gewässer auf Basis des digitalen Geländemodells (DGM1) erstellt.

Räumliche und zeitliche Skalierung

Die Abgrenzung des Modellgebiets basiert hauptsächlich auf dem oberirdischen Gewässersystem und der Torfverbreitung. Im Nordwesten bildet die tiefer liegende Rott die Grenze und dient als lokale Grundwasserscheide. Da im Norden kein geeignetes Fließgewässer vorhanden ist, wurde die Grenze nach Norden mit ausreichendem Abstand zum Fokusgebiet gezogen. Im Osten und Süden folgt die Grenze der Hangkante, da daruntergelegene Bereiche keinen hydrologischen Kontakt mehr zum Modellgebiet haben. Im Westen wurde sie so geschlossen, dass das topografische Einzugsgebiet erfasst ist. Das Modellgebiet umfasst 7 km². Die horizontale Modelldiskretisierung erfolgt mit Rasterdaten, die alle mit einer Auf-

lösung vom 5 m Rasterelementgröße im Modell hinterlegt sind. Die durchgeführten Berechnungen erfolgen mit einer aggregierten Rasterelementgröße zwischen 10 m und 20 m. Die vertikale Modelldiskretisierung erfolgt tiefenabhängig gestaffelt bis in 10 m Tiefe.

Im Modell sind alle notwendigen instationären Eingangsdaten für den Zeitraum 01.03.2006 bis 31.12.2022 hinterlegt. Für die Fragestellung wurde der Simulationszeitraum beginnend mit dem 15.04.2022 gewählt, da ab dann Abflussmessungen durchgeführt wurden.

Datengrundlage

Für das Modell ist eine ausreichend differenzierte Datengrundlage notwendig, um die hydrologischen Prozesse (Tabelle 2.2) möglichst genau zu modellieren.

Ausgehend von der Flächennutzung können vegetationsspezifische Parameter abgeleitet werden, die für die Berechnung hydrologischer Prozesse wie Verdunstung und Infiltration relevant sind. Wichtige Parameter umfassen den Blattflächenindex (LAI), die Wurzeltiefe und die Versiegelungsgrad der Flächen. Die räumliche Verteilung der Bodentypen basiert auf der Moorbodenkarte (MBK25) und der Bodenübersichtskarte von Deutschland (BUEK200). Diese Kulisse entspricht bis auf 22.000 ha der später entstandenen GLÖZ2-Kulisse. Innerhalb der Moorböden wurden vier Kategorien basierend auf erbohrten Torfmächtigkeiten unterschieden.

Für diese wurden charakteristische Bodenprofile gemäß der Bodenkundlichen Kartieranleitung verwendet. Diese Profile dienen zur Parametrisierung der Hauptbodenarten in der Modellierung der ungesättigten vertikalen Sickerwasserströmung. Die Grundwasserparameter (gesättigte Zone) wurden im ersten Schritt basierend auf Erfahrungswerten gewählt und während der instationären Kalibrierung angepasst. Dazu wurde die gesättigte Zone in zwei Schichten, nämlich dem Moorkörper mit Beckenablagerungen und der darunterliegenden Seetonschicht unterteilt.

Die Werte für Flächennutzung und Bodenparameter wurden entweder aus der Literatur geschätzt oder aus Messungen anderer Projekte übernommen. Durch die Kopplung eines Makroporen-Ansatzes mit gemessenen Werten der hydraulischen Leitfähigkeit mittels Bohrlochmethode konnte die Infiltrationsrate genau angepasst werden.

Implementierung von Dränagen

Nach vielen Jahrzehnten ist die Funktion der Dränagen nicht mehr direkt feststellbar. Ihre Wirkung lässt sich nur indirekt über die Sackung der Torfe und die damit verbundene Absenkung der Geländeoberkante sowie durch Messungen des Grundwasserstands abschätzen. Im Modell wurden die flächig verlegten Drainagen daher als flächige Randbedingung umgesetzt, wobei die Zuordnung über vorab definierte Zonen erfolgt. Jede Zone wird durch einen eindeutigen Sammler oder Vorfluter entwässert.

Für die Modellierung muss die Tiefe der Dränagen angegeben werden, die im Vergleich zum aktuellen Grundwasserstand zur Berechnung der Absenkung verwendet wird. Es wurde angenommen, dass die Dränagen vorwiegend knapp über der Seeton-Oberkante verlegt wurden, sofern keine weiteren Informationen über die Dränagentiefe bekannt waren. Daher wurde die Dränagetiefe für das gesamte Gebiet auf 5 cm über der Seeton-Oberkante und gleichzeitig in mindestens 1 m Tiefe festgelegt. Diese Höhe wurde während der instationären Kalibrierung lokal angepasst.

Zusätzlich muss eine Leckagerate definiert werden, die die Effektivität der Drainage durch eine dimensionslose Rate widerspiegelt. Diese Rate wurde überwiegend auf 1×10^{-7} L/s

festgelegt. Im Fokusgebiet wurden die bekannten Drainageleitungen mit höherer Rate berücksichtigt, um die Dynamik der Abflüsse detaillierter abzubilden.

Tabelle 2.2: Berechnungsansätze für die hydrologischen Prozesse im MIKE SHE Modell für die Versuchsstation Karolinenfeld

Prozess	Numerischer Ansatz
Niederschlag	1-dimensional (Zeitreihen) oder räumlich zeitlich (z.B. Niederschlagsradar)
Schneeschnmelze	Tag-Grad-Verfahren
Oberflächenabfluss	2-dimensional mit der Flachwassergleichung als Diffusive Welle 1-dimensional Saint-Venant-Gleichungen
Infiltration und ungesättigte Bodenzone	1-dimensional Richards-Gleichung
Aktuelle Transpiration und Evaporation	Kristensen & Jensen
Landnutzung, Bewässerung	2- dimensional unter Berücksichtigung des zeitabhängigen Blattflächenindex und der Wurzeltiefe
Gesättigte Zone	3-dimensionale Darcy Gleichung (vgl. MODFLOW); Particle Tracking (Vor- und Rückwärts)

Stationäre und instationäre Kalibrierung

Datengrundlage für die stationäre und instationäre Kalibrierung des Modells waren die Grundwasserganglinien von Messstellen der TU München und der LfL. Weiterhin wurde in dem Vorfluter, der den Großteil des Gebietes entwässert, der Abfluss durch ein Thomson-Messwehr (Einbau im Dezember 2021, Datengrundlage von April 2022 bis April 2023) erfasst. Meteorologische Daten können von einer Wetterstation, die sich zentral auf der Versuchsstation befindet und der nahegelegenen DWD-Messstation in Rosenheim, abgerufen werden. Alle Gewässer im Modellgebiet entstehen auf den Flächen der Versuchsstation, weshalb keine Zuflussrandbedingungen im Modell angesetzt werden müssen.

Kalibrierung des Modells

- Die Kalibrierung des hydrologischen Modells hat gezeigt, dass das Modell die Dynamik der Grundwasserstände gut darstellt.
- Allerdings bestehen lokal hohe Unsicherheiten, die auf den Einfluss unbekannter Dränagerohre zurückzuführen sind. Der Einfluss der bekannten Drägen wird durch einen Flächenansatz mit zusätzlichem Detailgrad in den Kernbereichen sehr genau abgebildet.

- Die Abflusspeaks infolge von Niederschlagsereignissen werden im Sommer leicht unterschätzt.

Simulationsergebnisse zur großflächigen Wiedervernässung der Versuchsstation

- In einer ersten Simulation wurde versucht, den Zielwasserstand durch einen Dränagenanstau und das Anstauen des zentralen Vorfluters mittels eines Stauwehrs zu erreichen.
- Da dies nicht ausreichte, um den Zielwasserstand (max. 30 cm Grundwasserflurabstand) großflächig zu erreichen, müssen zusätzliche Gräben angestaut oder die bestehenden Dränagesysteme an zentralen Knotenpunkten mit Schächten angestaut werden.
- Die Simulationsergebnisse der Machbarkeitsstudie zeigen, dass die großflächige Wasserstandsanhhebung eine flexible Nutzung der betroffenen Flächen erfordert. Dabei sollte sich die Nutzung stets an den Potenzialen der Fläche orientieren und nicht umgekehrt. In Bereichen, in denen eine direkte Wasserregelung nicht möglich ist, werden einige Flächen als Polder genutzt, um als temporäre Wasserspeicher zu dienen. Insgesamt basiert das Konzept auf der Schaffung von Synergien, indem unterschiedliche Nutzungsoptionen integriert werden, um eine effiziente Wasserbewirtschaftung sicherzustellen (Abbildung 2.7).
- Die Auswirkungen dieser Maßnahmen auf Anrainer und die Abflussganglinien im Hochwasserfall wurden von Anfang an berücksichtigt.
- Unter feuchten Vorbedingungen können die Wiedervernässungsmaßnahmen zu höheren Abflussspitzen im Vorfluter führen, da der Bodenwasserspeicher bereits weitgehend gesättigt ist und die Polder in der Modellierung als gefüllt betrachtet werden. Durch die Wahl einer geeigneten Anstauhöhe, die auch für die angepflanzte Vegetation vorteilhaft ist, können bestimmte Flächen tatsächlich als Polder genutzt werden, was auch einen Beitrag zum Hochwasserschutz leistet. Es wird jedoch nicht realistisch oder sinnvoll sein, die Grundwasserstände so niedrig zu halten, dass für einmalige Ereignisse ausreichend Bodenwasserspeicher zur Verfügung steht.

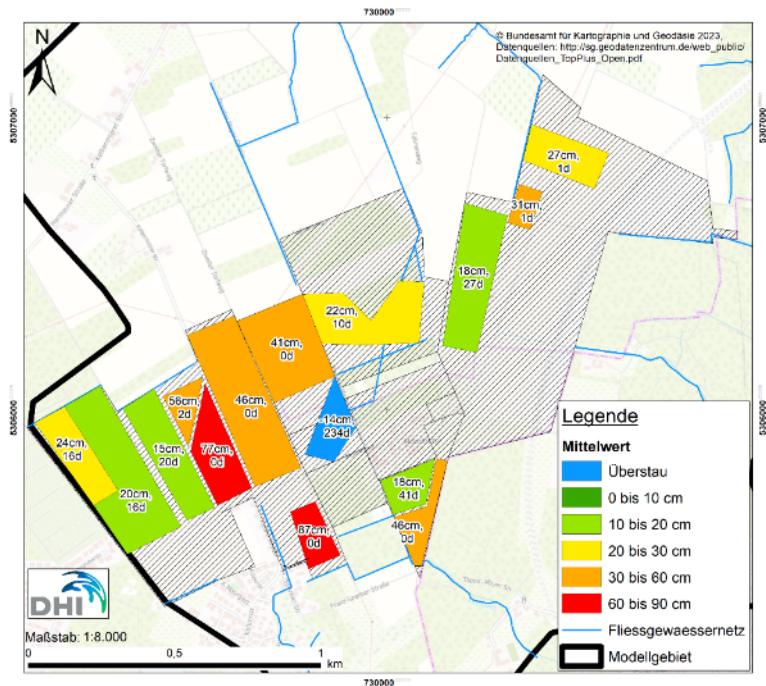


Abbildung 2.7: Flächennutzungspotential mit Angaben der mittleren jährlichen Grundwasserflurabstände und der Tage mit Überstau pro Jahr für die Machbarkeitsstudie Karolinenfeld (DHI WASY GmbH, 2024)

Wasserbilanz

- Für das Modellgebiet konnte eine Wasserbilanz aufgestellt werden, die zeigt, dass die Wasserbilanz auch vor den Maßnahmen leicht positiv war (Abbildung 2.8).
- Durch das Beenden der Entwässerung kann der Grundwasserspiegel signifikant erhöht werden.

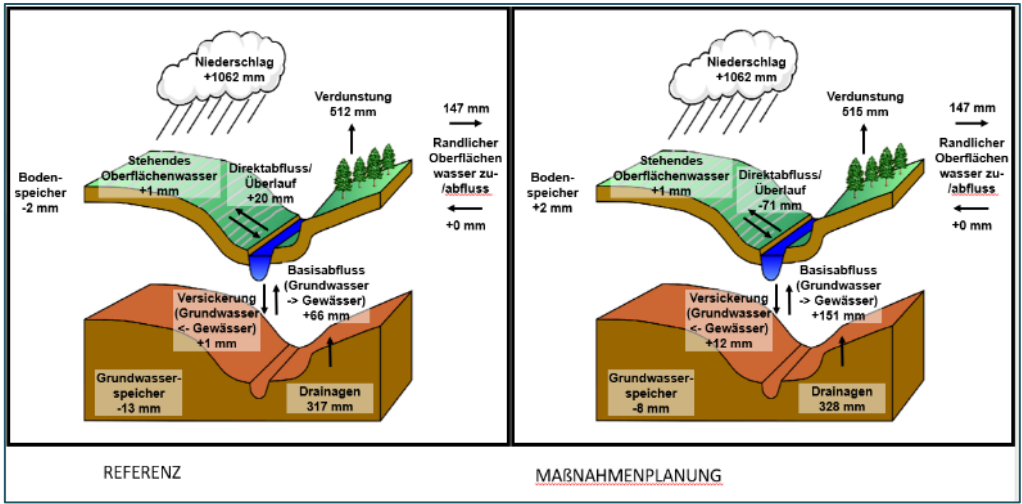


Abbildung 2.8: Resultierende Wasserbilanz der Machbarkeitsstudie Karolinenfeld für ein Jahr vor und nach den Wiedervernässungsmaßnahmen (DHI WASY GmbH, 2024)

Wasserwirtschaftliche Bedenken

- Aus wasserwirtschaftlicher Sicht bestehen große Bedenken hinsichtlich der Auswirkungen wiedervernässter Moore auf die Abflussspitzen.
- Simulationen zeigen, dass die Abflussspitzen nach Starkniederschlagsereignissen unter feuchten Vorbedingungen durch die Maßnahmen etwa doppelt so hoch sind (ca. 50 L/s vs. 100 L/s; Basisabfluss zwischen 5 und 10 L/s). Bei trockenen Vorbedingungen erhöhen sich die Abflussspitzen ebenfalls (15 L/s vs. 35 L/s).
- Die höheren Abflüsse insbesondere bei nassen Vorbedingungen resultieren aus einem verringerten Wasserreservoir, da ein Teil des (Zwischen-)Wasserspeichers wegfällt. Nichtsdestotrotz sind wiedervernässte Moore auch aus dieser Perspektive nachhaltig: Die Retentionsfähigkeit, die eng mit dem Torfzersetigungsgrad verbunden ist, nimmt durch eine anhaltende Entwässerung ab, was die Abflussdynamik in Zukunft negativ beeinflusst.

Aus der Machbarkeitsstudie lassen sich geeignete Knotenpunkte für die Planung von Wiedervernässungsmaßnahmen ableiten sowie Problembereiche identifizieren. Die bisher evaluierten Maßnahmen ermöglichen die kurzfristige Wiedervernässung von 38 ha. Weitere Maßnahmen erfordern jedoch zusätzliche Vorarbeit, da beispielsweise die Lage einiger Dränagestränge, die angestaut werden könnten, noch nicht vollständig geklärt ist. Zudem bedarf es aufgrund der siedlungsnahen Lage einzelner Maßnahmen umfangreicher Abstimmungsprozesse. Durch eine schrittweise und sorgfältige Vorgehensweise sollte es jedoch möglich sein, die angestrebten 100 ha wiedervernässter Moorfläche zu realisieren.

2.1.1.3 Wasseranalytische Untersuchungen (LfL)

Die Wiedervernässung von Torfkörpern führt zu geochemischen Veränderungen, die potenziell den Austrag von Nähr- und Schadstoffen beeinflussen können. Zur Bewertung der Auswirkungen wurden von Oktober 2021 bis Dezember 2023 Wasserproben an mehreren Standorten genommen und auf kritische Parameter wie Stickstoff, Phosphor, gelösten organischen Kohlenstoff (DOC) sowie Schwermetalle (Eisen, Mangan) untersucht. Die Untersuchungen berücksichtigen die MoorBewi-Untersuchungsflächen 1 und 2 (Abbildung 1.2). Ziel der Untersuchung war es, die mittleren Konzentrationen dieser Stoffe an repräsentativen Messstellen zu bestimmen und mit den Grenzwerten der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) beziehungsweise Werten von nicht-vernässten mineralischen Böden aus der Grünlandnutzung zu vergleichen. Zur besseren Einordnung der Gefährdungssituation wird die Evaluierungsmatrix aus dem BfN-Bericht 462 angewendet (vgl. Kapitel 2.3 (Tiemeyer et al., 2017)). Die Probennahme erfolgte an verschiedenen Stellen:

- **Grundwassermessstellen** auf den wiedervernässten Flächen.
- **Erlbach** (10 m und 500 m hinter Flächenauslass) als Vorfluter zur Bestimmung der ausgetragenen Stoffkonzentrationen aus wiedervernässten Moorflächen durch Grundwasser oder schnell abgeführtes Dränagenwasser.
- Über den **Schacht** wird das Sickerwasser über die Dränagen direkt abgeführt, sodass keine Umwandlungsprozesse im Boden durchlaufen werden.
- Der **Kirchbach** ist ein Vorfluter, der hauptsächlich durch Dränwasser gespeist wird und dient als **Referenz** für die ausgetragenen Konzentrationen aus entwässerten Flächen.

Die Laboranalysen wurden im Labor der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) durchgeführt (Tabelle 2.3). Analysiert wurden unter anderem:

- Hauptnährstoffe: Ammonium (NH_4^+), Nitrat (NO_3^-), Phosphat (HPO_4^{2-})
- Eisen (Fe) und Mangan (Mn) sowie DOC und Gesamt-Phosphor (P_{tot})

Tabelle 2.3: Ergebnisse der wasseranalytischen Untersuchungen für die Messstellen Grundwasser, Erlbach, Schacht und Kirchbach. Zudem wird eine Übersicht über die Messmethoden, Parameter, Nachweisgrenzen, ggf. dem Grenzwert nach OGeV (Annahme Erlbach und Kirchbach als Subtyp 2.1) für einen guten ökologischen Zustand gegeben.

Messmethode	Parameter	Nachweisgrenze	Grenzwert gemäß OGeV	Mittelwert und Standardabweichung			
				Grundwasser (n=68)	Erlbach (n=40)	Schacht (n=12)	Kirchbach (n=10)
ICP-MS	Fe [µg/L]			326,564 ± 392,114	242,130 ± 256,714	596,263 ± 1179,657	245,890 ± 75,165
	Mn [µg/L]			61,843 ± 122,423	201,166 ± 251,316	425,325 ± 386,236	32,794 ± 75,165
ICP-OES	P_{tot} [mg/L]	0,008	0,1	0,287 ± 0,361	0,243 ± 0,124	0,319 ± 0,110	0,103 ± 0,051
IC	NH_4^+ [mg/L]	0,01	0,13	0,671 ± 1,511	0,389 ± 0,343 (n=37)	0,850 ± 0,229	0,443 ± 0,616
	NO_3^- [mg/L]		50	2,412 ± 6,711	7,879 ± 7,359	0,217 ± 0,174	6,492 ± 4,554
	HPO_4^{2-} [mg/L]	0,03	0,15	0,659 ± 0,966 (n=41)	0,860 ± 0,702 (n=4)	-	0,106 ± 0,064 (n=4)
Elementaranalyse	DOC [mg/L]			26,877 ± 10,530	3,838 ± 1,794	2,261 ± 0,3533	50,724 ± 7,875

Ammonium und Phosphor: Die mittleren Ammonium- und Gesamt-Phosphorkonzentrationen überschreiten an allen Standorten die Grenzwerte der OGeV. Die erhöhte Konzentration lässt sich auf die Hemmung der Nitrifikation und Mineralisierung unter anaeroben Bedingungen zurückführen. Bei Phosphor ist der anorganische Anteil oft unterhalb der Nachweisgrenze, während der erhöhte organische Anteil mit dem hohen DOC-Gehalt korreliert. Es kommt zu einem gelegentlichen, aber deutlichen Phosphataustrag, der sich aber nicht unmittelbar auf eine niedrige Eisenkonzentration zurückführen lässt.

Eisen und Mangan: Eisen zeigt im Grundwasser höhere Konzentrationen als im Vorfluter, was darauf hinweist, dass Eisen in Form von Eisenhydroxiden bei der Passage in das Oberflächengewässer ausgefällt wird. Mangan bleibt vermehrt in Lösung, weil dessen Oxidation ein höheres Redoxpotential erfordert.

DOC (Gelöster organischer Kohlenstoff): In Moorkörpern sind DOC-Konzentrationen im Allgemeinen hoch, da DOC u. a. durch die Humifizierung von organischer Substanz ent-

steht. Besonders nach Wiedervernässungsmaßnahmen kann es zu einer Freisetzung des zuvor im Boden akkumulierten DOC kommen, was erhöhte Konzentrationen zur Folge hat (Schwalm und Zeitz, 2011). Auch in Karolinenfeld wird dieser Effekt, wenn auch in abgeschwächter Form, durch natürliche saisonale Schwankungen des Wasserstands weiterhin beobachtet. Fiedler et al., 2008 untersuchten wiedervernässte und entwässerte degradierte Niedermoorstandorte in Süddeutschland und stellten fest, dass die DOC-Konzentrationen im Bodenwasser zwischen 41 - 55 mg DOC/L in wiedervernässten und 73 - 88 mg DOC/L in entwässerten Standorten variieren. Im Vorfluter Erlbach in Karolinenfeld sind die DOC-Werte hingegen deutlich niedriger als im Grundwasser. Dies wird nicht durch Verdünnung erklärt, da der Erlbach ausschließlich von Moorflächen gespeist wird. Vielmehr könnten mikrobielle Zersetzungsprozesse, Ausfällung von organo-mineralischen Komplexen oder Adsorption an Sedimenten für die Reduktion der DOC-Konzentration verantwortlich sein.

Hohe Standardabweichungen können auf verschiedene Ursachen zurückzuführen sein.

- **Eisen und Mangan:** Diese Stoffe sind unter reduzierenden Bedingungen mobil und unterliegen starken Schwankungen aufgrund von wechselnden Redoxpotentialen.
- **Ammonium:** Schwankungen können durch erhöhte Mobilisierung oder mikrobiellen Abbau infolge von wechselnden (an)aeroben Bedingungen entstehen.
- **DOC:** Ist weniger anfällig für kurzfristige Schwankungen, da es kontinuierlich durch die Zersetzung organischer Substanz gebildet wird.

Die wasseranalytischen Untersuchungen in Karolinenfeld begannen zeitgleich mit der Wiedervernässung, sodass keine Daten aus der entwässerten Ausgangssituation vorliegen. Um dennoch Rückschlüsse zu ziehen, wurde der Kirchbach als Referenzvorfluter herangezogen. Dieser zeigt, abgesehen von erhöhten DOC-Konzentrationen, keine wesentlichen Unterschiede bei kritischen Stoffen im Vergleich zum Erlbach. Auffällig ist, dass in beiden Oberflächengewässern die Ammonium- und Phosphorkonzentrationen die Grenzwerte der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) überschreiten. Dies deutet darauf hin, dass diese Überschreitungen nicht unmittelbar mit der Wiedervernässung zusammenhängen.

In der Evaluierungsmatrix (Abbildung 11.1, Abbildung 11.2, Abbildung 11.3) wird die potenzielle Gefährdung unterliegender Gewässer durch Austräge von Nitrat, Phosphor und DOC sowie die potenzielle Retentionswirkung anhand von Standort- und Messdaten eingeschätzt. Dazu werden verschiedene Parameter betrachtet, darunter die Stoffkonzentration im Gebietsabfluss und der mittlere Grundwasserflurabstand. Der Gebietsabfluss wird allerdings in der Regel nicht direkt hinter den wiedervernässten Flächen erfasst, sodass Grundwassermesswerte als repräsentativer für die Nährstofffreisetzung gelten. Der mittlere Grundwasserflurabstand wurde für die Teilflächen 1 (3,5 ha; flurnah) und 2 (10 ha; trocken) differenziert betrachtet. Laut Matrix wird die Nährstofffreisetzungsgefahr bei Stickstoff und DOC für Teilfläche 1 als ungefährlich und für Teilfläche 2 als niedrige Quelle bewertet.

Für Phosphor zeigt das Gebiet wegen des stark vererdeten Oberbodens und des engen Eisen:Phosphor-Verhältnisses Risiken als starke Quelle. Dies betrifft sowohl den organischen Phosphoranteil, der mit dem typischen hohen DOC-Austrag von Moorflächen korreliert, als auch gelegentliche signifikante Phosphatausträge. Eine differenzierte Betrachtung der Teilflächen unter Fokussierung auf die Grundwasserwerte ergibt für Teilfläche 1 aufgrund des hohen Grundwasserflurabstands eine Einstufung als potenzielle mittlere Quelle, während die trockene Teilfläche 2 als ungefährlich bewertet wird. Da das unterliegende Gewässer

stromabwärts überwiegend von landwirtschaftlich genutzten Flächen gespeist wird, ist keine zusätzliche Verschlechterung durch Einträge von den Flächen der Versuchsstation zu erwarten. Dennoch sollten ggf. die Ursachen der sporadischen Phosphatfreisetzung geklärt werden. Dies könnte auf geochemische Prozesse oder mikrobiologische Aktivitäten hinweisen.

Insgesamt wird die Retentionswirkung der Moorflächen nach der Matrix als mittel eingeschätzt.

Für die Landwirtschaft sind vor allem Nitrat- und Phosphatgehalte von Bedeutung. Diskutiert man die in Karolinenfeld gemessenen Nitrat- und Phosphatgehalte in Hinblick auf ihre Höhe im Vergleich zu anderen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen gewonnenen Daten, insbesondere unter Grünlandnutzung (Diepolder und Heigl, L., Raschbacher S., 2018, Diepolder und Raschbacher, 2010, Diepolder und Raschbacher, 2011, Diepolder und Raschbacher, 2012), so zeigen sich keine Auffälligkeiten. Dabei sind die in Karolinenfeld gemessenen mittleren Nitratgehalte im Sickerwasser landwirtschaftlich genutzter Flächen mit teilweise weit unter 10 mg/L auf einem niedrigen Niveau. Auch die gemessenen Phosphatgehalte liegen auf einem ähnlichen Niveau anderer Untersuchungen.

Eine durchgeführte Zeitreihenanalyse für die gesamte Zeit der Probennahme zeigte keine Korrelation zwischen Stoffkonzentrationen und den Wasserständen als indirektem Indikator für Veränderungen des Redoxpotentials. Die analysierten Zeiträume deckten saisonale Wasserstandsschwankungen sowie durch Wasserregelung bedingte Änderungen ab. Untersuchungen von Zak und Gelbrecht, 2007 und Meissner et al., 2008 zeigen, dass bei den Veränderungen in der Konzentration von Wasserinhaltsstoffen zwischen kurzfristigen und langfristigen Auswirkungen unterschieden werden muss. Sie stellten eine Erhöhung der Mobilität bestimmter Verbindungen, wie gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) sowie der Nährstoffe Ammonium und anorganischen Phosphor, der an Eisenhydroxiden adsorbiert ist und dann rückgelöst wird, fest. Besonders betroffen ist der stark zersetzte oberste Torfhorizont, da hier das Angebot oxidierender Substanzen (Eisenhydroxide, Sulfate) sowie zersetzbarer organischer Substanz erhöht ist (Zak und Gelbrecht, 2007). Da diese Substanzen hauptsächlich infolge der Mineralisierung auftreten, wird ihre Konzentration wahrscheinlich langfristig, nach der Auswaschung, abnehmen. In Karolinenfeld konnten im Rahmen der begrenzten Projektlaufzeit weder die kurz- noch langfristigen Auswirkungen bisher korrekt erfasst werden. Daher könnte eine Folgeuntersuchung in Karolinenfeld – auch mit einigen Jahren Abstand - sinnvoll sein (Tiemeyer et al., 2017).

2.1.2 Wasserregelung im Freisinger Moos (PSC-HSWT)

Im Freisinger Moos wurde auf einer Grünlandfläche eine nässeangepasste Saatgutmischung (siehe 3.1) der LfL etabliert. Ziel des Versuchs war es, den Einfluss verschiedener Wassermanagementstrategien auf den Wasserstand und ihren Einfluss auf die THG-Bilanz zu erforschen. Dazu wurden zwei Transekte mit je zwei Treatments quer eines angestauten Grabens angelegt, der durch ein Wehr reguliert und mit einer Solarpumpe ganzjährig mit Wasser befüllt wurde (Abbildung 2.9 und Abbildung 2.11). Am Transekt 1 liegt die Grabenanstaufläche und eine Fläche mit eingebauten Drainagerohren auf einer Tiefe von 30 cm. Zusätzlich liegt am Transekt 2 eine Messstelle mit einer rohrlosen Unterflurbewässerung sowie ein Bereich mit eingebauten Drainagerohren auf einer Tiefe von 50 cm. Die Drainagen wirken bei hohen Wasserständen im Graben als Unterflurbewässerungen (UFB). Wird der Graben auf einen niedrigeren Wasserstand eingestellt, kann das Wasser schnell aus der Fläche

abfließen und eine rasche Befahrbarkeit der Wiese ermöglicht werden. Weil wegen Undichtigkeiten am Stauwehr nur 2023 der Wasserstand in den gewünschten Bereichen gehalten werden konnte, werden hier nur die Ergebnisse aus genanntem Jahr gezeigt. Um eine bessere Aussagekraft über die Funktion der Bewässerungsmethoden zu geben, wurden die Wasserstände als Grundwasserflurabstand angegeben, sowie auf die Höhe über Normalnull referenziert. Der auf Normalnull referenzierte Wert ist besonders aussagekräftig für die Beurteilung der Funktion der Unterflurbewässerung, da topografische Unebenheiten dabei eliminiert werden.

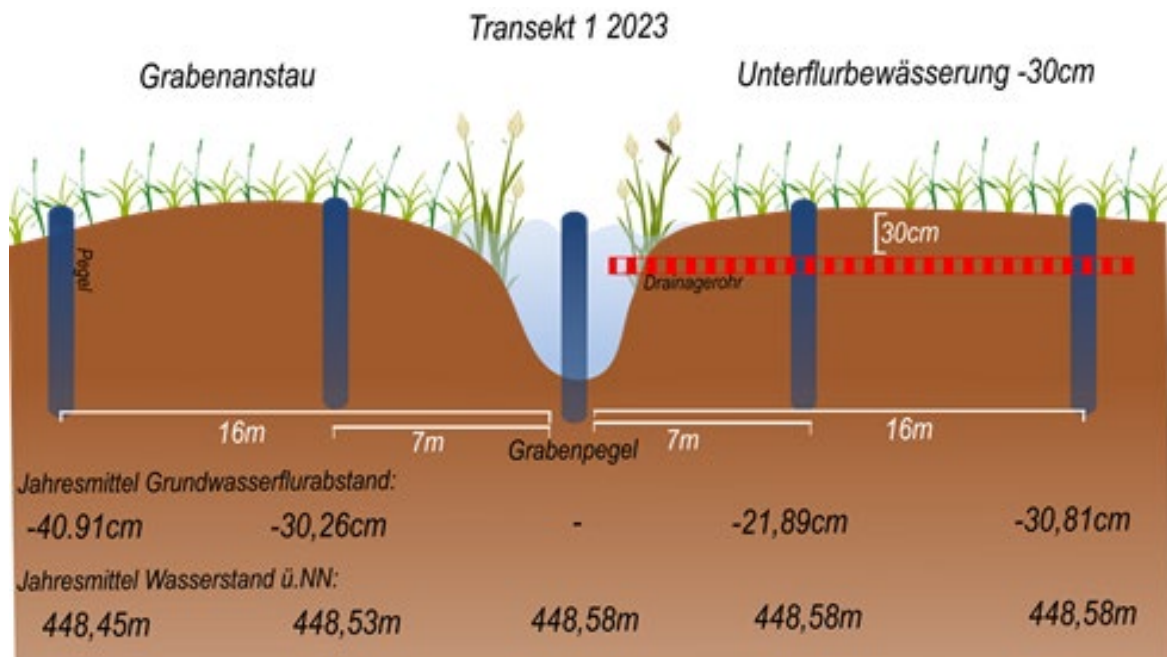


Abbildung 2.9: Schematische Darstellung von Transekt 1 im Freisinger Moos. Hier werden die mittleren Wasserstände in den unterschiedlichen Grabenentfernungen über das Jahr 2023 gezeigt.

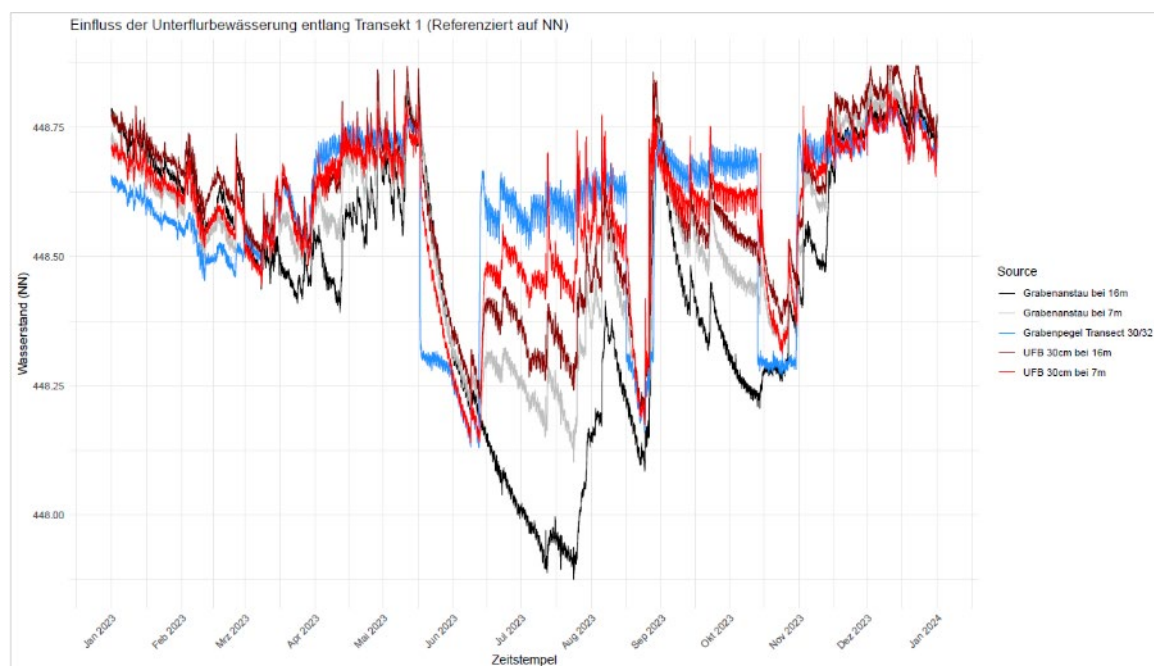


Abbildung 2.10: Wasserstand (Transekt 1) im Freisinger Moos mit Unterflurbewässerung. Die Grafik zeigt den Einfluss der Unterflurbewässerung entlang des Transekt 1 in 30 cm Tiefe (rot und dunkelrot) im Vergleich zu den Grabenanstauplächen ohne Unterflurbewässerung (grau und schwarz) sowie dem Grabenwasserstand (blau) bezogen auf Normalnull.

An Transekt 1 wurde eine Grabenanstaupfläche und Fläche mit Drainagerohren in 30 cm Tiefe untersucht. Die Grabenanstaupfläche am Transekt 1 weist in einer Grabenentfernung von 16 Metern einen mittleren Wasserstand von -40,91 cm unter der Geländeoberfläche auf, während der Jahresmittelwert des Wasserstands über Normalnull (ü. NN) bei 448,45 m liegt. Im Vergleich dazu zeigt die Fläche mit Unterflurbewässerung auf 30 cm Tiefe am gleichen Transekt und bei gleicher Entfernung vom Graben einen um rund 10 cm höheren mittleren Wasserstand (-30,81 cm), was einem Jahresmittelwert von 448,58 m ü. NN entspricht. Ähnlich wirkt sich der Effekt der Drainagerohre in Grabennähe aus. Dort fällt der Unterschied mit 5 cm höheren Wasserstand in Bezug auf Normalnull in der Fläche mit eingebauten Drainagerohren geringer aus. Dennoch verdeutlichen die höheren Wasserstände die Wirksamkeit der Unterflurbewässerung durch Drainagerohre, die Wasser aus dem Graben gezielt in den Boden leitet.

Die Grabenanstaupflächen wiesen die niedrigsten mittleren Wasserstände auf, mit stärkeren Schwankungen insbesondere während Trockenperioden. Im Vergleich dazu führten die 30 cm Treatments zu höheren und stabileren Wasserständen. Insbesondere die Flächen nahe am Graben zeigten nahezu identische Wasserstände wie der Grabenpegel, was die Effizienz der Unterflurbewässerung in der Wasserverteilung unterstreicht.

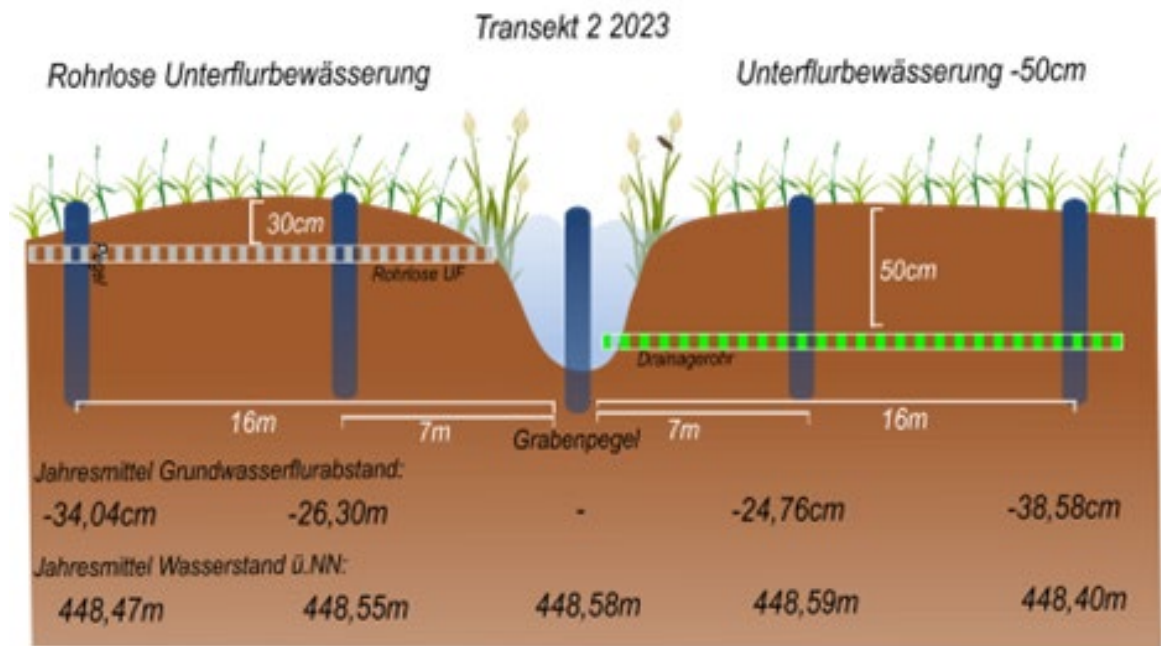


Abbildung 2.11: Abbildung 2.14: Schematische Darstellung von Transekt 2 im Freisinger Moos. Hier werden die mittleren Wasserstände in den unterschiedlichen Grabenentfernungen über das Jahr 2023 gezeigt.

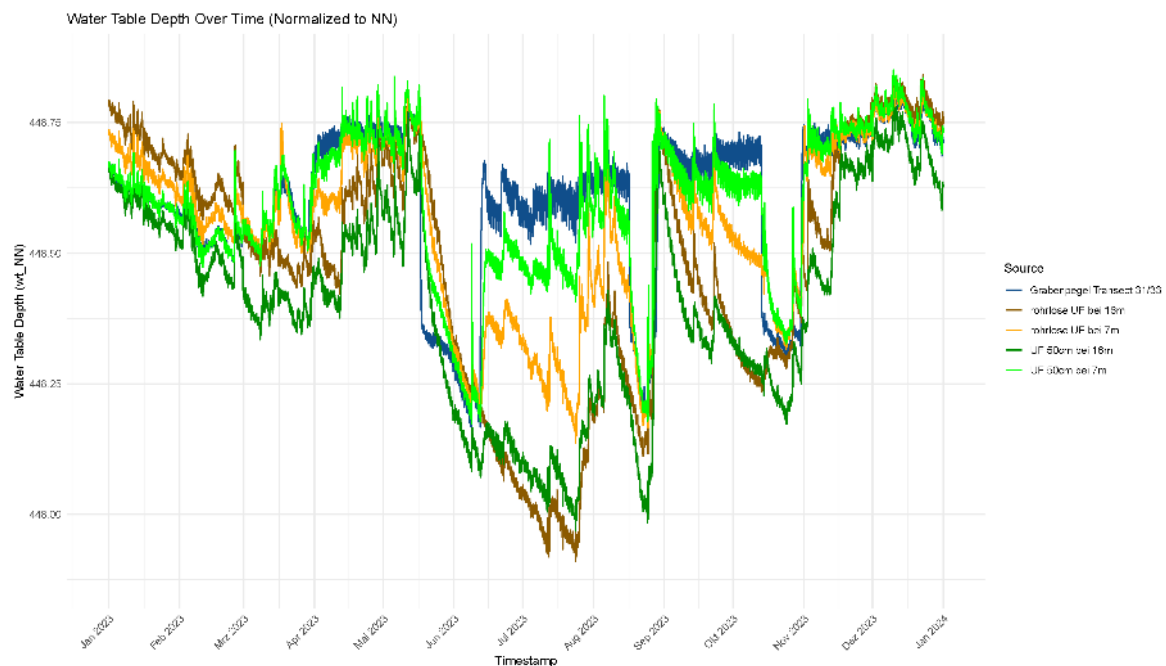


Abbildung 2.12: Wasserstand (Transekt 2) im Freisinger Moos mit Unterflurbewässerung. Die Grafik zeigt den Einfluss der Unterflurbewässerung entlang des Transekt 2 in 50 cm Tiefe (grün und dunkelgrün) im Vergleich zur rohrlosen Unterflurbewässerung bei 50cm (orange und braun) sowie dem Grabenwasserstand (blau) bezogen auf Normalnull.

Am Transekt 2 wurde eine weitere Unterflurbewässerung auf 50 cm Tiefe untersucht. Bei einer Entfernung vom Graben von 7 Metern zeigte diese einen erhöhten Wasserstand mit einem mittleren Grundwasserflurabstand von -24,76 cm und einem Jahresmittelwert von 448,59 m ü. NN. Das Treatment mit der rohrlosen Unterflurbewässerung schneidet in der gleichen Entfernung vom Graben mit -26,30 cm bzw. 448,55 m etwas schlechter ab. Betrachtet man die Grundwasserstände in einer Entfernung von 16 m vom Graben, so fällt auf, dass die Dränagerohre bei -50 cm den Wasserstand nicht so gut halten können wie die Methode bei -30 cm. Der Wasserstand liegt hier mit 448,40 m ü. NN. um 18 cm niedriger. Im Vergleich dazu lag die Fläche mit einer rohrlosen Unterflurbewässerung auf 30 cm Tiefe bei einem mittleren Wasserstand von -34,04 cm und einem Jahresmittelwert von 448,47 m ü. NN. und damit ebenfalls höher als die Dränagerohre bei -50 cm. Gegenüber der Grabenanstauffläche haben jedoch alle Bewässerungsmethoden eine Erhöhung des Jahresmittelwerts bewirkt.

Anhand der Wasserstandsganglinien im Transekt 2 (Abbildung 2.12) erkennt man eine deutliche Stabilisierung der Grundwasserstände auf der Fläche mit Unterflurbewässerung bei 50 cm Tiefe. Dies ist auch der Fall nach den Trockenperioden. Hier erholt sich der Wasserstand in der Variante mit Dränagerohren bei 50 cm schneller. Dies zeigt, dass Dränagerohre eine effektivere Wasserverteilung ermöglichen als rohrlose Systeme.

Dies ist ein wichtiger Aspekt, weil die starken Wasserstandsabfälle an beiden Transekten im Juni, Ende August und November (Abbildung 2.10, Abbildung 2.12) auf das vorübergehende Öffnen des Grabenwehrs zurückzuführen sind. Diese Maßnahmen wurden durchgeführt, um während landwirtschaftlicher Bearbeitungsschritte wie Mähen oder Nachsaat den Wasserstand abzusenken. Nach dem Schließen des Wehrs und dem Wiederauffüllen des Grabens mit der Pumpe erholten sich die Wasserstände auf den Flächen mit Unterflurbewässerung deutlich schneller und langfristiger als auf den Grabenanstaufflächen. Besonders die UFB-Systeme in 30 cm und 50 cm Tiefe erreichten innerhalb weniger Tage wieder ihre vorherigen Wasserstände und stabilisierten sich dort. Im Gegensatz dazu blieben die Wasserstände auf den Grabenanstaufflächen länger auf einem niedrigen Niveau und zeigten eine langsamere Erholung.

Tabelle 2.4: Mittlere Grundwasserflurabstände (in cm) der verschiedenen Treatments im Freisinger Moos für die Jahre 2022 und 2023. Negative Werte geben die Tiefe des Grundwassers unter der Geländeoberfläche an.

Treatment	Grundwasserflurabstand 2022 [cm]	Grundwasserflurabstand 2023 [cm]
UFB 30cm	-23.92	-21.89
UFB 50cm	-27.69	-24.76
Grabenanstau	-33.15	-30.26
rohrlose UFB	-27.96	-26.30

Die mittleren Wasserstände zeigen bei allen Treatments eine Verringerung des Grundwasserflurabstands von 2022 auf 2023, was auf die erhöhte Pumpleistung zur Befüllung des Grabens sowie die Beseitigung von Undichtigkeiten im Stauwehr zum Beginn des Jahres 2023 zurückzuführen ist.

2.1.3 Wasserregelung am Ackerstandort bei Königsmoos im Altbayerischen Donaumoos (PSC-HSWT)

Zu den Wassermanagement-Flächen gehörten die Parzellen DOO_4 und DOO_5. DOO_4 wurde konventionell bewirtschaftet und verfügte über eine rohrlose Unterflurbewässerung in 50 cm Tiefe. DOO_5 wurde ökologisch bewirtschaftet und war mit einem Drainagerohr in 70 cm Tiefe ausgestattet, das bei hohem Wasserstand als Unterflurbewässerung diente. Auf diesen Flächen wurde ein Graben mit einem Wehr (Siphon) angestaut. In Trockenperioden wurde zusätzlich Wasser aus dem Grundwasser in den Graben gepumpt. Während der Feldarbeiten wie Ackern, Aussaat und Ernte wurde der Wasserstand zur besseren Befahrbarkeit vorübergehend abgesenkt.

Die Referenzflächen, DOO_6 und DOO_7, wurden ohne Wassermanagement betrieben. DOO_6 wurde konventionell, DOO_7 ökologisch bewirtschaftet. Auf allen vier Parzellen wurden durch Automatikpegel sowie regelmäßige manuelle Messungen die Grundwasserstände erfasst. Zudem wurden auf allen Versuchsflächen die Treibhausgasemissionen mit manuellen Haubenmessungen ermittelt. Auf den ökologisch bewirtschafteten Flächen wurde vor dem Mais eine Wicken-Weidelgrasmischung angebaut.

Die Ergebnisse der Messungen sind in Abbildung 2.13 zu sehen, die die Entwicklung des Grundwasserflurabstandes für alle Flächen von Januar 2022 bis Januar 2023 zeigt. Durch das Wassermanagement hielten die Flächen DOO_4 und DOO_5 während Trockenperioden durchgehend höhere Wasserstände als die Referenzflächen, wobei der Unterschied zwischen den beiden Bewirtschaftungsarten (DOO_4 konventionell und DOO_5 ökologisch) relativ gering war (siehe auch Tabelle 2.5). Im Verlauf der Sommertrockenheit von Mitte Juni bis Ende August konnte der Wasserstand trotz Bewässerung auf den Wassermanagement-Flächen nicht auf den abgezielten Wasserstand von -40cm gehalten werden. Auch abseits des Sommers sanken die Wasserstände in den Referenzflächen DOO_6 und DOO_7 während Trockenperioden deutlich stärker ab. Folglich ist der Wasserstand bei den Wassermanagement-Treatments im Jahresmittel mit 55,99 cm (DOO_4) und 58,46 cm (DOO_5) unter Flurkante deutlich höher ausgefallen. Wie zu erwarten war, wiesen die konventionelle Referenzfläche mit -70,7 cm und die ökologische Referenzfläche DOO_7 mit -83,27 cm den niedrigsten mittleren Wasserstand auf. Auf den ökologischen Flächen fällt der Unterschied der Jahresmittelwerte zwischen Wassermanagement und Referenz deutlich höher aus. Hauptgrund für den Unterschied von 24,81 cm ist der von allen anderen Treatments deutlich abgesetzte, tiefe Wasserstand der ökologischen Referenz.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das Wassermanagement ein wirksames Mittel ist, um die Wasserstände in landwirtschaftlich genutzten Moorböden zu stabilisieren.

Tabelle 2.5: Mittelwerte der Grundwasserflurabstände (in cm) am Ackerstandort im Altbayerischen Donaumoos über den gesamten Messzeitraum

Treatment	Mittlerer Wasserstand [cm]
DOO_4 Konventionell mit Wasser- management	-55,99
DOO_5 Ökologisch mit Wasser- management	-58,46
DOO_6 Konventionell Referenz	-70,70
DOO_7 Ökologisch Referenz	-83,27

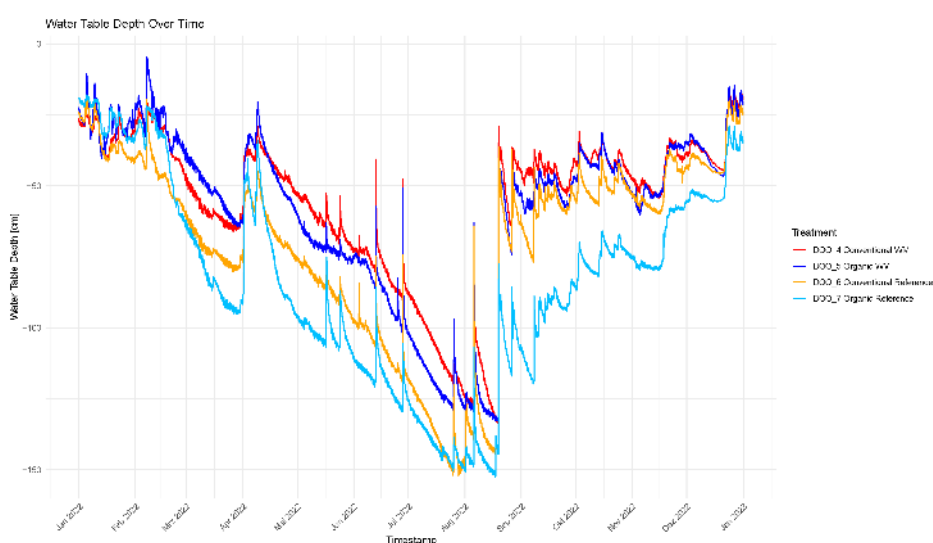


Abbildung 2.13: Verlauf der Grundwasserstände (Water Table Depth) über den Zeitraum von Januar 2022 bis Januar 2023 für die vier verschiedenen Treatments auf dem Ackerstandort im Altbayerischen Donaumoos.

2.1.4 Wasserregelung am Langenweiher im Altbayerischen Donaumoos (LfL)

Im Gewanne „Langenweiher“ wurde in Kooperation mit dem Donaumoos-Zweckverband ein Maßnahmenkonzept zur Wiedervernässung von extensiv bewirtschaftetem Grünland im Rahmen eines größeren Projektes des DMZV erfolgreich umgesetzt. Im Zentrum dieser Maßnahmen liegt die 4 ha große Untersuchungsfläche. Aufgrund des nach Nordosten geneigten Reliefs der Fläche wurden alle 30 cm Höhendifferenz Stauwehre und -dämme eingeplant, um die Wasserstände flexibel regulieren zu können. Dies ermöglicht die Absenkung des Graben- und Flächenwasserstandes, beispielsweise für Bewirtschaftungszwecke.

Die Planung der Wiedervernässungsmaßnahmen umfasste die Rekonstruktion des Grabensystems sowie die Einspeisung von zusätzlichem Wasser über eine Einleitung. Die Projektfläche grenzt stromabwärts an ein Hochwasserrückhaltebecken, das bei mittlerem Durchfluss zu nass ist und die dort weidenden Murnau-Werdenfelder-Rinder in ihrer Mobilität einschränkt. Um die nassen Bedingungen zu entlasten und in Trockenperioden zusätzlich Wasser in die Untersuchungsfläche zu leiten, wurde eine Rohrleitung verlegt, um Wasser aus dem Hauptgraben abzuleiten.



Abbildung 2.14: Stauwehr in Langenweiher im Altbayerischen Donaumoos

Die Stauwehre (Abbildung 2.14) wurden auf Grundlage bautechnischer und hydraulischer Berechnungen konzipiert, da die Gräben Fließgewässercharakteristik aufweisen und bereits Starkniederschlagsereignisse zur Funktionsuntüchtigkeit anderer Staueinrichtungen geführt haben. Zusätzlich wurden Staudämme im Torfkörper eingebaut, deren Stabilität durch die Verwendung von Kokosmatten und Überlaufmulden gewährleistet wurde.

Im Jahr 2022 waren die Niederschläge in den Sommermonaten Juli und August geringer als im Jahr 2023, während September und Oktober höhere Niederschläge verzeichneten. Beide Jahre wiesen jedoch eine ähnlich lange Trockenperiode mit einer negativen klimatischen Wasserbilanz von ca. 3 Monaten auf. Durch das Anstauen der Entwässerungsgräben konnte der Grundwasserstand im Sommerhalbjahr 2023 im Vergleich zu 2022 von bis zu 110 cm auf 70 cm unter Flur angehoben werden (Abbildung 2.15). Im Winterhalbjahr stand das Grundwasser bereits vor den Maßnahmen oberflächennah an. Der Rückstau erfolgt primär durch den quer zur Richtung der Grundwasserströmung verlaufenden Graben am Auslass der Fläche. Da diese nach Osten verläuft, ist der östliche Graben mit Süd-Nord-Ausrichtung entscheidend für die Staumaßnahmen. Der Rückstau wirkt über die ganze Fläche fort, so dass sich ein ähnlicher Grundwasserflurabstand ausbildet.

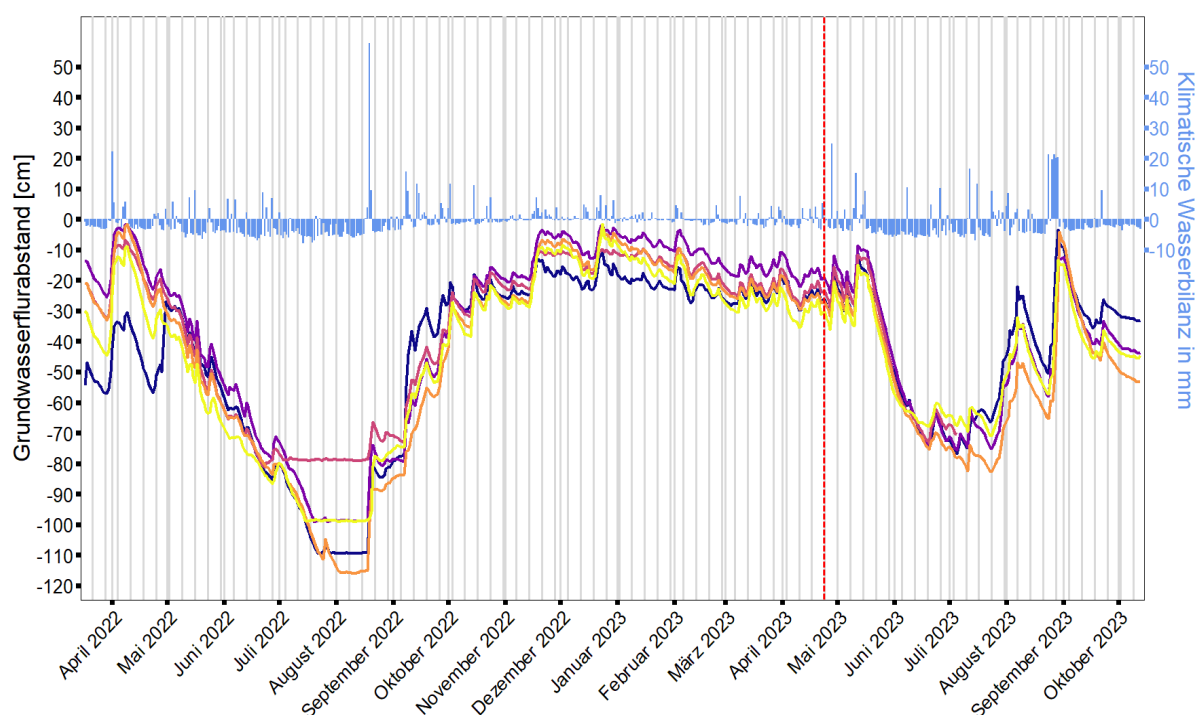


Abbildung 2.15: Grundwasserflurabstand im Langenweiher im Altbayerischen Donaumoos vor und nach dem Grabenanstau. Die Wirksamkeit des Grabenanstaus (seit April 2023, rote gestrichelte Linie) zeigt sich in der Verkürzung und Minimierung der sommerlichen Trockenperiode. Die Grundwassermessstellen stehen jeweils in der Mitte eines Quadranten der Untersuchungsfläche.

Insgesamt konnten durch die Maßnahmen die sommerlichen Niedrigwasserstände verkürzt und der Wasserstand um 40 cm angehoben werden. Dennoch wird der Zielwasserstand in zwei Sommermonaten nicht erreicht.

2.1.5 Wasserregelung im Klosterland Benediktbeuern (LfL)

Am Standort Benediktbeuern wurde im Rahmen des Projekts ein Maßnahmenkonzept zur Wiedervernässung der beiden Versuchsflächen im Auftrag der LfL durch die Crystal Geotechnik GmbH entwickelt. Dieses sah die Einrichtung von Schächten im Dränsystem sowie eines Stauwehres im Vorfluter vor. In Abstimmung mit dem Zentrum für Umwelt und Kultur in Benediktbeuern (ZUK) wurde das ursprüngliche Konzept angepasst und umgesetzt. Insgesamt wurden 26 Kunststoffschächte mit einem abnehmbaren Rohraufsatz auf den beiden Flächen installiert.

Die Schächte wurden abhängig von der Geländehöhe so platziert, dass ein Zielwasserstand von maximal 30 cm unter Flur erreicht werden sollte. Eine zweite Einschränkung in der freien Standortwahl stellten die Altgrasstreifen dar. Da beide Flächen Teil des Vertragsnaturschutzprogrammes (VNP) sind, bot es sich an, die Schachtreihen in einer Linie zu platzieren. Die Altgrasstreifen können somit alle 2 bis 3 Jahre nördlich oder südlich der Linie angelegt werden und die Schächte stören den Landwirt nicht bei der Bewirtschaftung. Für die Umsetzung wurden die Dränagen an mehreren Stellen gekappt und mit Schächten versehen. In den Schächten lässt sich durch einen Rohraufsatz der Wasserstand in der geländeaufwärts gelegenen Teilfläche einstellen (Abbildung 2.16). Um die Kosten auf einem praxistauglichen Niveau zu halten, wurde zunächst nur abwechselnd jede zweite Dränage mit

einem Schacht versehen. Auf die Einrichtung eines Stauwehres wurde verzichtet, da Biberaktivitäten den Vorfluter zum Zeitpunkt der Maßnahmenumsetzung bereits anstauten.



Abbildung 2.16: Kunststoffschacht mit abnehmbaren Rohraufsatz (L: 40 cm) im Klosterland Benediktbeuern.

Die Schächte bestehen aus einem Schachtboden mit eingelassenem Schachtrohr und einem Teleskop-Deckel. Die Schachtrohre sind auf die spezifische Dränagentiefe zugeschnitten und nachträglich verschiebbar. Da die Tondränagen einen geringeren Durchmesser als die Anschlüsse des Schachtbodens haben, wurden nahtlose Verbindungen mit Rohr-Reduzierungen hergestellt. Die horizontale Rohrverlängerung der Dränage ist durchströmbar, im Normalfall jedoch mit einem Stopfen verschlossen.

Nach dem Aushub der Baugrube wurden die Dränagen entfernt und der Schacht eingesetzt. Die sechseckigen Tondränagen wurden eng aneinandergefügt, um eine feste Verbindung zu gewährleisten. Um zu verhindern, dass Bodenmaterial in den Schacht fällt, kann ein Geotextil bis zur Bildung der Grasnarbe verwendet werden. Unbedeckter Boden ist anfällig für Wasser-Greiskraut, was die Futtermittelverwertbarkeit beeinträchtigen kann.

Die Ergebnisse des Praxisversuchs zeigen, dass der Dränagenanstau zu einem signifikanten Rückhalt des Wassers im Torfkörper beiträgt. Besonders während Trockenperioden ist dieser Effekt deutlich sichtbar, nimmt jedoch mit zunehmendem Abstand zu den angestauten Dränagen ab. Der deutlich höhere Wasserstand an den angestauten Dränagen im Vergleich zur unmittelbaren Umgebung deutet darauf hin, dass die Bodenmatrix weiterhin in einem relevanten Ausmaß durchströmt wird. Dies ermöglicht eine schnelle Abführung des Wassers über offene Dränagen. Auf geneigten Flächen mit intaktem Torf ist der Volumenfluss besonders hoch. Diese Beobachtungen hängen stark vom Zufluss ab; der Dränagenanstau reduziert primär die schnelle Abflusskomponente.

Wie üblich sinkt der Wasserstand während Trockenphasen, bleibt aber durch den Anstau auf einem höheren Niveau als ohne Maßnahmen. In Abbildung 2.17 ist ersichtlich, dass die Messstelle im Norden des Gebiets (goldene Grundwasserganglinie) die geringsten Veränderungen zeigt, da sich dort eine Senke befindet, die schon vor den Maßnahmen einen hohen Grundwasserstand hatte. Auch in Bereichen, die nicht direkt an aufgestaute Entwässerungskanäle angrenzen (rote Linie), ist ein Effekt erkennbar – wenn auch schwächer, zeigt sich dennoch eine allgemeine Erhöhung des Wasserstandes.

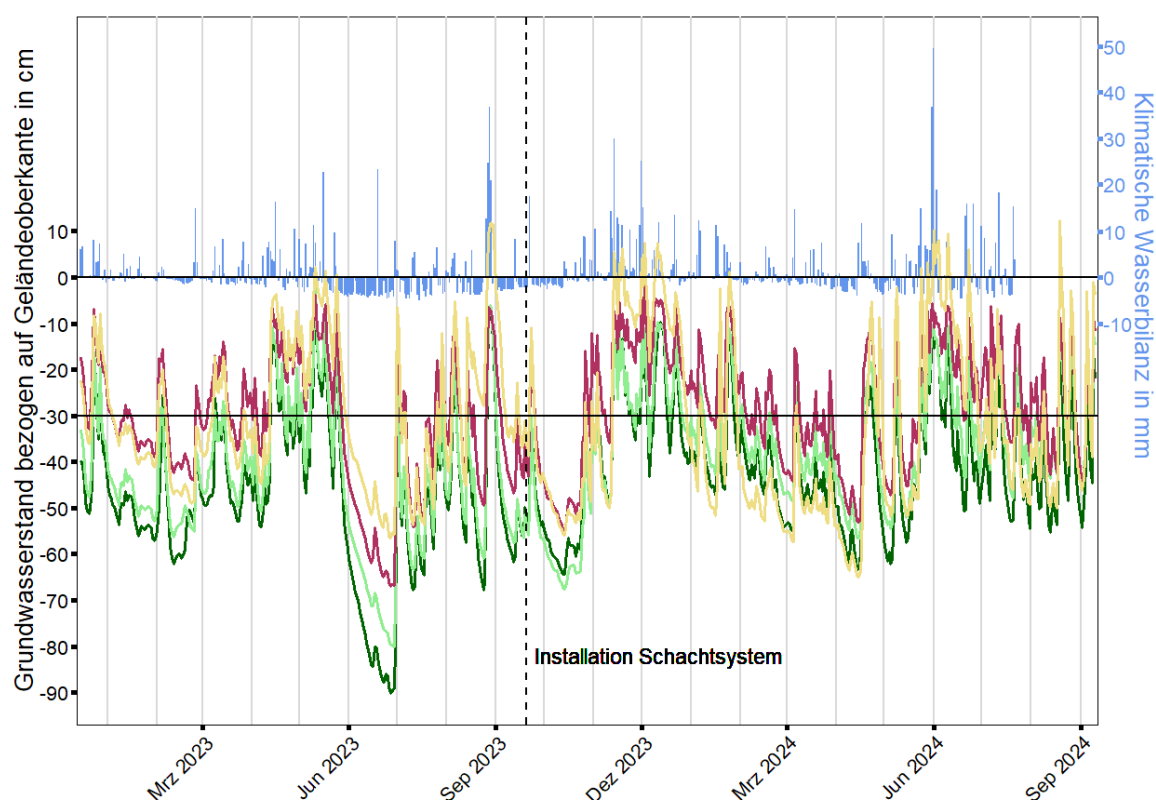


Abbildung 2.17: Grundwasserganglinien auf der Untersuchungsfläche Klosterland Benediktbeuern. Die grün markierten Grundwassermessstellen befinden sich in Bereichen, die aufgestaut wurden, wodurch die Erhöhung des Wasserstandes besonders gut sichtbar ist.

Das Einzugsgebiet beträgt ca. 8 km², sodass der Zufluss stark von den Witterungsverhältnissen abhängt. Die Notwendigkeit einer Wasserregelungstechnik wird durch den höchsten Wasserstand während der Bewirtschaftungszeiten bestimmt. Die Flächen liegen in einem Versumpfungsmoor, weshalb eine ausgeprägte saisonale Wasserschwankung zu erwarten ist. Um die Vernässungswirkung des Systems weiter zu verbessern, wurde zu Projektabschluss die Kappung der Dränagen, die noch nicht mit einem Schacht ausgestattet waren, dem Zentrum für Umwelt und Kultur (ZUK) durch die LfL empfohlen.

Insgesamt zeigt sich, dass die Maßnahmen erfolgreich zur Erhöhung des Flächenwasserstands beigetragen haben, insbesondere während der kritischen Trockenperioden.

2.1.6 Bewertung der erprobten Wasserregelungstechniken für die landwirtschaftliche Praxis (LfL)

Im Rahmen des Projekts wurden verschiedene Wasserregelungstechniken unter Berücksichtigung der Variabilität der klimatischen Wasserbilanz im langjährigen Mittel evaluiert. Es hat sich gezeigt, dass der Erfolg von Wiedervernässungsmaßnahmen hauptsächlich von den Standortfaktoren abhängig ist (Abbildung 2.18). Unterschiede durch die Wahl der Wasserregelungstechnik ergeben sich primär bei dem Vorhandensein von flächigen Dränagesystemen, die eine zielgenauere Einstellung des Flächenwasserstandes ermöglichen.

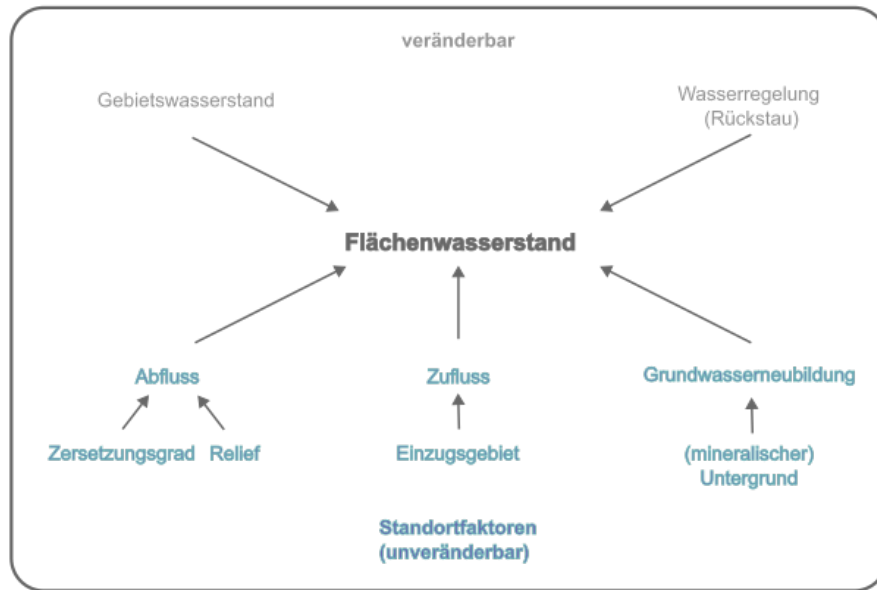


Abbildung 2.18: Die wichtigsten Faktoren, die den Flächenwasserstand beeinflussen. Mit Grundwasserneubildung ist an der Stelle primär die damit verbundene Versickerung in tieferen Grundwasserleiter gemeint.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse ist zu beachten, dass der Evaluierungszeitraum zur Untersuchung der Auswirkungen der Wasserregelungstechniken mit Mai 2021 bis September 2024 sehr kurz war. Normalerweise sollte ein Monitoring über mindestens 10 Jahre erfolgen. Weiterhin fehlt für die Maßnahmen teilweise die Referenzfläche, da die Praxisversuche auf bewirtschafteten Flächen erfolgten, bei denen meistens die gesamte Fläche wiedervernässt werden sollte.

Der Flächenwasserstand ist ein wesentlicher Bestandteil der Wasserbilanz und in erster Linie durch Zufluss, Abfluss und die Grundwasserneubildung beeinflusst. Während der Zufluss vorwiegend von der Witterung und dem Einzugsgebiet abhängt und kaum beeinflussbar ist, kann der Abfluss durch die umliegenden Flächenwasserstände beeinflusst werden. Daher sollten Wiedervernässungsmaßnahmen möglichst immer großflächig erfolgen. Die Grundwasserneubildung ist vom (in der Regel mineralischen) Untergrund abhängig. Positiv wirkt sich in der Bilanz die Reduzierung schneller Abflusskomponenten durch den verstärkten Wasserrückhalt in der Fläche aus. Es erfolgt aber auch weiterhin eine natürliche Entwässerung durch das Bodengefüge.

Der Wasserrückhalt durch Staueinrichtungen auf den Untersuchungsflächen war bei genügend Zufluss (Wasserverfügbarkeit) meistens erfolgreich. Durch welche Technik der Wasserrückhalt erfolgt, spielt eine untergeordnete Rolle – die Methode des Anstaus bleibt im Wesentlichen ähnlich. Unterschiede ergeben sich hauptsächlich dadurch, ob ein großflächiger Anstau durch vorhandene flächige Dränagensysteme möglich ist oder nicht. Diese erlauben eine gezieltere Regulierung des Wasserstands auf größeren Flächen und bieten zudem mehr potentielle Staupositionen zum Anstauen. Durch die „Unterflurbewässerung“ werden die Flächenwasserstände zumeist bis auf Höhe der Dränagen ausgeglichen. Der tatsächlich resultierende Wasserstand in der Fläche hängt aber in erster Linie vom Zufluss ab. Da die Verlegung von (neuen) Rohrdränagen verboten und nicht sinnvoll ist, kann die rohrlose Unterflurbewässerung eine Alternative sein. Allerdings sollte berücksichtigt werden, dass die Hohlgänge nicht sehr stabil sind und spätestens alle drei Jahre erneuert werden

müssen. Im Allgemeinen zeigt sich, dass durch den Wasserrückhalt besonders die sommerlichen Trockenperioden verkürzt und minimiert werden können.

Aufgrund der Standortfaktoren und Rückgriff auf die vorhandenen Entwässerungseinrichtungen kann keine Wasserregelungstechnik “per se” empfohlen werden. Für jede/n Standort, Nutzung und Bewirtschaftung ist eine individuelle Einschätzung nötig, welche Maßnahme zur Wasserstandsanhhebung eingesetzt werden sollte. Dabei sollten Flächen priorisiert werden, die eine ausreichende Wasserverfügbarkeit aufweisen. Die Berücksichtigung weiterer Standortfaktoren die Wasserretention betreffend, hilft im weiteren Verlauf bei der Planung die Auswirkung der Wiedervernässungsmaßnahmen (Wasserrückhalt) besser einzuschätzen, sowie mögliche Anpassungen vorzunehmen wie z. B. die Staupositionen engmaschiger oder zusätzliche Wasserzuleitungen zu planen. Für die grobe Planung der Wiedervernässungsmaßnahmen ist eine Analyse des digitalen Geländemodells als für die Bestimmung des Flächenwasserstandes wichtigster Faktor ausreichend. Für größere Flächen sollten hydrologische Modelle verwendet werden, um den Einfluss der (weiteren) Standortfaktoren auf die Wasserbilanz zu simulieren. Eine genaue Quantifizierung der einzelnen Komponenten des Wasserhaushalts, insbesondere der technisch bedingten Entwässerung bzw. des Abflusses, ist – wie bereits mehrfach erwähnt – ohne ein hydrologisches Modell nur eingeschränkt möglich.

Abschließend zeigt die Untersuchung, dass bei einer überlegten Auswahl der Fläche und einer gezielten Planung die Wiedervernässungsmaßnahmen meistens erfolgreich sind.

2.2 Abstimmung der Wasserstandsanhhebung mit den Vor-Ort-Akteuren am Beispiel der Versuchsstation Karolinenfeld (BaySG)

Eine Anhebung des Wasserstandes auf einem landwirtschaftlich genutztem Feldstück kann unter Umständen auch Anrainerflächen beeinflussen. Außerdem wird in den Wasserhaushalt eingegriffen, weswegen Belange der Wasserwirtschaft berücksichtigt werden müssen. Daher ist eine Abstimmung mit den Vor-Ort-Akteuren vor Maßnahmenumsetzung erforderlich.

Für die Wiedervernässung der Versuchsstation Karolinenfeld fand zum Auftakt von Moor-Bewi am Landratsamt Rosenheim ein Treffen statt, in dem der Landrat, die untere Naturschutzbehörde sowie das Wasserwirtschaftsamt über die Projektziele und Versuchsanstellungen informiert wurden. Mitarbeiter des Wasserwirtschaftsamtes konnten sich im Rahmen von Führungen über das Projekt informieren. Zur Errichtung der Grundwassermesspegel und des Messwehrs wurden die erforderlichen Genehmigungen beim Landratsamt und beim Wasserwirtschaftsamt eingeholt. Für den Betrieb des Mess/Stauwehrs konnte innerhalb weniger Wochen/Monate eine befristete Genehmigung erwirkt werden, mit der Auflage, jährlich Bericht zu erstatten und die Auswirkungen der Vernässungsmaßnahme zu dokumentieren. Das Wasserwirtschaftsamt ist zudem informiert über die Erstellung einer Machbarkeitsstudie zur flächigen Wiedervernässung der Flächen der Versuchsstation. Mit dem Vorsitzenden des Wasser- und Bodenverbandes Erlbach wurden mehrfach Gespräche geführt, es ließ sich ein guter und vertrauensvoller Umgang herstellen. Mit dem Bürgermeister der Gemeinde Kolbermoor wurde erörtert, inwieweit die Vernässung der Flächen in die Planungen der Gemeinde passt.

Mit betroffenen Anrainern konnten ebenfalls Abmachungen getroffen werden. Mit einem Grundbesitzer, dessen Flächen zentral im Untersuchungsgebiet liegen, ließ sich ein Flächentausch einleiten, mit einem weiteren wurde vereinbart, Rücksprache zu halten, ob die Vernässung sich negativ auf das Grundstück auswirkt. Für die Vernässung von Fläche 2 sollten

durch einen Pufferstreifen von 30 m nachteilige Auswirkungen auf die Anrainer begrenzt werden. Zudem wurde entlang des nördlichen Randes der Fläche 2 ein Graben gezogen, der hauptsächlich als hydraulische Barriere zum angrenzenden Grundstück dient. Wasser aus diesem Graben kann zudem aufgefangen und den Versuchsflächen zugeführt werden.

Zum AELF Rosenheim besteht ein enger Kontakt, dort stößt das Projekt auf großes Interesse und die Mitarbeiter streben an, die Station in der Bildung und Beratung intensiv zu nutzen. Auch zu Nicht-Landwirten wurden Kontakte hergestellt (Pfadfinder, VHS, Gartenbauverein). Als Fazit lässt sich festhalten, dass es gelungen ist, bei den betroffenen Behörden, Ämtern und Anrainern eine aufgeschlossene und positive Grundhaltung herzustellen.

3 Nutzungsmöglichkeit Nassgrünland

Grünland ist mit etwa 59 % die flächenmäßig bedeutendste landwirtschaftliche Nutzungsform von Moorböden in Bayern (Abbildung 3.1). Im sogenannten Grünlandgürtel am Alpenrand, einer Region mit großer Bedeutung für die Milchwirtschaft, werden mehr als 85 % dieser Moor-Standorte als Grünland bewirtschaftet. Für etwa ein Drittel der Grünlandfläche auf Moorböden in Bayern wurden im Jahr 2022 Agrarumweltmaßnahmen in Anspruch genommen, die mit einer Reduzierung der Nutzungsintensität einhergehen. Einen Zuschlag für die Nutzung als Feuchtwiese erhielten 11 % der Fläche. Es ist daher anzunehmen, dass der überwiegende Teil der Grünlandfläche auf Moorböden in Bayern derzeit futterbaulich genutzt und dabei entwässert wird.

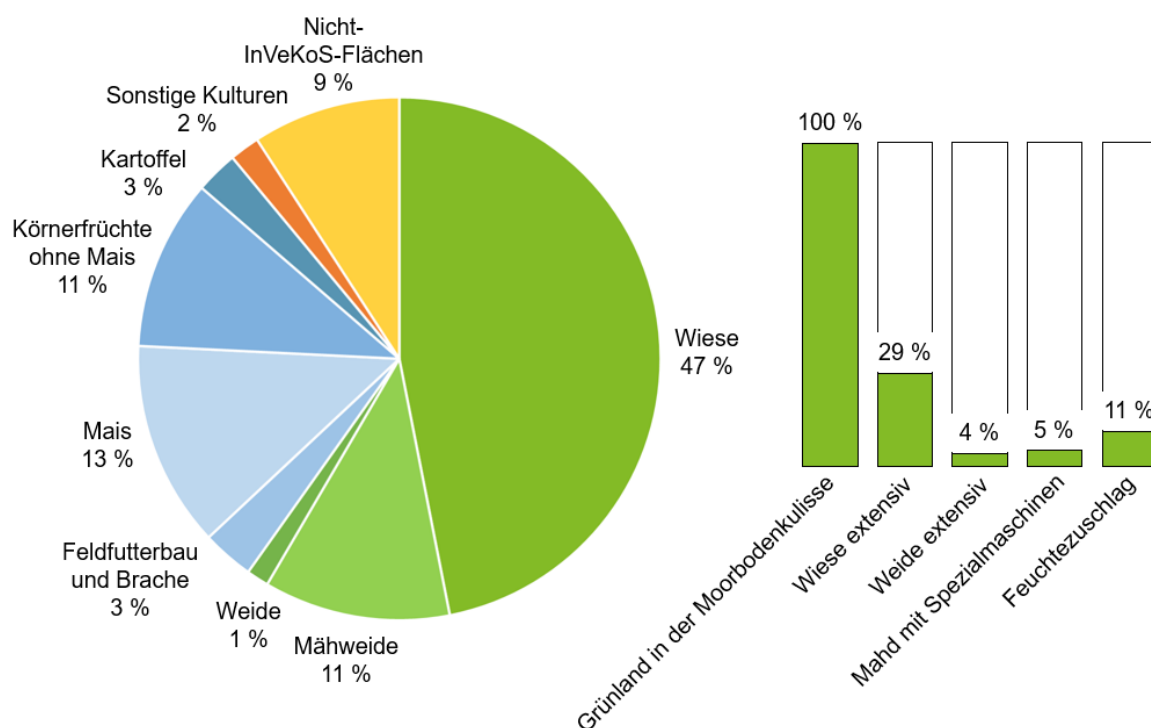


Abbildung 3.1: Anteile der für das Jahr 2022 gemeldeten Nutzung (InVeKoS) von Flächen in der Moorbodenkulisse (GLÖZ2) in Bayern (links) und Anteile von Flächen mit Agrarumweltmaßnahmen für Grünland in der Moorbodenkulisse in Bayern (rechts).

Im Arbeitspaket 3 „Etablierung und Bewirtschaftung von wiedervernässtem Moorgrünland mittlerer Nutzungsintensität“ sollte daher geprüft werden, ob und wie Moorgrünland auch mit einem angehobenen Grundwasserstand für die Verwertung durch Wiederkäuer genutzt werden kann. Es wurden folgende Fragestellungen anhand von zwei Versuchen auf einer Fläche der Versuchsstation Karolinenfeld bei Rosenheim und einer Fläche bei Hollenbach im Altbayerischen Donaumoos bearbeitet:

1. Wie wirkt sich die Wasserstandsanhhebung auf Grünland mit einer unterschiedlichen Artenzusammensetzung aus?
2. Gibt es Futtergräser, welche mit dauerhaft hohen Grundwasserständen zurechtkommen?
3. Sind die Aufwüchse nach der Wasserstandsanhhebung in Hinblick auf ihre Inhaltsstoffe, noch als Futter verwertbar?

4. Beeinflusst die Artenzusammensetzung des Pflanzenbestandes die Tragfähigkeit der Grasnarbe?
5. Wie verändert sich die Futterqualität bei einer Verkürzung des Schnittintervalls im Sommer?
6. Lassen sich nässeverträgliche Futtergräser in einem bestehenden Grünland etablieren?

Der Begriff „Nassgrünland“ wird in diesem Bericht für die Futternutzung von mäßig feuchten bis mäßig nassen Niedermoorstandorten verwendet. Als Anhaltspunkt dienen die Wasserstufen 6 bis 8 in LfU, 2005 mit Jahresmittelwerten für den Grundwasserstand von 30 bis 12 cm unter Geländeoberkante. Geeignet für diese Art der Nutzung, mit mehreren Bewirtschaftungsterminen im Jahr, sind also vornehmlich Standorte mit einem hohen Zufluss und der Möglichkeit zur Steuerung des Grundwasserstandes sowie Randbereiche von dauerhaft nassen Flächen oder Moore mit einem natürlicherweise niedrigeren Grundwasserstand im Sommer.

Im Bereich landtechnische Optionen wurden verschiedene Ernteverfahren und -techniken sowohl bayernweit auf Praxisbetrieben als auch am Moorversuchsgut Karolinenfeld begleitet und bewertet. Ziel war es dabei, für die unterschiedlichen Bedingungen auf nassen Moorflächen geeignete Verfahren und Techniken zu identifizieren und für die Praxis herauszuarbeiten, welche Optionen für die Bewirtschaftung von Nassgrünland zur Verfügung stehen und welche Konsequenzen dies bezüglich Ernterisiko oder Arbeitswirtschaft nach sich zieht. Darüber hinaus wurden die realisierten Erträge erfasst, beprobt und auch bezüglich der Inhaltsstoffe untersucht. Ebenso standen die möglichen Konservierungsverfahren, als Heu oder als Silage im Fokus. Weiterhin wurden verschiedene Parameter zur Beurteilung der Befahrbarkeit der Flächen erhoben.

Bei der Beweidung nasser Weideflächen wurde neben der Wirtschaftlichkeit das Tierwohl und der Einfluss einer Beweidung auf die Treibhausgasemission untersucht. Innerhalb des Projektes wurden Liegeflächen mit Unterständen angelegt, um zu prüfen, ob eine Ganzjahresbeweidung auch auf nassen Moorflächen möglich ist.

3.1 Einsatz von Saatgutmischungen mit nassetoleranten Futtergräsern (LfL)

Die Zusammensetzung des Pflanzenbestandes legt die Grundlage für die Verwertungsmöglichkeiten von Aufwüchsen grundwassernaher Moorstandorte. Dabei gelangen die in der Landwirtschaft als Futtergräser bekannten Arten wie Deutsches Weidelgras, Wiesenrispe oder Wiesenschwingel mit zunehmender Bodenfeuchte an die Grenze ihrer ökologischen Amplitude oder darüber hinaus.

Es sollte daher geprüft werden, mit welchen Arten bzw. Artenkombinationen sich trotz eines angehobenen Grundwasserstandes dauerhaft stabile Bestände erzeugen lassen, die weiterhin anhand ihrer Inhaltsstoffe als Futter verwertbar sind. Dazu wurden die in Tabelle 3.1 beschriebenen Saatgutmischungen im Herbst 2019 auf einem langjährig als Acker (Mais, Gerste, Weizen) genutzten Niedermoorstandort an der Versuchsstation Karolinenfeld neu angesät. Die Saatgutmischungen „RG“ (Regionale Grünlandmischungen für spezielle Standort- und Nutzungsbedingungen) werden von den zuständigen Länderdienststellen in Sachsen-Anhalt, Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern für Niederungsgrünland empfohlen (LFAMV, 2020). Die Auswahl wurde durch die Saatgutmischung LfL-M mit einem breiten Artenspektrum ergänzt. Im Abschlussbericht des Vorgängerprojektes „MoorKULAP“ lassen sich Einzelheiten zu den Saatgutmischungen und die Eigenschaften der

Bestände in der Etablierungsphase unter entwässerten Bedingungen nachlesen (Zwack und Freibauer, 2021). Der Vergleich der Bestände aus den unterschiedlichen sechs Saatgutmischungen wird im folgenden Text als „Bestandsentwicklung“ bezeichnet.

Tabelle 3.1: Saatstärke und Gewichtsanteile der geprüften Saatgutmischungen für Nassgrünland.

Bezeichnung der Saatgutmischung	LfL-M	RG6	RG7	RG9	RG10	RG11
Saatstärke in kg/ha	30	30	15	17	20	28
Art	Gewichtsanteil in %					
Wiesenschwingel	5	50				
Deutsches Weidelgras		20	13		10	
Wiesenlieschgras	25	30	34	29		25
Weißes Straußgras	5		40	12		7
Rohrglanzgras	10			59		
Wiesenrispe	10				15	11
Wiesenfuchsschwanz	10				75	
Rohrschwingel	35					57
Weißklee			13			

3.1.1 Schnittregime und Düngung (LfL)

Der Versuch „Bestandsentwicklung“ wurde im Zeitraum von 2021 bis 2023 dreimal im Jahr zu den in Tabelle 3.2 angegebenen Zeitpunkten beerntet und beprobt. Nach dem ersten Schnitt fand jeweils eine – in Bezug auf die veranschlagte jährliche Stickstoffabfuhr durch das Erntegut – verhaltene mineralische Düngung mit 40 N, 35 P₂O₅, 100 K₂O, 15 MgO, 12,5 S (Angaben in kg/ha) statt.

Um die futterbauliche Eignung der Bestände und deren Aufwüchse möglicherweise zu verbessern, wurde der Bestandstyp LfL-M auf derselben Untersuchungsfläche an der Versuchsstation Karolinenfeld in den Jahren 2022 und 2023 jeweils auch viermal beerntet und beprobt. Der Vergleich der unterschiedlichen Schnitthäufigkeiten und Schnittzeitpunkte wird im folgenden Text „Schnittregime“ genannt. Aufgrund ungünstiger Witterungsbedingungen wurde in diesem Fall nach dem ersten Schnitt im Jahr 2022 mineralisch mit den oben genannten Nährstoffmengen gedüngt. Im Jahr 2023 erhielten die Versuchspartzellen 25 m³/ha Milchviehgülle (5 % TM, 2,9 N_{gesamt}, 1,2 P₂O₅, 3,8 K₂O, 1,0 MgO, 0,3 S).

Der erste Schnitt der Variante mit vier Schnitten konnte in beiden Versuchsjahren aufgrund hoher Grundwasserstände nicht wie geplant zum Zeitpunkt des Ähren- bzw. Rispen-schiebens, sondern erst knapp zwei Wochen später durchgeführt werden. Im Hinblick auf künftige Bewirtschaftungsmaßnahmen wäre es sinnvoll, unter solchen Verhältnissen den Wasserstand schnell nach unten regeln zu können.

Tabelle 3.2: Bewirtschaftungszeitpunkte des Versuches „Bestandsentwicklung“ (BE) und der Varianten des Versuches „Schnittregime“ (3 und 4 Schnitte) an der Versuchsstation Karolinenfeld.

Jahr	2021	2022			2023		
Versuch bzw. Variante	BE	BE	3	4	BE	3	4
1. Schnitt	25.5.	30.5.	31.5.		21.5.	22.5.	
Düngung	9.7.	2.7.	24.6.		31.5		
2. Schnitt	18.8.	12.8.	11.8.	14.7.	31.7.	2.8.	4.7.
3. Schnitt	20.10.	13.10.	12.10.	29.8.	18.10.	18.10.	22.8.
4. Schnitt				12.10.			18.10.

3.1.2 Anhebung des Grundwasserstandes und Einteilung der Versuchsparzellen in Wasserstufen (LfL)

Der Grundwasserstand der Untersuchungsfläche an der Versuchsstation Karolinenfeld konnte ab Herbst 2020 über den Anstau von bestehenden Rohrdrainagen angehoben werden (Zwack und Freibauer, 2021). Dabei stellte sich bereits im anschließenden hydrologischen Jahr (01.11.-31.10.) 2021 ein deutlich höherer Grundwasserstand um 40 cm unter Geländeoberkante im Jahresmittel (Abbildung 3.2) ein als unter den vormals entwässerten Bedingungen, bei denen der mittlere Grundwasserflurabstand ca. 90-110 cm unter der Geländeoberkante lag.

In den hydrologischen Jahren 2022 und 2023 wurde ein Grundwasserstand im Jahresmittel um 20 cm unter Geländeoberkante erreicht. Dabei wirkte vor allem ein über viele Tage oberflächennaher Grundwasserstand und zeitweise Überstaubedingungen im Winter und Frühjahr als Stressfaktor auf die Pflanzenbestände.

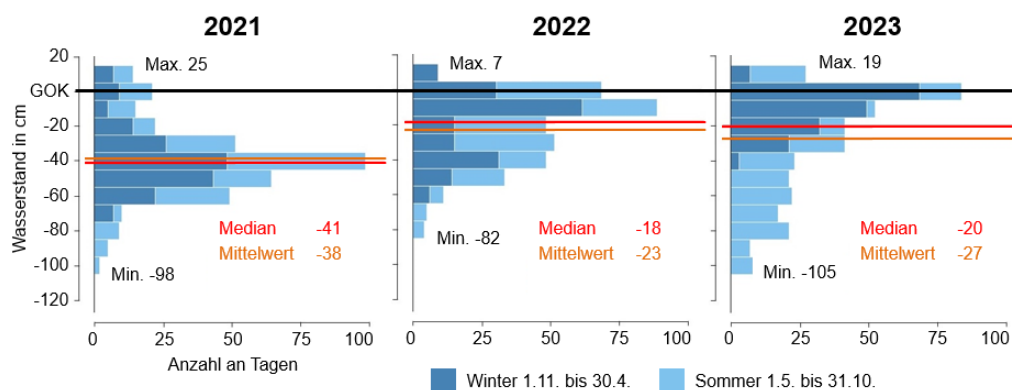


Abbildung 3.2: Häufigkeitsverteilung der Tagesmittelwerte des Grundwasserstandes unter Geländeoberkante (GOK) an einer für die Untersuchungsfläche repräsentativen Messstelle auf der Versuchsstation Karolinenfeld

Zur Einteilung der Versuchsparzellen in Wasserstufen wurde zunächst für jede Versuchsparzelle ein Wert für den Grundwasserstand und die Anzahl an Tagen mit Stauwasser im jeweiligen hydrologischen Jahr berechnet. Anhand der Parameter konnten die Versuchsparzellen mit einer Clusteranalyse gruppiert werden. Dies erfolgte mittels der RStudio Version 1.2.1335 (R. Core Team, 2021), Paket „NbClust“ (Charrad et al., 2014, Methode: „centroid“, Distanz: „euclidean“), PAM-Algorithmus (Maechler et al., 2021).

Aufgrund dieser Analyse unterschieden sich Versuchsparzellen mit feuchten bis mäßig feuchten Standortbedingungen (*Wasserstufe F*) in einer Bodensenke eindeutig von Versuchsparzellen mit frischen bis mäßig trockenen Standortbedingungen (*Wasserstufe T*) in den Randbereichen der Untersuchungsfläche (Abbildung 3.3, Tabelle 3.3).

Im Anschluss wurden räumlich nahe Versuchsparzellen derselben Faktorkombination (Bestandstyp*Wasserstufe bzw. Schnittregime*Wasserstufe) zu einem Versuchsglied zusammengefasst. Damit lag für den Versuch „*Bestandsentwicklung*“ eine vollständig randomisierte Verteilung der Versuchsglieder mit zwei bis vier Wiederholungen vor.

Der Versuch „*Schnittregime*“ wurde als Spaltanlage mit zwei Wiederholungen angelegt.

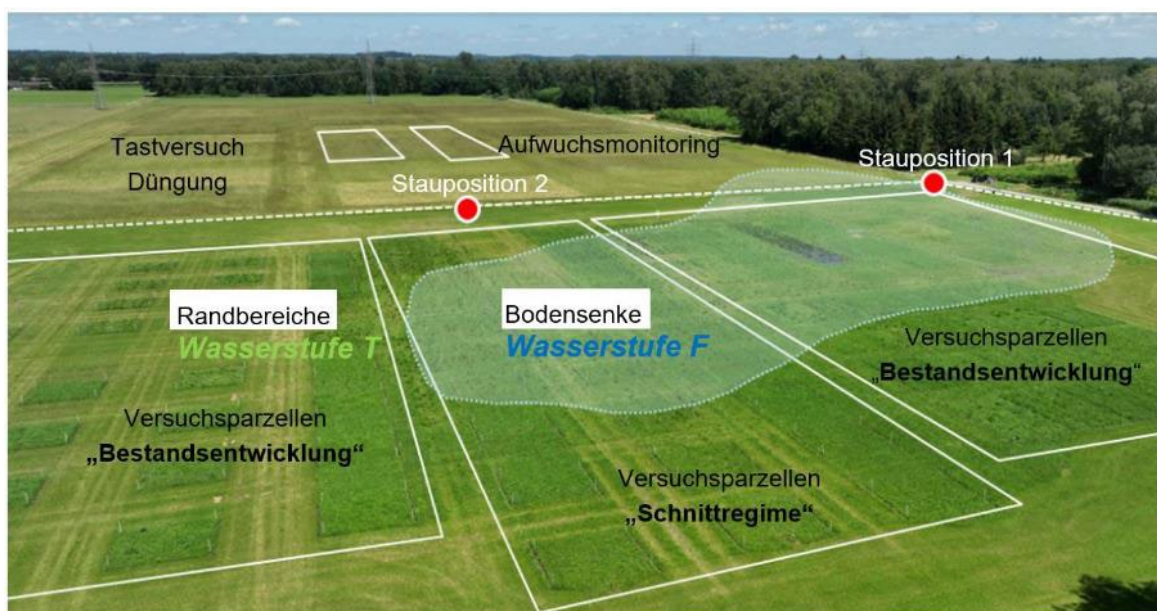


Abbildung 3.3: Blick auf die Untersuchungsfläche an der Versuchstation Karolinenfeld mit Versuchspartzen in der feuchten bis mäßig feuchten Bodensenke und in frischen bis mäßig trockenen Randbereichen (Foto: Birgit Gleixner, LfL).

Tabelle 3.3: Grundwasserstand unter der Geländeoberkante und Anzahl an Tagen mit Stauwasser von Versuchspartzen der Versuche „Bestandsentwicklung“ und „Schnittregime“.

Parameter	Hydrolo- gisches Jahr	Wasserstufe	
		F	T
		Mittelwert (Min.–Max. Versuchsparzelle)	
Versuch „Bestandsentwicklung“			
Grundwasserstand in cm unter Ge- ländeoberkante (Median)	2021	44 (39–49)	66 (49–92)
	2022	21 (16–25)	47 (28–79)
	2023	20 (15–24)	48 (28–78)
Anzahl an Tagen mit Stauwasser	2021	23 (13–40)	3 (0–8)
	2022	29 (2–92)	0 (0–1)
	2023	46 (17–82)	2 (0–11)
Versuch „Schnittregime“			
Grundwasserstand in cm unter Ge- ländeoberkante (Median)	2022	19 (15–23)	40 (28–49)
	2023	19 (15–22)	40 (29–52)
Anzahl an Tagen mit Stauwasser	2022	18 (2–42)	0 (0–1)
	2023	39 (25–59)	1 (0–8)

Anmerkung zu weiteren Untersuchungen an der Versuchsstation Karolinenfeld: Zusätzlich zu den vorgenannten Versuchen („Bestandsentwicklung“, „Schnittregime“) wurde im Jahr 2023 ein Tastversuch zur *Düngestrategie* auf einem Bestand mit nassetoleranten Futtergräsern angelegt (siehe Abbildung 3.3 oben links). Bei diesem sollte der Effekt einer Güllegabe von 25 m³ Milchviehgülle nach dem ersten Schnitt als Düngestrategie bei wassergesättigtem Boden im Frühjahr mit einer geteilten Güllegabe (10 m³ im Frühjahr und 15 m³ nach dem ersten Schnitt) verglichen werden. Eine dritte Variante wurde nicht gedüngt, um die Nährstoffnachlieferung aus dem Bodenvorrat abschätzen zu können. Auf derselben Fläche wurden vom 17.4. bis zum 3.7.2023 wöchentlich Ertrags- und Nährstoffhebungen der Aufwüchse durchgeführt. Da jedoch der Grundwasserstand für diesen Versuch leider nicht wie erwartet angehoben werden konnte, wurden für diesen Bericht andere Auswertungen priorisiert.

3.1.3 Erhebungen und statistische Auswertung (LfL)

Die Beerntung der Partzenversuche an der Versuchstation Karolinenfeld fand mit der in Tabelle 3.4 aufgeführten Methodik/Technik statt.

Tabelle 3.4: Abmessung der Versuchsparzellen sowie die zur Beprobung eingesetzte Technik für die Saatgutmischungsversuche

Versuch	Bestandsentwicklung	Schnittregime
Parzellengröße	24 m ² (4*6 bzw. 3*8 m)	24 m ² (4*6 m)
Erntefläche in m²	9,6 bzw. 12,8 m ²	18 m ²
Grundgerät Mähen	Agria 5500 KL	Brielmaier Typ 29
Mähwerk	Doppelmesser	Doppelmesser
Arbeitsbreite	1,6 m	3,0 m
Schnitthöhe	8 cm	10 cm
Technik Bergen	Rechen (manuell)	Seeber AllroundMax.

Unmittelbar nach dem Mähen des Parzellenkernstücks (Erntefläche) zur Vermeidung von Randeffekten wurde das geerntete Grünut auf PVC-Planen gesammelt und die Frischmasse per Wiegung (elektronische Hängewaage) bestimmt. Es folgte eine Probennahme von exakt 2000 g zur Bestimmung der **Trockenmasse** (Vortrocknung in der Heutrocknung der LfL in Freising, Zerkleinerung, Teilprobenahme von 2 x 100g des vorgetrockneten Materials und Endtrocknung im Trockenschrank bei 105 °C für drei Stunden) sowie eine Probenahme von ca. 800 g Frischmasse (abgepackt in verschlossenem Foliensack, kühlgehalten) zur Analyse im LfL-Labor in Grub (AL3 Analytik von Futtermitteln) möglichst am auf die Ernte folgenden Tag. Die Analysen umfassten eine erweiterte **Weender Analyse** mittels Nahinfrarotspektroskopie (NIRS). Zusätzlich wurden für den Versuch „*Bestandsentwicklung*“ die **Mineralstoffgehalte** Ca, P, Na, K, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe, S, Cl mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) untersucht.

Vor dem ersten Schnitt jeden Jahres wurden die **Ertragsanteile** aller Gefäßpflanzenarten in Prozent (%) mit der Methode nach Klapp und Stählin (1936) geschätzt. Ebenfalls wurde der **Blattflächenindex (LAI)** der Pflanzenbestände in den Versuchsparzellen mit einem dafür angeschafften Messgerät bestimmt. Aus den gewonnen LAI-Ergebnissen konnten aber keine speziellen weiteren Erkenntnisse zur landwirtschaftlichen Nutzung von Grünlandbeständen im Moor abgeleitet werden. Daher wurde auf eine Verrechnung und Darstellung dieser Daten verzichtet.

Nach jedem Schnitt und im Frühjahr wurde die **Scherfestigkeit** mit einer 15,2 cm langen und 7,6 cm breiten Flügelsonde (H70, GEONOR Inc.) an drei zufälligen Stellen in jeder Versuchsparzelle gemessen. Sie dient als Indikator für die Tragfähigkeit der Grasnarbe (Tölle, Prochnow und Kraschinski, 2000).

Die **statistische Auswertung** der Versuche erfolgte mit SAS Studio 3.82 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Anhand von Gemischten Linearen Modellen wurden zunächst Haupteffekte der Versuchsfaktoren Bestandstyp bzw. Schnittregime und Wasserstufe sowie deren Wechselwirkung geprüft. Dabei wurden Messwiederholungen im selben Versuchsglied und die Designeffekte der Spaltanlage mit einer entsprechenden Kovarianzstruktur abgebildet. Die entwicklungsbedingten Veränderungen der Pflanzenbestände und deren Aufwüchse nach der Wasserstandsanhhebung konnten, unter Berücksichtigung des Jahres als festem Effekt, interpretiert werden. Zur Validierung der Ergebnisse wurde der Faktor Wasserstufe durch den Jahresmittelwert für den Grundwasserstand unter Geländeoberkante ersetzt. Die Datenvoraussetzungen wurden mit Residuendiagrammen überprüft. Für die Mittelwertvergleiche wurde Fisher's LSD-Test herangezogen. Als statistisches Signifikanzniveau wurde $p < 0,05$ gewählt.

Zur grafischen Darstellung der durch den Grundwasserstand hervorgerufenen Effekte wurde die Prozedur GLM verwendet. Dabei wurde für die jeweiligen Parameter ein Mittelwert der in das Modell einbezogenen Zeitpunkte gebildet und das optimale Polynom der Regression ermittelt.

3.1.4 Veränderung der Bestandszusammensetzung nach der Wasserstandsanhhebung (LfL)

Durch die Neuansaat unter entwässerten Bedingungen konnten Pflanzenbestände an der Versuchstation Karolinenfeld mit einer in etwa den Mischungsanteilen entsprechenden Artenzusammensetzung etabliert werden (Zwack et al., 2021).

In den drei Jahren 2021 bis 2023 nach der Wasserstandsanhhebung blieben die Ertragsanteile in den frischen bis mäßig trockenen Bereichen (*Wasserstufe T*) relativ konstant (Abbildung 3.4, links). Die mittlere Veränderung von etwa 30 % ist unter Berücksichtigung von Jahreseffekten und Schätzfehlern als gewöhnlich für einen Grünlandbestand in den ersten Jahren nach der Etablierung auf diesem Standort zu interpretieren.

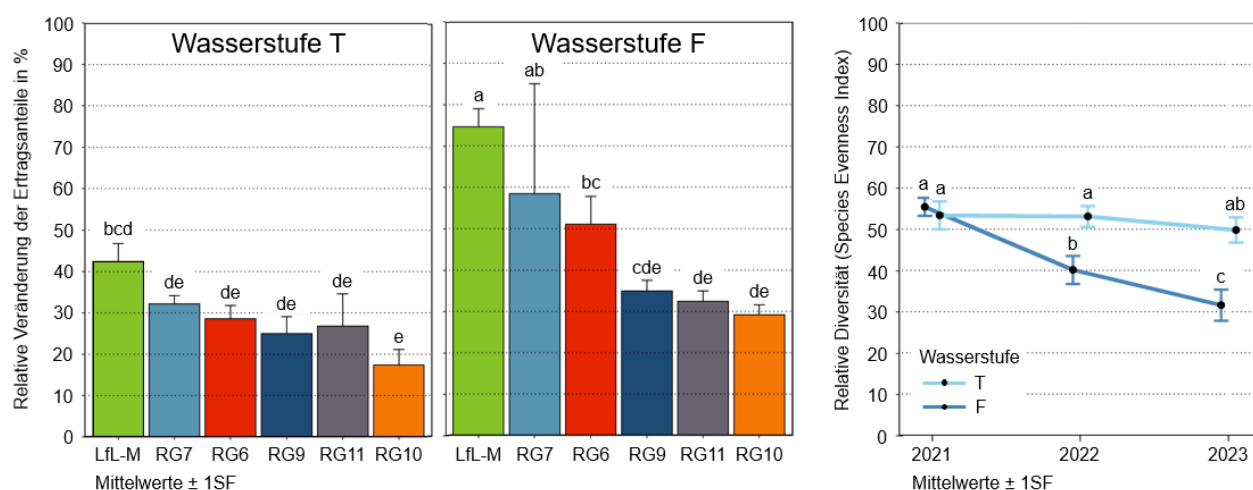


Abbildung 3.4: Relative Veränderung der Ertragsanteile vor dem ersten Schnitt zwischen den Jahren 2021 und 2023 (links) sowie die Entwicklung der Relativen Diversität der Pflanzenbestände (rechts; SF = Standardfehler). Je stärker einzelne Arten dominieren, umso mehr tendiert der Index gegen Null. Unterschiedliche Kleinbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede der Mittelwerte.

In den von der Wasserstandsanhebung betroffenen Bereichen (*Wasserstufe F*) zeigten die Bestände aus der Saatgutmischung LfL-M die deutlichste Veränderung. Nach drei Jahren unter feuchten bis mäßig feuchten Bedingungen nahmen die Ertragsanteile für diesen Bestandstyp insgesamt um 70 % zu bzw. ab (Abbildung 3.4, links; Wasserstufe F). Diese starke Plastizität war beabsichtigt. Die artenreiche Mischung kann sich damit gut an die jeweiligen Standortbedingungen anpassen.

Nach drei Jahren seit der Wasserstandsanhebung zeigte sich bei der Saatgutmischung LfL-M folgendes Bild: Bei einem Grundwasserstand von etwa 30 bis 50 cm unter Geländeoberkante im Jahresmittel kamen Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*) und Wiesenfuchschwanz (*Festuca pratensis*) in ähnlichen Anteilen nebeneinander vor. Dagegen bewies das Rohrglanzgras in den feuchten Bereichen die mit Abstand größte Konkurrenzkraft. Eine wichtige Erkenntnis daraus war für die Komposition von Mischungen: Wenn andere Futtergräser wie z. B. der Rohrschwengel (*Festuca arundinacea*) unter feuchten bis nassen Standortbedingungen dauerhaft im Pflanzenbestand vertreten sein sollen, ist es ratsam, auf das Rohrglanzgras in Saatgutmischungen gänzlich zu verzichten.

Auch die Bestandstypen RG6 und RG7 waren im Vergleich zur ersten Erhebung im Jahr 2021 kaum wiederzuerkennen, weil Weißklee, Wiesenrispe, Deutsches Weidelgras und Weißes Straußgras unter dem Einfluss von Grund- und Stauwasser nahezu vollständig verschwanden. Die offenen Bodenstellen wurden rasch besiedelt, vor allem von Arten aus der Bodensamenbank oder durch Diasporeneintrag (Abbildung 3.5). Dabei handelte es sich meistens um futterbaulich minderwertigere bzw. nicht verwertbare Arten wie z.B. die Flatterbinse.





Abbildung 3.5: Pflanzenbestände ohne bzw. mit einem zu geringen Anteil an nassetoleranten Futtergräsern (RG6 oben, RG7 unten) waren in feuchten bis mäßig feuchten Bereichen nicht mehr als Futter verwertbar (abgestorbenes, nicht erntbares Pflanzenmaterial).

Es zeigte sich anhand des Versuchs deutlich, dass Saatgutmischungen, die zwar als „moortauglich“ bezeichnet werden, aber nicht speziell auf hohe Grundwasserstände abgestimmt sind, in solchen Fällen für den Saatguteinsatz ungeeignet sind.

Die trotz des Einflusses von Grund- und Stauwasser (siehe Abbildung 3.4, links, *Wasserstufe F*) wenig veränderten Pflanzenbestände der Mischungen RG9 (Leitgras Rohrglanzgras), RG10 (Leitgras Wiesenfuchsschwanz) und RG11 (Leitgras Rohrschwengel) werden anhand von Abbildung 3.6 in ihrer Zusammensetzung näher betrachtet.

Durch den Einfluss von Grund- und Stauwasser verringerte sich die relative Diversität der Pflanzenbestände (Abbildung 3.4, rechts). Der sogenannte Species Evenness Index beschreibt die Dominanzstruktur zwischen den Arten. Eine Gleichverteilung der Ertragsanteile führt zu einer maximalen Relativen Diversität. Der Index tendiert gegen Null je stärker eine oder wenige Arten dominieren (Traxler, 1997). Die Abnahme in feuchten bis mäßig feuchten (*Wasserstufe F*) Bereichen ist mit einem höheren Konkurrenzdruck in der kleiner werdenden durchwurzelbaren bzw. durchlüfteten Bodenschicht zu erklären. In der Regel wurde die Grasnarbe lückiger und die am besten angepasste Pflanzenart dominant (siehe auch Abbildung 3.6).

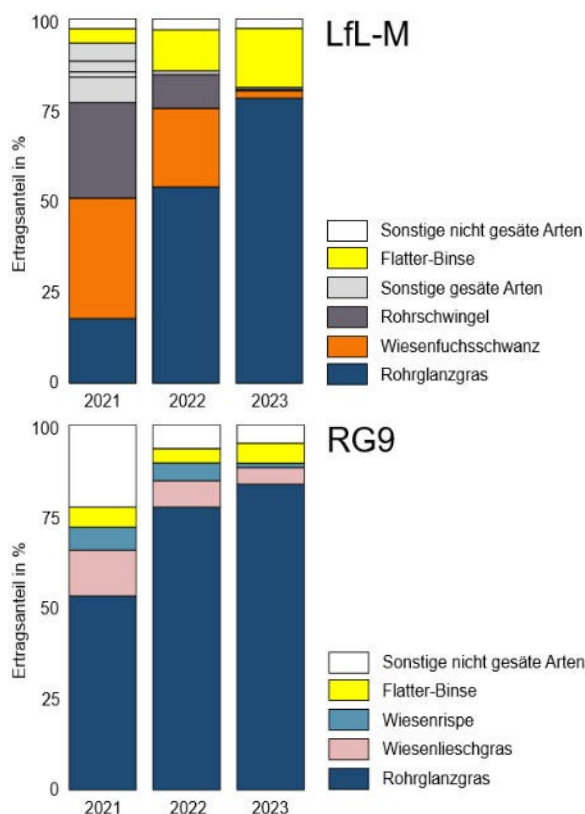
Eine für die Praxis wichtige Erkenntnis des Versuchs war somit: Vor der Wasserstandsanhhebung sollte in Hinblick auf den beabsichtigten künftigen Verwendungszweck besonders auf die geeignete Leitart in der Altnarbe bzw. auf deren Auswahl bei Maßnahmen der Nachsaat oder Neuansaat geachtet werden. Sobald sich nämlich die Grasnarbe unter den zukünftigen Standortbedingungen etabliert hat, ist eine Veränderung der Bestandszusammensetzung nur mit wesentlich größerem Aufwand, z. B. mit umbrechenden Verfahren, zu erreichen.

Im Versuch in Karolinenfeld hatte sich das *Rohrglanzgras* (*Phalaris arundinacea*) unter den zu prüfenden Futtergräsern in feuchten bis mäßig feuchten Bereichen als die konkurrenzstärkste Art erwiesen. Durch den höheren Anteil in der Saatgutmischung RG9 (59 %, siehe Tabelle 3.1) im Vergleich zur LfL-M (10 %) konnten dadurch auch ungern gefressene bzw. nicht als Futter verwertbare Arten wie die Flatter-Binse von Beginn an besser zurückgehalten werden.

Wenn der *Wiesenfuchsschwanz* (*Alopecurus pratensis*) als Leitgras etabliert werden soll (siehe RG 10, Abbildung 3.6), muss auf das Rohrglanzgras verzichtet werden. Ansonsten

wird der Wiesenfuchsschwanz verdrängt. Allerdings fehlte im Versuch in Karolinenfeld unter diesen Umständen bei der Mischung RG 10 ein begleitendes weiteres Obergras (siehe Tabelle 3.1 sowie Abbildung 3.6), was zu starker Lagerneigung der Bestände von RG10 führte.

Auch der *Rohrschwinkel* (*Festuca arundinacea*) konnte sich aufgrund seiner bekanntermaßen langsamen Jugendentwicklung nur unter Abwesenheit von Rohrglanzgras dauerhaft im Bestand RG11 (siehe Abbildung 3.6) halten. Aufgrund der nässebedingt geringen Wuchshöhe und einem daher hohen Blatt bzw. geringem Stängelanteil (Blatt-Stängel-Verhältnis hoch) scheint dieser von Rohrschwinkel dominierte Bestandstyp gut geeignet für die unter diesen Standortbedingungen notwendige Elastizität hinsichtlich des Schnittzeitpunktes und der Schnitthäufigkeit.



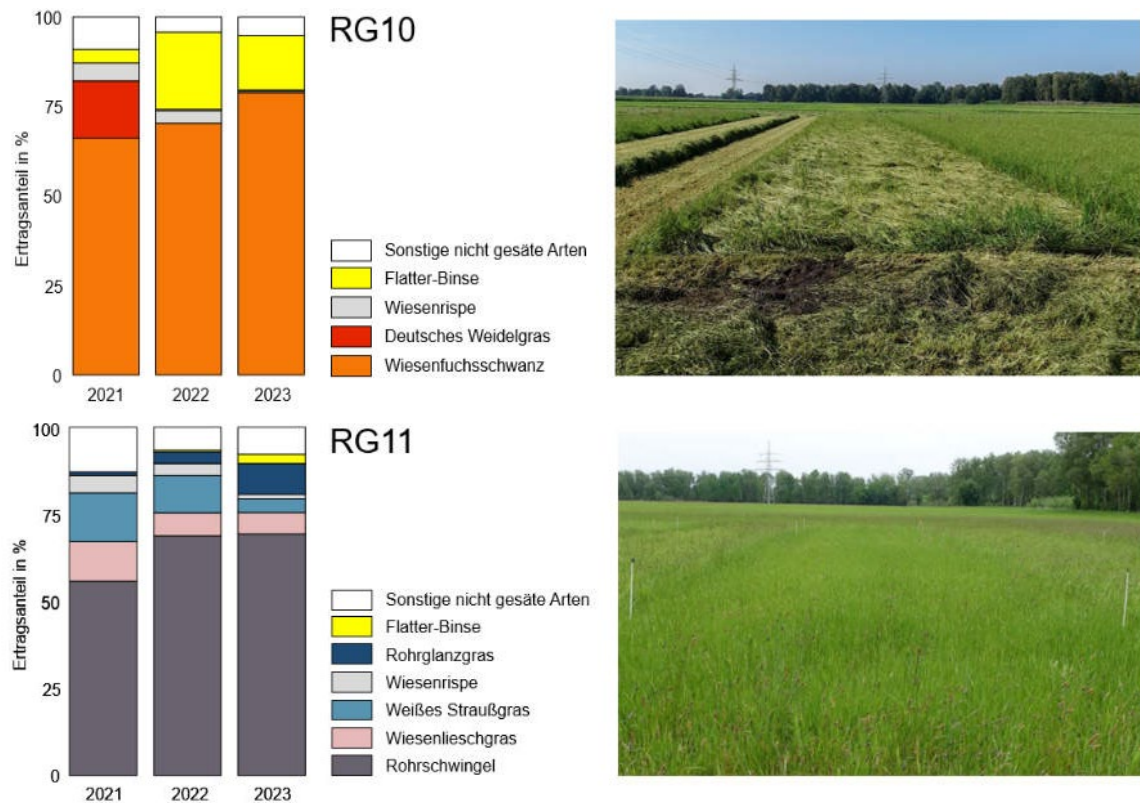


Abbildung 3.6: Entwicklung der Pflanzenbestände unterschiedlicher Saatgutmischungen mit nassetoleranten Leitgräsern in feuchten bis mäßig feuchten Bereichen in den Jahren 2021-2023.

3.1.5 Scherfestigkeit der Grasnarbe (LfL)

Die Artenzusammensetzung der Pflanzenbestände hatte einen Einfluss auf die Tragfähigkeit der Grasnarbe. In den von der Wasserstandsanhebung beeinflussten Bereichen führte ein größerer Ertragsanteil von Wiesenfuchsschwanz bzw. Rohrglanzgras zu einer höheren Scherfestigkeit (Abbildung 3.7). Alle weiteren Futtergräser aus den Saatgutmischungen zeigten diesen Zusammenhang beim Versuch in Karolinenfeld nicht. Der Vergleich der Scherfestigkeiten bei Ernteterminen unter nassen Bedingungen (Abbildung 3.8) zeigt konsistent höhere Scherfestigkeiten der Mischungen mit Rohrglanzgras (RG9) oder Rohrschwengel (RG11) gegenüber der nicht nasseangepassten Mischung RG7.

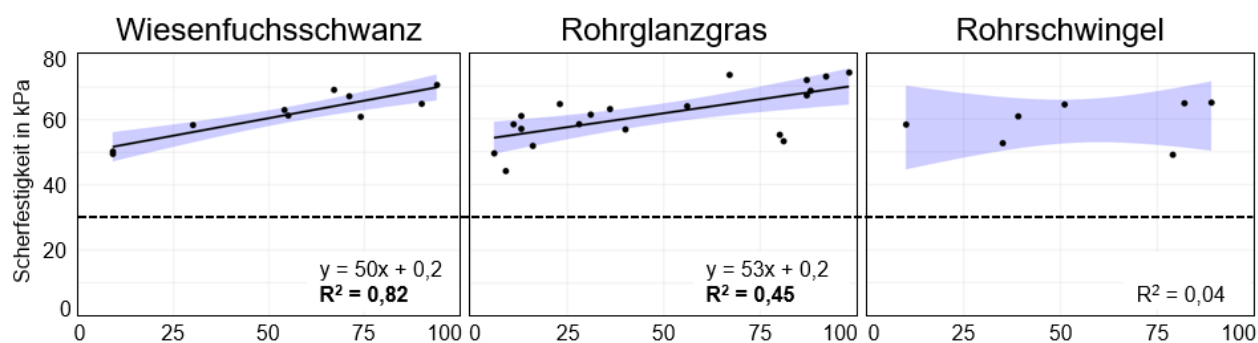


Abbildung 3.7: Zusammenhang zwischen der gemessenen Scherfestigkeit (y-Achse) und dem Ertragsanteil (x-Achse, %) der als nassetolerant bewerteten Futtergräser.

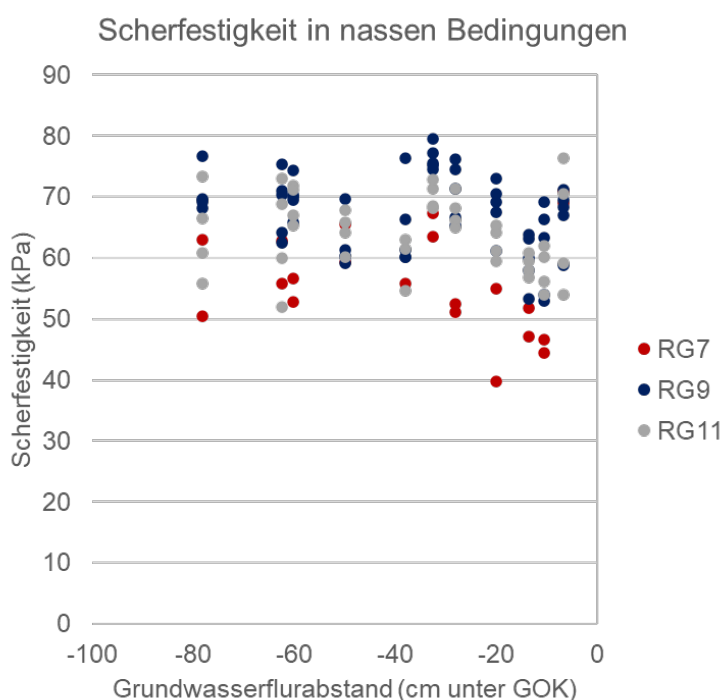


Abbildung 3.8: Gemessene Scherfestigkeiten ausgewählter Grünlandmischungen bei Ernteterminen unter nassen Bedingungen

Dadurch ergab sich in der letzten und am stärksten differenzierten Messkampagne über das Jahr 2023 eine höhere Scherfestigkeit (mittlere Werte 67, 66 und 64 kPa) in den Bestandstypen von RG10 mit Leitgras Wiesenfuchsschwanz (siehe auch Abbildung 3.6) sowie LfL-M und RG9 mit Leitgras Rohrglanzgras im Vergleich zu den Bestandstypen von RG6 und RG7 und RG11 (55, 53, 60 kPa).

Allerdings wurde die laut Prochnow et al., 1999 für einen leichten Standardtraktor mit 52 kW Leistung erforderliche Scherfestigkeit von mehr als 29–31 kPa (Strichlinie in Abbildung 3.7) beim Versuch auf dem Standort Karolinenfeld zu fast keinem Zeitpunkt von einem der geprüften Bestände unterschritten. Dies ist aber vermutlich vor allem auf den großen Beitrag des degradierten Oberbodenhorizonts mit einer hohen Lagerungsdichte zurückzuführen.

3.1.6 Erträge und Futterqualität (LfL)

Trockenmasse (TM)-Ertrag

In der von der Wasserstandsanhebung betroffenen Bodensenke war der TM-Ertrag geringer als in den frischen bis mäßig trockenen Randbereichen, weil die im besten Fall nur noch aus Obergräsern zusammengesetzten Bestände deutlich lückiger waren. Unter dem Einfluss von Grund- und Stauwasser erzeugten die Bestände LfL-M und RG9 mit einem hohen Anteil an Rohrglanzgras tendenziell die höchsten TM-Erträge (siehe Wasserstufe F in Tabelle 3.5, Abbildung 3.9).

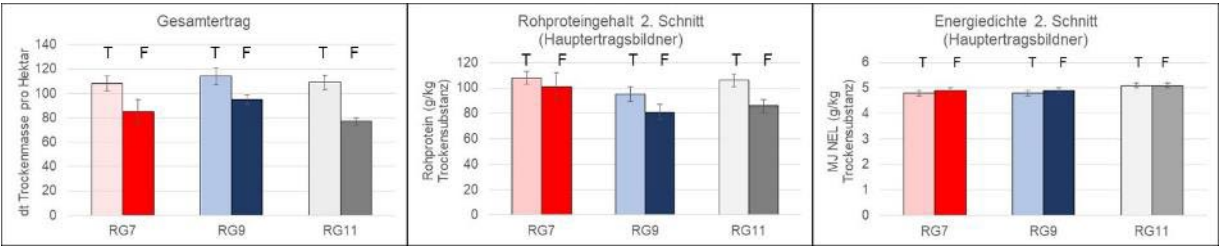


Abbildung 3.9: Gesamtertrag (links), Rohproteingehalt des 2. Schnitts (Mitte) und Energiedichte des 2. Schnitts (rechts) drei ausgewählter Mischungen bei Wasserstufe T: frisch-feuchte Bereiche; Wasserstufe F: feucht-nasse Bereiche

Der zweite Aufwuchs trug bei dem gewählten bzw. aufgrund der Standortbedingungen erforderlichem Schnittregime bei allen geprüften Varianten knapp zur Hälfte des Jahresertrages bei. Demzufolge können auf Standorten mit einem angehobenem Grundwasserstand auch in niederschlagsarmen Jahren sichere Erträge erwartet werden. Allerdings unterscheidet sich die Verteilung des Jahresertrages in Karolinenfeld deutlich vom Durchschnitt bayrischer Dreischnittwiesen, bei denen der zweite Aufwuchs nur rund 30 % zum des Jahresertrags beiträgt (LfL, 2016). Der tendenziell große Ertragsunterschied von RG11 zwischen den beiden Wasserstufen (29 %) zeigt, dass sich der Rohrschwengel in feuchten bis mäßig feuchten Bereichen deutlich außerhalb seines Ertragsbildungsoptimums befindet. Als Reaktion blieben die Bestände niedrigwüchsiger und daher blattreicher.

Tabelle 3.5: Gesamterträge pro Jahr und Erträge der einzelnen Aufwüchse der Bestandstypen in dt TM/ha (Mittelwerte der vollständig wiedervernässten Jahre 2022 und 2023 ± Standardfehler des Mittelwerts). GD = Grenzdifferenz (LSD-Test 5 %) zwischen den Bestandstypen und Wasserstufen. Signifikante Unterschiede zwischen einzelnen Mischungen liegen dann vor, wenn deren Ertragsdifferenz größer als die GD ist; ein „-“ bedeutet: Kein signifikanter Unterschied zwischen den Bestandstypen; Wasserstufe T: frisch-feuchte Wasserstufen. Wasserstufe F: feucht-nasse Bereiche

Wasserstufe	Aufwuchs	LfL-M	RG6	RG7	RG9	RG10	RG11	GD
-------------	----------	-------	-----	-----	-----	------	------	----

T	Σ	103 ± 4	98 ± 4	108 ± 6	114 ± 7	92 ± 5	109 ± 6	16
	1	36 ± 1	37 ± 2	37 ± 4	41 ± 5	34 ± 2	34 ± 2	-
	2	42 ± 1	39 ± 3	51 ± 5	49 ± 5	37 ± 1	50 ± 3	9
	3	25 ± 4	21 ± 3	20 ± 4	23 ± 3	22 ± 4	24 ± 4	-
F	Σ	98 ± 4	88 ± 3	85 ± 10	95 ± 4	82 ± 13	77 ± 3	18
	1	33 ± 3	27 ± 3	26 ± 3	26 ± 3	24 ± 5	23 ± 3	-
	2	45 ± 7	42 ± 3	43 ± 2	50 ± 3	37 ± 5	39 ± 3	-
	3	21 ± 5	19 ± 2	16 ± 5	19 ± 3	20 ± 5	15 ± 3	-

Im Mittel aller sechs Mischungen nahm der Ertrag in den feuchten bis mäßig feuchten Bereichen gegenüber den trockeneren Randbereichen um rund 15 % ab (Tabelle 3.5; Abbildung 3.9).

Hinweis: Bei der Interpretation der in Tabelle 3.5 genannten (TM)-Erträge ist zu berücksichtigen, dass es sich hier um im Versuch erzielte Brutto-Erträge, also um TM-Erträge bei verlustfreier Ernte (d.h. keine Werbungsverluste) handelt. Ebenfalls ist zu berücksichtigen, dass es sich um noch relativ neu etabliertes Grünland (Ansaat Herbst 2019) handelt, dessen Ertragsniveau erfahrungsgemäß i.d.R. deutlich höher liegt als das Brutto-Ertragsniveau (durchschnittlich knapp 90 dt TM/ha; LfL, 2016) von langjährig etabliertem Dauergrünland mit drei Nutzungen pro Jahr.

N-Ertrag (N-Abfuhr und N-Gehalt)

Der N-Ertrag eines Schnittes ist das Produkt aus dessen TM-Ertrag und N-Gehalt (Abbildung 3.9, Tabelle 3.5). Letzterer lässt sich aus dem Rohprotein (XP)-Gehalt errechnen ($\text{N-Gehalt} = \text{XP-Gehalt}/6,25$). Unter Verwendung der in Tabelle 3.5 (TM-Erträge) sowie Tabelle 3.6 (XP-Gehalte) aufgeführten Daten ergab sich bei verlustloser Ernte ein mittlerer Brutto-N-Ertrag von 195 kg N/ha bei *Wasserstufe T*. Bei den grund- bzw. stauwasserbeeinflussten Parzellen (*Wasserstufe F*) wurden dagegen nur rund 136 kg N/ha abgefahren. Daraus ermittelte sich eine um rund 30 % geringere N-Abfuhr bei wiedervernässtem Grünland.

Ebenfalls zeigte sich, dass die mittleren spezifischen N-Gehalte von 1,88 (*Wasserstufe T*) bzw. 1,54 kg N/dt TM (*Wasserstufe F*) deutlich unter den in den bayerischen Basisdaten (LfL, 2022) genannten N-Gehalten für Wiesen mit drei- und mehrmaliger Nutzung pro Jahr (2,56 kg N/ha) lagen, sondern sich vielmehr im Bereich zwischen Streuwiesen (1,28 kg N/dt TM) und Extensivwiesen mit 1-2 Nutzungen pro Jahr (1,82 kg N/dt TM) bewegten.

Futterqualität

Aufgrund der feuchten Bodenverhältnisse bietet es sich an, den Aufwuchs als Grassilage zu konservieren. Eine große Herausforderung ist es daher auch, die Verschmutzung des Futters bei der Ernte gering zu halten. Voraussetzung für die Verfütterung ist eine gute Gärqualität

sowie eine gute hygienische Beschaffenheit. Da Pferde noch empfindlicher auf die mikrobiologische Qualität des Futters reagieren, ist eine Verfütterung von Moor-Aufwüchsen an Pferde als kritisch zu betrachten.

In Tabelle 3.6 bis Tabelle 3.10 sind die Inhaltsstoffe (Tabelle 3.6, Tabelle 3.8, Tabelle 3.9, Tabelle 3.10) sowie die Energiegehalte (Tabelle 3.7) der einzelnen Schnitte für die einzelnen Mischungen und Wasserstufen dargestellt. Dabei handelt es sich um Frischgrasproben. Zur Beurteilung der Werte werden die Orientierungswerte für gute Grassilagen herangezogen. Diese gelten für die Fütterung an große und kleine Wiederkäuer. Bei der Einschätzung ist zu berücksichtigen, dass sich die Gehalte in den Frischgrasproben im Silierprozess noch verändern. Zum Beispiel ist der Energiegehalt in Frischgras höher als in Grassilage, da für die Milchsäurebildung Energie benötigt wird.

Rohasche

Bei allen Versuchparzellen gelang es, Grüngut mit nur sehr geringen Rohaschegehalten (ca. 60-80 g/kg TM) zu ernten. Dies ist ein Indiz für eine sehr geringe Futterverschmutzung (Ziel sind RA-Gehalte unter 100 g/kg TM), also das Ergebnis optimaler Bodenverhältnisse bei der Ernte sowie vor allem einer sauberen Erntetechnik im Versuch mit dem Doppelmesser-Balkenmäher. Zudem wurde das Erntegut auf Planen verbracht. Auf die Darstellung einzelner Ergebnisse wird daher verzichtet.

Struktur (ADFom)

Zur Beurteilung der Struktur (Zellwandbestandteile) wurde früher die Rohfaser herangezogen. Da diese jedoch nur Teile von Hemicellulosen, Cellulose und Lignin enthält, werden heute zur Beurteilung von Grobfuttermitteln wie z.B. Grassilage, Heu, etc. die genaueren Faserfraktionen ADFom bzw. aNDFom betrachtet. Die Abkürzung ADFom (Acid Detergent Fibre organic matter) bedeutet aschefreier Rückstand nach Behandlung mit sauren Lösungsmitteln und enthält die schwerverdauliche Cellulose und das unverdauliche Lignin vollständig.

Der ADFom-Gehalt zeigt zunächst, ob der Schnittzeitpunkt richtig gewählt wurde. Bei Grassilagen des 1. Schnitts sollte der ADFom-Gehalt unter 260 g/kg TM liegen, bei den Folgeschnitten unter 280 g/kg TM. Höhere Gehalte deuten auf eine fortgeschrittene Alterung der Gräser hin, was den Energiegehalt der Silage senkt. Die analysierten ADFom-Gehalte zeigen, dass der optimale Schnittzeitpunkt aufgrund der feuchten Bodenverhältnisse lediglich beim dritten Schnitt in einigen Bestandstypen realisiert werden konnte.

Aufgrund der Materialeigenschaften ist die Verdichtbarkeit im Fahrsilo erschwert und damit die Gefahr von Nacherwärmung und Schimmelbildung erhöht. Um Futterverluste zu verringern bietet sich daher das Prinzip der Rundballensilage an. Wichtig ist hierbei eine ausreichende Anzahl an Wicklungen (mindestens 8). Gleichzeitig lassen sich hierbei verschiedene Qualitäten besser sortieren und gezielt in der Fütterung einsetzen.

Tabelle 3.6: Inhaltsstoffe der von den Bestandstypen genommenen Frischgrasproben (Mittelwerte der vollständig wiedervernässten Jahre 2022 und 2023 $\pm$ Standardfehler des Mittelwerts. GD = Grenzdifferenz zwischen den Bestandstypen der jeweiligen Aufwüchse. Es lag kein Unterschied zwischen den Bestandstypen für die mit „-“ markierten Aufwüchsen vor. Wasserstufe T/F: frisch-feuchte/feucht-nasse Bereiche

Parameter	Wasserstufe	Aufwuchs	LfL-M	RG6	RG7	RG9	RG10	RG11	GD
-----------	-------------	----------	-------	-----	-----	-----	------	------	----

ADF _{om} g/kg TM	T	1	356 ± 5	347 ± 8	336 ± 9	349 ± 9	357 ± 7	332 ± 8	-
		2	356 ± 7	342 ± 7	352 ± 9	361 ± 5	355 ± 6	342 ± 7	-
		3	289 ± 7	281 ± 9	276 ± 6	276 ± 8	320 ± 2	288 ± 7	40
	F	1	375 ± 4	356 ± 8	328 ± 25	368 ± 9	373 ± 7	313 ± 10	29
		2	365 ± 6	350 ± 12	358 ± 19	362 ± 7	358 ± 12	337 ± 12	-
		3	300 ± 11	301 ± 12	312 ± 18	284 ± 9	326 ± 5	275 ± 5	23
Roh- protein g/kg TM	T	1	97 ± 4	110 ± 6	116 ± 8	109 ± 6	99 ± 4	103 ± 6	12
		2	108 ± 4	131 ± 7	108 ± 5	95 ± 6	120 ± 8	106 ± 5	30
		3	142 ± 5	150 ± 6	163 ± 9	152 ± 8	144 ± 6	133 ± 7	-
	F	1	80 ± 6	97 ± 6	85 ± 6	84 ± 3	80 ± 5	74 ± 5	12
		2	81 ± 10	121 ± 6	101 ± 11	81 ± 6	106 ± 18	86 ± 5	39
		3	120 ± 11	134 ± 6	129 ± 7	121 ± 5	111 ± 6	87 ± 5	31
Zucker g/kg TM	T	1	128 ± 9	129 ± 5	132 ± 10	116 ± 8	130 ± 12	156 ± 10	-
		2	119 ± 6	090 ± 6	125 ± 8	166 ± 14	80 ± 3	141 ± 6	41
		3	165 ± 8	139 ± 11	133 ± 9	182 ± 9	095 ± 5	162 ± 11	27
	F	1	132 ± 8	130 ± 9	179 ± 33	116 ± 10	124 ± 6	240 ± 15	63
		2	177 ± 23	103 ± 15	123 ± 13	193 ± 17	94 ± 10	195 ± 26	69
		3	188 ± 16	155 ± 24	149 ± 18	218 ± 10	112 ± 18	220 ± 34	57

Rohprotein (XP)

Vor allem in den feuchten bis mäßig feuchten Bereichen (*Wasserstufe F*) fielen die Aufwüchse durch sehr niedrige Rohproteingehalte auf (Tabelle 3.6, Abbildung 3.9). Hier lagen die Werte beim ersten Aufwuchs um 22 %, dagegen bei den beiden Folgeaufwüchsen um 14 % bzw. 20 % unter den jeweiligen Werten der *Wasserstufe T*.

Jedoch liegen die Rohproteingehalte aller Aufwüchse (Spannweite zwischen 36 Kombinationen Mischung/Aufwuchs: 74-163 g XP) meist weit unter den gewünschten Orientierungswerten für gute Grassilagen (160 XP/kgTM beim ersten Schnitt bzw. 180 g XP bei Folgeschnitten). Ursachen dafür können die Bestandszusammensetzung, vor allem aber das physiologische Alter (Schnittzeitpunkt) sowie zusätzlich die fehlende Düngung vor dem ersten Schnitt sein. Im Vergleich zu den in Karolinenfeld gemessenen Rohproteingehalten (siehe Tabelle 3.6 und Tabelle 3.11) lagen bei rund 130 anderen bayerischen Dreischnittwiesen (LfL, 2016) die mittleren XP-Gehalte des ersten, zweiten und dritten Schnittes mit 132, 135 und 155 g XP/kg TM deutlich höher.

In der Rinderfütterung haben die Frühluttensteher und Vorbereiter sowie Jungvieh ab dem 9. Lebensmonat den geringsten Proteinbedarf. Dennoch liegen die Gehalte der ersten und zweiten Schnitte meist unter deren Bedarf. Die XP-Gehalte in den dritten Schnitten sind teilweise auch für die Fütterung von laktierenden Kühen geeignet. Aufgrund der stark unterschiedlichen Gehalte sollte zur Vermeidung einer Unterversorgung eine Futteruntersuchung durchgeführt und ggf. Eiweißkomponenten zugefüttert werden.

Energie

Der augenscheinlich höhere Blattanteil der Pflanzenbestände RG11 führte oft zu Aufwüchsen mit dem in feuchten bis mäßig feuchten Bereichen geringsten ADF_{om}-Gehalt (siehe Tabelle 3.6). und damit zu einer höheren Energiedichte (Tabelle 3.7, Abbildung 3.9). Nur für diesen Bestandstyp mit dem Rohrschwingel als Leitgras wurde in den von der Wasserstandsanhhebung betroffenen Bereichen (*Wasserstufe F*) stets eine tendenziell höhere Energiedichte als unter frischen bis mäßig trockenen Standortbedingungen (*Wasserstufe T*) gemessen.

In die Energieschätzgleichung für Gras-Futtermittel fließen die Parameter Rohasche, Rohprotein, Rohfett, Gasbildung und ADF_{om} ein. Die Gehalte an ADF_{om} und Rohasche wirken sich negativ auf den Energiegehalt aus, d.h. je höher der ADF_{om}- und Rohasche-Gehalt ist, desto niedriger ist der Energiegehalt.

Die Energiegehalte aller Aufwüchse liegen weit unter den gewünschten Orientierungswerten für gute Grassilagen, die Zielwerte sind hier mindestens 6,4 MJ NEL beim ersten Schnitt und mindestens 6,1 MJ NEL bei den Folgeaufwüchsen. Zudem wird im Silierprozess noch Energie verbraucht, was zu geringeren Energiegehalten in der Silage führen wird. Die Energiegehalte sind zwar gering, liegen aber noch deutlich höher als die des Stroh (ca. 3,3 - 3,7 MJ NEL/kg TM).

Tabelle 3.7: Energiegehalte der von den Bestandstypen genommenen Frischgrasproben (Mittelwerte der vollständig wiedervernässten Jahre 2022 und 2023 ± Standardfehler des Mittelwerts). GD: Grenzdifferenz, siehe Anmerkung vorige Tabellen

Parameter	Wasserstufe	Aufwuchs	LfL-M	RG6	RG7	RG9	RG10	RG11	GD
	T	1	5,0 ±,1	5,3 ±,1	5,4 ±,1	5,2 ±,1	5,0 ±,1	5,4 ±,1	-
		2	4,9 ±,1	5,0 ±,1	4,8 ±,1	4,8 ±,1	4,8 ±,2	5,1 ±,1	-

Energie MJ NEL /kg TM	F	3	5,7 ±,1	5,8 ±,1	5,9 ±,04	5,9 ±,1	5,3 ±,03	5,8 ±,1	0,3
		1	4,9 ±,1	5,1 ±,1	5,4 ±,1	5,0 ±,1	4,7 ±,1	5,6 ±,1	0,4
		2	4,8 ±,1	5,0 ±,1	4,9 ±,2	4,8 ±,1	4,8 ±,2	5,3 ±,1	-
		3	5,8 ±,1	5,6 ±,1	5,5 ±,2	5,8 ±,1	5,2 ±,01	5,9 ±,1	0,5

Aufgrund der geringen Rohprotein- und Energiegehalte, sowie der hohen ADFom-Gehalte können die Futtermittel aus der Tabelle 3.6 und Tabelle 3.7 in der Fütterung von laktierenden Milchkühen lediglich als Strukturergänzung (Strohersatz) verwendet werden. Auch in der Trockensteherfütterung reichen die Energiegehalte häufig nicht zur Bedarfsdeckung aus. Daher ist eine Futteruntersuchung und Rationsergänzung sinnvoll. Ein Nachbarbetrieb der Versuchsstation Karolinenfeld konnte die Aufwüchse bereits vorteilhaft als Strukturergänzung bei der Fütterung von Milchkühen einsetzen.

Zucker

Zucker wird im Silierprozess benötigt, damit ausreichend Milchsäure gebildet werden kann. Daher sollte in den Frischgrasproben mindestens 60 g Zucker/kg TM enthalten sein. Bei niedrigeren Gehalten erhöht sich das Risiko für Fehlgärungen.

Insbesondere bei den Aufwüchsen des Bestandstyps RG11 war der Zuckergehalt unter Wassereinfluss hoch (Tabelle 3.6). Grund dafür könnten das gehemmte Wachstum sein, wodurch die Umsetzung des in der Pflanze angereicherten Zuckers ausbleibt.

Mineralstoffe

Die Untersuchung der Mineralstoffgehalte in den Frischgrasproben diente dazu, einen Überblick über die enthaltenen Mengen- und Spurenelemente der einzelnen Bestandstypen zu erhalten. In der Fütterung ist das Ziel, den Bedarf der gefütterten Tiere möglichst genau zu decken. Fehlende Mengen sollten durch ein passendes Mineralfuttermittel ausgeglichen werden, da sich sowohl eine Über- als auch eine Unterversorgung negativ auswirken kann. Die Mineralstoffgehalte der einzelnen Schnitte der verschiedenen Bestandstypen bei beiden Feuchtestufen sind in den Tabelle 3.8, Tabelle 3.9 und Tabelle 3.10 aufgeführt. Eine Wertung der Daten in Bezug auf Fütterungsaspekte sowie spezielle pflanzenbauliche Aspekte wird kurz nachfolgend versucht.

Phosphor

Die P-Gehalte nehmen vom ersten bis zum letzten Aufwuchs zu (Tabelle 3.8), was nicht ungewöhnlich ist (LfL, 2016). Die Höhe der Gehalte von meist deutlich über 3,0 g P/kg TM lässt auf eine ausreichende P-Versorgung der Bestände schließen und bewegt sich auf ähnlichem Niveau wie bei konventionellen Dreischnittwiesen (Diepolder und Raschbacher, 2016). Dies galt in Karolinenfeld auch für die Bestände mit Grundwasseranhebung und Überstau (*Wasserstufe F*), wenngleich bei diesen in den ersten beiden Schnitten um rund 11-12% sowie beim letzten Aufwuchs um rund 23% geringere P-Gehalte als bei frischfeuchten Standortbedingungen (*Wasserstufe T*) gemessen wurden.

Magnesium

Deutlicher fielen in der Tendenz die Unterschiede zwischen den Wasserstufen bei den Magnesiumgehalten aus (Tabelle 3.8. und Tabelle 3.11). Mit Ausnahme des ersten Schnittes

(hier durchschnittliche Gehalte von rund 1,5 g Mg/kg TM in Wasserstufe F) schien die Versorgung mit diesem Nährstoff durch Bodennachlieferung und Düngung allerdings gesichert. Laut Amberger, 1996 weisen Gehalte unter 2,0 g Mg/kg TM in grünen Pflanzenteilen auf eine mangelnde Mg-Versorgung der Pflanzenbestände hin, welche auch eine mangelnde Mg-Versorgung der Tiere durch das Grobfutter nachziehen kann und der durch entsprechende Mineralfutterergänzung begegnet werden sollte. Konventionelles bayerisches Grünland mit drei Schnitten pro Jahr weist im Durchschnitt rund 2,6 g Mg/kg TM auf, wobei die mittleren Gehalte vom ersten bis zum dritten Schnitt hin ansteigen (Diepolder und Raschbacher, 2017).

Eine kalium- und kalziumarme Fütterung vor der Kalbung steigert die Mobilisierung von Kalzium aus dem Skelett. Zur Milchfieberprophylaxe sollten drei Wochen vor der Kalbung max. 15 g K / kg TM und sowie max. 6 g Ca / kg TM in der Ration enthalten sein.

Kalzium

Auch bei diesem Mineralstoff zeigte der erste Aufwuchs niedrigere Werte als die Folgeschnitte (siehe hier Tabelle 3.11). Im Vergleich der sechs Bestandstypen (nicht eigens dargestellt) wurden Ca-Gehalte von deutlich über 6 g Ca/kg TM nur beim zweiten und dritten Schnitt bei der Mischung RG 6 bei den Parzellen ohne Wasserstandsanhebung bzw. Überstau (Wasserstufe T) festgestellt. Hier lagen die Gehalte bei ca. 7 bzw. 8 g Ca/kg TM. Leicht erhöhte Gehalte (6,2-6,6 g Ca/kg TM) zeigten zudem bei der gleichen Wasserstufe (T) die Mischung RG 10 beim zweiten sowie die Mischung RG 11 beim zweiten und dritten Aufwuchs. Unter feucht bis nassen Bedingungen wurden dagegen nur beim letzten Schnitt und hier auch nur bei den Mischungen RG 6 und RG 11 leicht erhöhte Gehalte gemessen. Auf eine detaillierte Darstellung der Ca-Gehalte bei unterschiedlichen Kombinationen von Wasserstufen und Mischungen wird daher verzichtet. Eine zusammenfassende Übersicht gibt Tabelle 3.11. Daraus ist ersichtlich, dass auf den Parzellen mit Wasserstandsanhebung bzw. Überstau im Mittel deutlich niedrigere Kalziumgehalte gemessen wurden als bei den Parzellen auf den trockeneren Randflächen.

In der Trockensteher-Ration sollten drei Wochen vor der Kalbung maximal 6 g Ca/kg TM enthalten sein. Wenngleich die Ca-Gehalte generell beim zweiten bzw. dritten Schnitt höhere Werte (mitunter auch über 6,0 g Ca/kg TM) aufwiesen, ist es vorteilhaft, trotzdem die Folgeschnitte für Trockensteher zu bevorzugen. Dies aus Gründen der bei diesen Aufwüchsen für die Trockensteher-Fütterung vorteilhafteren DCAB und weil die Ca-Gehalte noch im tolerablen Niveau liegen.

Tabelle 3.8: Phosphor-, Magnesium- und Kaliumgehalte der Bestandstypen (Mittelwerte der vollständig wiedervernässten Jahre 2022 und 2023 $\pm$ Standardfehler des Mittelwerts). GD: Grenzdifferenz, siehe hierzu Anmerkung vorige Tabellen

Parameter	Wasserstufe	Aufwuchs	LfL-M	RG6	RG7	RG9	RG10	RG11	GD
Phosphor g/kg TM	T	1	3,6 $\pm$,1	3,8 $\pm$,1	3,7 $\pm$,1	3,8 $\pm$,1	3,5 $\pm$,1	3,5 $\pm$,07	-
		2	4,2 $\pm$,1	4,3 $\pm$,1	3,5 $\pm$,2	4,4 $\pm$,1	3,8 $\pm$,1	3,8 $\pm$,1	0,4
		3	4,5 $\pm$,04	4,5 $\pm$,1	4,2 $\pm$,2	4,9 $\pm$,2	4,2 $\pm$,1	4,5 $\pm$,2	0,4

	F	1	3,3 ± ,1	3,4 ± ,1	2,8 ± ,1	3,6 ± ,04	3,1 ± ,07	2,9 ± ,07	0,2
		2	3,8 ± ,3	4,0 ± ,2	3,1 ± ,2	3,8 ± ,1	3,6 ± ,03	3,0 ± ,2	0,7
		3	3,7 ± ,2	3,6 ± ,1	3,1 ± ,1	3,8 ± ,1	3,6 ± ,1	2,9 ± ,2	0,3
Magne- sium g/kg TM	T	1	2,0 ± ,1	1,9 ± ,1	2,1 ± ,1	2,3 ± ,1	1,7 ± ,03	2,1 ± ,1	0,2
		2	3,0 ± ,1	2,7 ± ,2	2,2 ± ,2	3,0 ± ,2	2,7 ± ,1	3,1 ± ,2	0,3
		3	3,2 ± ,1	3,0 ± ,2	3,1 ± ,1	3,5 ± ,1	2,8 ± ,1	3,2 ± ,2	-
	F	1	1,5 ± ,1	1,5 ± ,1	1,4 ± ,1	1,8 ± ,1	1,2 ± ,1	1,4 ± ,1	0,2
		2	2,4 ± ,2	2,5 ± ,2	1,9 ± ,3	2,4 ± ,1	2,3 ± ,1	2,3 ± ,1	-
		3	2,2 ± ,2	2,3 ± ,2	1,7 ± ,2	2,7 ± ,1	2,3 ± ,2	2,2 ± ,1	0,5
Kalium g/kg TM	T	1	17 ± ,6	17 ± 1,1	17 ± ,8	19 ± ,5	17 ± ,3	16 ± ,7	-
		2	18 ± ,6	21 ± ,3	17 ± ,4	16 ± ,8	19 ± ,2	18 ± ,3	1
		3	19 ± ,9	18 ± 1,2	17 ± ,9	19 ± 1,3	21 ± 0,7	17 ± ,6	2
	F	1	18 ± ,3	16 ± ,5	15 ± 1,3	18 ± ,4	17 ± ,5	16 ± ,5	-
		2	16 ± 1,2	18 ± 1,0	16 ± 1,1	14 ± ,8	19 ± 1,2	18 ± 1,2	1
		3	17 ± ,9	16 ± ,7	15 ± ,6	15 ± ,6	19 ± ,7	14 ± ,5	2
		2	2,4 ± ,2	2,5 ± ,2	1,9 ± ,3	2,4 ± ,1	2,3 ± ,1	2,3 ± ,1	-
		3	2,2 ± ,2	2,3 ± ,2	1,7 ± ,2	2,7 ± ,1	2,3 ± ,2	2,2 ± ,1	0,5

Kalium

Aufgrund der natürlicherweise geringen Kaliumverfügbarkeit auf Moorböden enthielten die Aufwüchse auf dem Niedermoorstandort in Karolinenfeld relativ niedrige Kaliumgehalte von meist deutlich unter 20 g/kg TM. Im Vergleich dazu: Dreischnittwiesen weisen im bayrischen Durchschnitt rund 26 g K/kg TM auf (Diepolder und Raschbacher, 2017).

Aus Sicht der Fütterung bewegen sich die K-Gehalte der Aufwüchse auf dem Moorstandort Karolinenfeld jedoch auf erfreulich niedrigem Niveau. Erfreulich deshalb, da die bei hoher Nutzungs- (über 3 Schnitte/Jahr) und Düngungsintensität in der Praxis festgestellten K-Gehalte von häufig über 30 g K/kg TM (Diepolder und Raschbacher, 2017) aus pflanzenbaulicher Sicht auf Luxuskonsum hinweisen, vor allem jedoch in der Tierernährung unerwünscht sind. Zum Vergleich: Eine Trockensteher-Ration drei Wochen vor der Kalbung sollte maximal 15 g K/kg TM enthalten. Rein pflanzenbaulich würden Werte von unter 15

g K/kg TM auf einen K-Mangel hinweisen (Amberger, 1996), während 20 g K/kg TM als ein Schwellenwert von niedriger zu optimaler Versorgung der Pflanze anzusehen sind und etwa 25 g K/kg TM als ein „guter Kompromiss zwischen Pflanzen- und Tierernährung“ gilt.

Schwefel und N:S-Verhältnis

Aus Tabelle 3.9 geht hervor, dass die S-Gehalte in den Aufwüchsen bei Wiedernässung und Überstau (*Wasserstufe F*) niedriger lagen als bei trockeneren Bedingungen (*Wasserstufe T*). Ebenfalls fiel bei Wasserstufe T im Vergleich der Mischungen der niedrigere S-Gehalt bei der Mischung RG 10 mit hohem Wiesenfuchsschwanzanteil auf.

Wie die vorgenannten Mineralstoffe ist auch Schwefel ein essentielles Nährelement für das Pflanzenwachstum. Gerade wenn intensive Wachstumsphasen, verhaltene S-Mineralisation aus der organischen Substanz des Bodens im Frühjahr und fehlende S-Düngung zusammenreffen, kann S-Mangel auftreten. Die Folge können Einbußen im Ertrag und Eiweißgehalt sein, da bestimmte für das Pflanzenwachstum essentielle Aminosäuren Schwefel enthalten.

Daher wurde geprüft, ob bei dem sich spät erwärmenden Niedermoorstandort und hier speziell bei den angestauten und überschwemmten Parzellen (*Wasserstufe F*) evtl. Schwefelmangel eine Mitursache für den Ertragsabfall und die gemessenen (sehr) niedrigen Rohproteingehalte gewesen sein könnte. Hierzu wurde das Verhältnis der Stickstoff- (N) und Schwefelgehalte herangezogen. Pflanzenbaulich allgemein bekannt ist, dass ein N/S-Verhältnis von über 15:1 auf einen ertragsbegrenzenden S-Mangel, dagegen ein N/S-Verhältnis von unter 12:1 auf eine optimale S-Versorgung hinweisen würde.

Die Daten in Tabelle 3.9 lassen darauf schließen, dass auf dem Standort ausreichend Schwefel für die Versorgung der Grünlandaufwüchse zur Verfügung stand. Daher ist die Ursache für die niedrigen Rohproteingehalte in Karolinenfeld bei anderen Faktoren, wie später Schnitzeitpunkt, geringe N-Düngung, und obergrasreiche, kleearme, Pflanzenbeständen zu suchen.

DCAB

Für die Milchfieberprophylaxe bei trockenstehenden Milchkühen ist neben der Kalzium-Konzentration das Verhältnis der positiv geladenen Kationen Natrium und Kalium zu den negativ geladenen Anionen Chlor und Schwefel wichtig. Dieses Verhältnis wird als DCAB (Dietary Cation Anion Balance, Kationen-Anionen-Bilanz) bezeichnet.

Für die Milchfieberprophylaxe ist drei Wochen vor der Kalbung eine möglichst niedrige DCAB von maximal 100 bis 200 meq/kg anzustreben. Grassilagen von intensiv gedüngten Flächen haben häufig eine hohe DCAB, gleichzeitig enthalten Trockensteherrationen häufig hohe Grassilageanteile. Beides erhöht das Risiko für Milchfieber. Dagegen sollten Rationen für laktierende Kühe eine Kationen-Anionen-Bilanz von mindestens 150 meq/kg TM aufweisen.

Die Ergebnisse der über die 6 Mischungen gemittelten Kationen-Anionen-Bilanz (DCAB) sind in Tabelle 3.11 aufgeführt. Als wesentliche Aussage in Hinblick auf die o.g. Ziele ergibt sich: Von der Kationen-Anionen-Bilanz aus gesehen wären daher der erste Schnitt für laktierende Milchkühe ideal (z.B. als Strobersatz), dagegen der zweite und dritte Schnitt für Trockensteher geeignet.

Tabelle 3.9: Schwefelgehalte und Stickstoff/Schwefel-Verhältnis der Bestandstypen (Mittelwerte der vollständig wiedervernässten Jahre 2022 und 2023 $\pm$ Standardfehler des Mittelwerts). GD: Grenzdifferenz, siehe Anmerkung vorige Tabellen

Parameter	Wasserstufe	Aufwuchs	LfL-M	RG6	RG7	RG9	RG10	RG11	GD
Schwefel g/kg TM	T	1	2,1 $\pm$,1	2,1 $\pm$,1	2,3 $\pm$,1	2,4 $\pm$,1	1,8 $\pm$,1	2,0 $\pm$,1	0,2
		2	3,2 $\pm$,2	2,8 $\pm$,2	2,5 $\pm$,2	3,4 $\pm$,2	2,3 $\pm$,1	2,8 $\pm$,1	0,5
		3	3,9 $\pm$,1	3,5 $\pm$,2	3,8 $\pm$,2	4,8 $\pm$,4	2,7 $\pm$,04	3,4 $\pm$,1	1,3
	F	1	1,6 $\pm$,1	1,7 $\pm$,1	1,5 $\pm$,1	1,9 $\pm$,1	1,5 $\pm$,1	1,2 $\pm$,1	-
		2	2,8 $\pm$,6	3,0 $\pm$,4	2,1 $\pm$,2	2,9 $\pm$,3	2,1 $\pm$,2	2,3 $\pm$,3	-
		3	2,5 $\pm$,1	2,7 $\pm$,2	2,2 $\pm$,1	3,2 $\pm$,3	2,3 $\pm$,2	2,0 $\pm$,2	0,8
N/S- Verhältnis	T	1	7,6 $\pm$,4	8,6 $\pm$,6	8,2 $\pm$,4	7,5 $\pm$,3	8,7 $\pm$,2	8,3 $\pm$,7	1,0
		2	5,7 $\pm$,3	7,5 $\pm$,6	7,2 $\pm$,5	4,5 $\pm$,4	8,2 $\pm$,5	6,2 $\pm$,4	1,1
		3	5,9 $\pm$,2	7,1 $\pm$,6	6,9 $\pm$,4	5,5 $\pm$,6	8,4 $\pm$,3	6,2 $\pm$,3	1,9
	F	1	8,2 $\pm$,5	9,2 $\pm$,5	9,1 $\pm$,5	7,2 $\pm$,2	8,5 $\pm$,3	9,9 $\pm$,7	1,9
		2	4,9 $\pm$,5	6,8 $\pm$,9	7,9 $\pm$,1	4,6 $\pm$,3	8,0 $\pm$,8	6,2 $\pm$,5	1,7
		3	7,5 $\pm$,8	8,3 $\pm$,9	9,5 $\pm$,7	6,3 $\pm$,5	8,1 $\pm$,5	7,0 $\pm$,3	1,7

Mangan

Bei den Mangangehalten fällt auf, dass unter Wasserstufe F höhere Gehalte auftreten, mit Ausnahme der Bestandstypen RG 10 (Leitgras Wiesenfuchsschwanz) und RG 11 (Leitgras Rohrschwengel). Dabei weist RG 11 vor allem unter feuchten Bedingungen die niedrigsten Mangangehalte auf.

Bei klassischem Dauergrünland sind im Mittel Mangangehalte von ca. 90 mg/kg TM zu erwarten, jedoch mit enormer Spannweite. Die auf dem Niedermoorstandort Karolinenfeld untersuchten Gehalte liegen bei allen Aufwüchsen und Mischungen deutlich darüber (Tabelle 3.10). Dabei sind die Werte, im Mittel über die Mischungen betrachtet (Tabelle

3.11), beim zweiten und dritten Schnitt um ein Mehrfaches höher als die o.g. Durchschnittswerte, vor allem bei den Parzellen mit angehobenem Grundwasserstand und Überstau (Wasserstufe F). Speziell beim letzten Schnitt wurden im Versuch, mit Ausnahme der Mischungen RG 10 und RG11, Gehalte von über 400 mg Mn/kg TM erreicht.

Tabelle 3.10: Mangangehalte [in mg Mn/kg TM] der Bestandstypen (Mittelwerte der vollständig wiedervernässten Jahre 2022 und 2023 $\pm$ Standardfehler des Mittelwerts). GD: Grenzdifferenz, siehe Anmerkung vorige Tabellen

Wasserstufe	Aufwuchs	LfL-M	RG6	RG7	RG9	RG10	RG11	GD
T	1	181 $\pm$ 11	136 $\pm$ 13	251 $\pm$ 36	166 $\pm$ 16	238 $\pm$ 25	191 $\pm$ 50	82
	2	234 $\pm$ 13	158 $\pm$ 32	217 $\pm$ 20	219 $\pm$ 29	275 $\pm$ 30	168 $\pm$ 40	80
	3	258 $\pm$ 14	163 $\pm$ 18	301 $\pm$ 38	258 $\pm$ 25	265 $\pm$ 19	200 $\pm$ 46	235
F	1	253 $\pm$ 57	295 $\pm$ 61	363 $\pm$ 171	207 $\pm$ 11	236 $\pm$ 69	116 $\pm$ 13	143
	2	302 $\pm$ 30	275 $\pm$ 31	327 $\pm$ 119	313 $\pm$ 26	200 $\pm$ 60	112 $\pm$ 29	142
	3	418 $\pm$ 52	403 $\pm$ 74	623 $\pm$ 239	400 $\pm$ 22	264 $\pm$ 81	160 $\pm$ 19	235

Futtermittelrechtlich gilt ein Höchstgehalt von 150 mg Mangan pro kg Alleinfuttermittel bei 88% Trockenmasse. Dieser gilt für die Tagesration und umfasst sowohl das als Futtermittelzusatzstoff zugesetzte Mangan sowie native Gehalte. Das heißt: Die hier untersuchten Aufwüchse dürfen verfüttert werden, sofern in der Tagesration kein zugesetztes Mangan enthalten ist, z.B. durch Mineralfutter. Zu beachten ist außerdem, dass bei hohen Mangangehalten in der Ration die Aufnahme von Kupfer im Tier verringert sein kann (Antagonismus), was zu Kupfermangel führen kann.

Eisen

Die Eisengehalte des ersten Schnittes lagen den stärker von der Anhebung des Grundwasserstandes beeinflussten Parzellen (Wasserstufe F, Tabelle 3.11) mehr als doppelt so hoch als in den trockeneren Randbereichen (Wasserstufe T; Tabelle 3.11). Allgemein sind die Eisengehalte aller Aufwüchse jedoch relativ niedrig und weisen, ebenso wie die Rohaschegehalte, auf eine saubere Ernte hin. Relevant für eine Minderung der Futterqualität wären Eisengehalte ab 500 Milligramm pro Kilogramm Trockenmasse.

In Tabelle 3.11 sind die wichtigsten Ergebnisse zur Futterqualität der Versuchspartzen des Karolinenfelder Versuchs „*Bestandsentwicklung*“ für beide Wasserstufen nochmals zusammengefasst. Um einen Vergleich der Mineralstoffgehalte mit durchschnittlichen Gehalten von konventionellen bayerischen Zwei- und Dreischnittwiesen zu ermöglichen, sind am Tabellenende Ergebnisse aus dem Ertrags- und Nährstoffmonitoring Bayern (Diepolder et al., 2016) aufgeführt. Hier handelt es sich um ertragsbereinigte Jahresmittel aus 62 (Zweischchnittwiesen) bzw. 131 kompletten Ernten (Dreischnittwiesen).

Tabelle 3.11: TM-Erträge sowie Ergebnisse der Weender- und Mineralstoffanalyse von Grünlandaufwüchsen in Karolinenfeld (Mittelwerte aus sechs Ansaatmischungen und den beiden vollständig wiedervernässten Jahren 2022 und 2023)

	Wasserstufe					
	T frisch-feucht			F: feucht bis nass		
Schnitt	1	2	3	1	2	3
Brutto-Ertrag (dt TM/ha)	36,5	44,7	22,5	26,6	42,7	18,3
Rohasche	65	79	79	61	69	69
Rohprotein (XP) (g/kg TM)	106	111	147	83	96	117
ADF om (g/kg TM)	346	351	288	352	355	300
Zucker (g/kg TM)	132	120	146	154	148	173
Energie (MJ NEL/kg TM)	5,2	5,1	5,7	5,1	4,9	5,6
Stickstoff (N) (g/kg TM)	17,0	17,8	23,5	13,3	15,4	18,7
Phosphor (g/kg TM)	3,6	4,0	4,5	3,2	3,6	3,5
Magnesium (g/kg TM)	2,0	2,8	3,1	1,5	2,3	2,2
Kalzium (g/kg TM)	4,8	6,4	6,0	3,5	5,0	5,7
Kalium (g/kg TM)	17	18	19	17	17	16
Schwefel (g/kg TM)	2,1	2,8	3,7	1,6	2,5	2,5
DCAB (meq/kg TM)	206	20	60	220	27	53
Eisen (mg/kg TM)	48	51	107	107	46	104
Mangan (mg/kg TM)	194	212	241	245	255	378

ENM-By: **XP:** 123/136 - **N:** 20/22 - **P:** 2,9/3,5 - **Mg:** 2,8/2,6 – **Ca:** 8,0/7,2
K: 21/26 – **S:** 2,0/2,4; alle Werte in g/kg TM

3.1.7 Eigenschaften der Aufwüchse bei unterschiedlichen Schnitthäufigkeiten (LfL)

Aus Tabelle 3.12 geht hervor: Unter frischen bis mäßig trockenen Bedingungen war die Verteilung des ähnlich hohen Jahresertrags bei den Vierschnittvarianten (93 dt TM/ha) gleichmäßiger als bei drei Schnitten im Jahr (90 dt TM/ha). In dauerhaft feuchten bis mäßig feuchten Bereichen reagierten die Bestände auf eine Erhöhung der Nutzungsintensität mit geringeren Jahreserträgen (86 bzw. 73 dt TM/ha).

Tabelle 3.12: Jahresertrag in dt TM/ha des Bestandstyps LfL-M bei drei und vier Schnitten in unterschiedlichen Wasserstufen (Mittelwerte der vollständig wiedervernässten Jahre 2022 und 2023 $\pm$ Standardfehler des Mittelwerts). GD = Grenzdifferenz zwischen den Schnittregimen und den Wasserstufen der jeweiligen Aufwüchse (Frühjahr, Sommer, Herbst).

Parameter	Schnitte	Wasserstufe	Aufwuchs				
			Frühjahr	Sommer		Herbst	Σ
Ertrag dt TM/ha	3	T	29 ± 3	35 ± 3		26 ± 4	90 ± 8
		F	26 ± 1	37 ± 1		24 ± 5	86 ± 4
	4	T	31 ± 2	25 ± 1	21 ± 2	16 ± 4	93 ± 7
		F	25 ± 2	19 ± 2	20 ± 4	9 ± 2	73 ± 5
GD			-	-		14	-

Ein Vergleich zwischen dreimal und viermal genutzten Beständen aus der Saatgutmischung LfL-M zeigt, dass sich mit einer auf die kleinräumig unterschiedlichen Standortbedingungen abgestuften Nutzung auch eine höhere Futterqualität erzeugen lässt (Tabelle 3.13).

Durch eine Verkürzung des Schnittintervalls im Sommer konnten die bei einem dann natürlicherweise niedrigeren Grundwasserstand hohen Stickstoffnachlieferungen aus dem Bodenvorrat abgeschöpft werden. In den Randbereichen der Untersuchungsfläche wurden dadurch Aufwüchse mit hohen Rohproteingehalten erzeugt.

Der ADFom-Gehalt ist bei 4-Schnitt-Nutzung immer niedriger als bei 3-Schnitt-Nutzung, was positiv zu bewerten ist. In den feuchten bis mäßig feuchten Bereichen liegen die ADFom-Gehalte immer höher, als in den frischen bis mäßig trockenen Bereichen. Entsprechend verhalten sich die Energiegehalte. Der Zuckergehalt liegt in allen Schnitten über dem für eine ausreichend hohe Milchsäurebildung benötigten Zielwert von mindestens 60 g/kg TM.

Tabelle 3.13: Inhaltsstoffe und Energiegehalte der in voriger Tabelle genannten Proben

Parameter	Schnitte	Wasserstufe	Aufwuchs			
			Frühjahr	Sommer		Herbst
ADF _{om} g/kg TM	3	T	334 ± 11	324 ± 11		274 ± 5
		F	355 ± 6	352 ± 12		290 ± 7
	4	T	323 ± 7	314 ± 6	301 ± 10	237 ± 7
		F	341 ± 16	317 ± 7	316 ± 16	240 ± 6
GD			-	43		23
Rohprotein g/kg TM	3	T	100 ± 5	134 ± 5		142 ± 5
		F	90 ± 4	102 ± 7		117 ± 7
	4	T	113 ± 7	152 ± 3	180 ± 8	193 ± 17
		F	87 ± 5	116 ± 7	142 ± 9	157 ± 7
GD			15	37		40
Energie MJ NEL in g/kg TM	3	T	5,4 ± ,1	5,2 ± ,1		5,8 ± ,03
		F	5,0 ± ,03	5,0 ± ,1		5,7 ± ,1
	4	T	5,4 ± ,1	5,5 ± ,1	5,5 ± ,1	6,2 ± ,03
		F	5,2 ± ,1	5,5 ± ,1	5,4 ± ,2	5,4 ± ,1
GD			-	0,3		-
Zucker g/kg TM	3	T	155 ± 17	128 ± 19		155 ± 9
		F	135 ± 4	104 ± 10		199 ± 6
	4	T	143 ± 12	113 ± 03	93 ± 2	142 ± 09
		F	155 ± 10	140 ± 17	125 ± 8	174 ± 13
GD			-	-		47

Die Rohaschegehalte (nicht explizit dargestellt) lagen auch in diesem Versuch auf niedrigem Niveau. In der Tenenz wies dabei der erste Schnitt die niedrigsten Werte auf. Bei allen Varianten und Schnitten (Spannweite 58-90 g RA/kg TM) wurden die Zielvorgaben (< 90 bzw. < 100 g Rohasche pro Kilogramm Trockenmasse) erreicht.

3.1.8 Entwicklung einer Saatgutmischung für grundwassernahe Moorstandorte (LfL)

Die in Karolinenfeld erzielten Versuchsergebnisse führten zu einer weiteren Optimierung der bisherigen LfL-Mischung. Das Ergebnis war eine Bayerische Qualitätsaatgutmischung mit der Bezeichnung BQSM[®]-W 1M, deren Zusammensetzung Tabelle 3.14 zeigt.

Von nassetolerant beurteilten Futtergräsern (Rohrschwingel, Rohrglanzgras, Wiesenfuchsschwanz) wurde der Rohrschwingel als Leitgras ausgewählt. Die begleitenden Gräser sorgen in randlich von hohen Grundwasserständen beeinflussten Bereichen, die auch intensiver bewirtschaftet werden können, für eine höhere Futterqualität. Auf das Rohrglanzgras wurde dagegen in der „neuen LfL“ Mischung verzichtet.

Tabelle 3.14: Zusammensetzung der aus den Versuchsergebnissen abgeleiteten neu optimierten Saatgutmischung.

Art	kg/ha	%
Rohrschwingel	13,5	45
Wiesenlieschgras	7,5	25
Wiesenrispe	4,5	15
Wiesenfuchsschwanz	3,0	10
Wiesenschwingel	1,5	5
Saatstärke	30	100

Im Gegensatz zum Rohrglanzgras ist der Rohrschwingel nach wie vor Gegenstand der Pflanzenzüchtung zur Verbesserung der Sanftblättrigkeit, Trockenheitstoleranz und neuerdings auch Nässeverträglichkeit. Saatgut ist in großen Mengen im Handel verfügbar. Die Aufwüchse mit einem hohen Anteil an Rohrschwingel blieben im Versuch „*Bestandsentwicklung*“ als einzige regelmäßig unter dem gesetzlichen Höchstgehalt für Mangan (Mn) für Alleinfuttermittel von 150 Milligramm pro Kilogramm Alleinfuttermittel bei 88 % Trockenmasse. Bestände mit Rohrschwingel sind auch für eine intensivere Nutzung z. B. auf Flächen mit einem wechselnden Grundwasserstand geeignet.

Anders als das Rohrglanzgras hat sich der Rohrschwingel als weidetauglich erwiesen. Auch im Rahmen dieses Projektes hat sich eine der Saatgutmischung LfL-M ähnliche Artenkombination ohne Rohrglanzgras auf einer Weide bewährt, wenn man die langsame Jugendent-

wicklung des Rohrschwingels berücksichtigt. Aus diesem Grund sollte dem Auftrieb mindestens ein Jahr mit Schnittnutzung vorangestellt werden.

Beim Einsatz von Rohrglanzgras ist zu beachten, dass dies geringere Zuckergehalte aufweist, dagegen weisen insbesondere Aufwüchse mit einem hohen Anteil an Rohrschwengel hohe Zuckergehalte auf. Das Rohrglanzgras ist aufgrund seiner großen Nässetoleranz für Flächen mit einem dauerhaft hohen Grundwasserstand besser geeignet. Dabei kommt insbesondere eine stoffliche Verwertung in Betracht (siehe 3.2).

3.1.9 Umwandlung von Acker in Grünland auf der Versuchsstation Karolinenfeld (BaySG)

Bis zum Start des Projektes MoorBewi bewirtschaftete das Staatsgut Karolinenfeld den Großteil der Flächen als Acker (97 ha Acker, 21 ha Grünland, 21 ha Kurzumtriebsplantage (KUP)). Kurz nach Projektstart wurde festgelegt, die Ackernutzung und die Hälfte der KUP zugunsten einer Grünlandnutzung aufzugeben, um so die ganzflächige Wiedervernässung der gesamten Flächen vorzubereiten. Nach der letzten Ernte der Hauptkulturen wurden die Flächen saarfertig hergerichtet und eingesät. Die letzten Einsaaten fanden im Sommer 2022 statt. Die Einsaaten fanden auf noch nicht vernässten Flächen statt, so dass herkömmliche Technik zum Einsatz kam, d.h. lediglich flach lockern, darunter ein gut abgesetzter Boden, flache Saat und anschließendes walzen. Nach ein (bis zwei) Schröpfschnitten etablierten sich die jeweiligen Mischungen erfolgreich. Die Festlegung der Ansaatmischungen und Saatstärken erfolgte in Abstimmung mit LfL-IAB und LfL-IPZ, dabei wurden Vorkenntnisse aus dem Vorläuferprojekt Moor-KULAP und weitere Faktoren wie Siedlungsnähe und absehbare Tauglichkeit für die Vernässung berücksichtigt. Auf dem überwiegenden Teil der Flächen wurde die Mischung BQSM[®]-W 1a angesät. Daneben kamen noch die Mischungen RG6, RG9 und RG11xRG19 zum Einsatz. Auf Flächen, die direkt an den Erlbach angrenzen, wurde die Mischung LfL-M angesät. Da hier der Grundwasserstand durch die Errichtung des Messwehres bereits spürbar angestiegen war, erschien die Verwendung einer Rohrglanzgras betonten Mischung sinnvoll. Auf der westlich an die Kernversuchsfläche angrenzenden Fläche wurden streifenförmig Kräuter angesät (Blutweiderich, Spitzwegerich, Rauer Löwenzahn, Kuckuckslichtnelke, Wiesenkümmel, Sumpfschafgarbe, Wiesenschaumkraut, Weißes Labkraut, Gemeiner Gilbweidereich, Blutwurz, Echtes Mädesüß, Großer Wiesenknopf). Die streifenförmig ausgebrachte Kräutermischung konnte sich nicht sonderlich gut etablieren, eine nennenswerte Einwanderung in die zwischen den Streifen gelegenen Grünlandflächen war nicht zu beobachten.

3.1.10 Umwandlung von Acker in Weideland im Schwäbischen Donaumoos (ARGE)

Im Leipheimer Moos wurde eine Ackerfläche in Weidegrünland gewandelt. Die Einsaat mit der von der LfL-entwickelten Nassweidenmischung erfolgte 2022. Trotz des trockenen Frühjahrs etablierte sich der Bestand relativ gut. Er zeigte im Jahr 2023 noch lückige Verhältnisse auf, die Saatrillen waren sichtbar. Die Grünlandfläche wurde in 2023 nur gemäht und nicht beweidet, die Grasnarbe war noch zu instabil. 2024 war diese Fläche beim ersten Schnitt die ertragsreichste Fläche von den Mahdflächen auf Moorboden, die der Landwirt (Lohnmahd) gemäht hat. Die Grasnarbe ist mittlerweile geschlossen (Abbildung 3.10), im Herbst erfolgt eine Nachbeweidung mit Dextern. Die Messerbalkenmahd und das Pressen lief ohne Komplikationen.



Abbildung 3.10: Grasnarbe im neu etablierten Weidegrünland im Schwäbischen Donaumoos im Sommer 2024

3.1.11 Nachsaat in bestehendes Grünland am Standort Langenweiher (LfL)

Neben der Umwandlung von Acker in Grünland ist in der Praxis vor allem die Anpassung von bestehendem Grünland relevant, wenn die Bestände nach der Wasserstandsanhebung weiterhin als Futter genutzt werden sollen. Dabei sind umbrechende Verfahren mit anschließender Neuansaat auf Moorstandorten nur in Einzelfällen bzw. nach genehmigtem Antrag erlaubt und immer mit dem zuständigen Amt für Ernährung Landwirtschaft und Forsten (AELF) abzustimmen. Außerdem kann es durch die Zerstörung der Altnarbe in Verbindung mit einem schlechten Aufgang der Saat zu einer starken Verunkrautung mit lichtkeimenden Pflanzenarten aus der Bodensamenbank wie z. B. dem giftigen Wasserkreuzkraut kommen. Es besteht daher die Notwendigkeit, die Bestände ohne Zerstörung der bestehenden Grasnarbe mit nassetoleranten Futtergräsern anzureichern.

Im Rahmen von MoorBewi wurde am Standort „Langenweiher“ im Altbayerischen Donaumoos auf einer bisher zweimal im Jahr genutzten Grünlandfläche, auf der der Grundwasserstand durch einen Anstau von bestehenden Gräben angehoben wurde (siehe 2.1.4), eine Nachsaat mit der Saatgutmischung LfL-M durchgeführt. Ziel war es, nassetolerante Futtergräser im bestehenden Pflanzenbestand zu etablieren, damit die Aufwüchse auch nach der Wasserstandsanhebung als Futter verwertbar bleiben. Die Nachsaat wurde am 24.03.2022 mit einer Säkombination aus Kreiselegge und Drillsaatmaschine vollzogen und anschließend angewalzt.

Der Wasserstand konnte allerdings wider Erwarten erst im folgenden Jahr angehoben werden. Die nachgesäten Versuchspartzen wurden in den Untersuchungsjahren 2022 und 2023 dreimal im Jahr zu den Richtterminen des Versuches „Bestandsentwicklung“ in Karolinenfeld gemäht und beprobt. Als weitere Varianten wurde die zweimalige Nutzung im Jahr wie bisher und eine dreimalige Nutzung im Jahr ohne Nachsaat gewählt. Es fand keine Düngung statt. Der Pflanzenbestand im Ausgangszustand war mit etwa 70 % Ertragsanteil durch die Rasenschmiele geprägt. In einem auch im Sommer etwas feuchteren

Teilbereich kamen die Flatter-Binse und der Rotschwengel mit einem Ertragsanteil von insgesamt gut 10 % vor.

Nach zwei Jahren Versuchsdurchführung konnte allerdings keine Pflanzenart aus der Saatgutmischung LfL-M etabliert werden. Durch eine leichte Nutzungsintensivierung von zwei auf drei Schnitte verringerte sich lediglich der Anteil an Sumpf-Segge zugunsten des Wiesenschwengels.

Aus diesem Versuch und aus Nachsaatvorhaben von weiteren Praxisbetrieben können folgende Schlussfolgerungen für eine erfolgreiche Nachsaat auf Moorstandorten mit einem angehobenen Grundwasserstand abgeleitet werden. Als Grundlage gelten die Empfehlungen der LfL zum Saatguteinsatz im Grünland (LfL, 2018).

- Die Nachsaat sollte gleichzeitig mit der Wasserstandsanhhebung erfolgen. Durch die veränderten Standortbedingungen wird die Grasnarbe lückig und kann von Keimlingen der nachgesäten Arten besiedelt werden.
- Aufgrund der in vielen Fällen hohen Wuchskraft der Bestände auf Moorboden im Frühsommer, sollte die Nachsaat ausschließlich in der zweiten Hälfte der Vegetationsperiode erfolgen.
- Die langsame Jugendentwicklung des Rohrschwengels erfordert eine Nachsaat bis Ende August, um Frostschäden zu vermeiden.
- 25 bis 30 Tage nach der Nachsaat ist eine erste Nutzung als Schröpfungsschnitt oder durch Beweidung erforderlich. Dadurch wird die Bestockung der eingebrachten Gräser gefördert und unerwünschte Ruderalarten geschwächt.
- In der Folge sollte die Nutzung auf das neue Leitgras abgestimmt sein. Im Falle des Rohrschwengels bedeutet dies eine drei bis viermalige Nutzung im Jahr.

3.2 Eignung von Nassgrünlandaufwuchs für andere Verwendungszwecke (DMZV)

Im Projekt konnte die Eignung von Nassgrünlandaufwuchs für verschiedene Anwendungsbereiche bestätigt werden. Insbesondere Bauprodukte eignen sich für die Verwertung von Nassgrünlandaufwuchs, da hier weniger spezifische Anforderungen an die Homogenität des Ausgangsmaterials bestehen. Trockenbauplatten mit Nassgrünlandaufwuchs verpresst im Kern der Platten erzielten bspw. im Labor gleich gute Prüfwerte für Druck- und Biegefestigkeit wie mit Paludikulturen hergestellte Platten. Möbelplatten ließen sich ebenfalls gut aus Fasern gewonnen aus Nassgrünlandaufwuchs herstellen. Aufgeschäumte Dämmplatten konnten bspw. auch mit Nassgrünlandaufwuchs produziert werden. Der Einsatz in Baustoffen würde es ermöglichen große Mengen an Nassgrünlandaufwuchs zu verwerten. So könnten bspw. Produktionsanlagen ausgelastet werden, die zwar primär das Ziel verfolgen mit Paludikulturen zu arbeiten, bis diese aber in ausreichender Menge zur Verfügung stehen, alternativ auf andere nachwachsende Rohstoffe, wie Nassgrünlandaufwuchs, zurückgreifen könnten. Das Nassgrünland würde dadurch zu einer wichtigen Säule in der Ressourcenstrategie von neuen Produktionsstätten für Paludikultur Biomasse. Im Kapitel 4.3 wird an mehreren Stellen detaillierter auf die Einsatzmöglichkeiten von Nassgrünlandaufwuchs eingegangen.

3.3 Landtechnische Optionen in Bayern (LfL)

Im Projektteil „Landtechnische Optionen zur Bewirtschaftung von wiedervernässtem Moorgrünland mittlerer Nutzungsintensität“ am Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT)

der LfL war es das Ziel, vor allem die Ernte von sauberem, gutem Futter durch angepasste Technik im Moor zu realisieren und die dazugehörigen Verfahrensparameter zu erfassen. Anhand von Exaktversuchen auf dem Versuchsgut der BaySG in Karolinenfeld sollten ab Projektbeginn Versuche durchgeführt werden, was allerdings wegen einer sich verschiebenden Wiedervernässung erst ab dem Versuchsjahr 2023 möglich war.

Daher wurden zu Projektbeginn ab 2021 bayernweit verschiedene Praxisbetriebe gesucht, um Erkenntnisse zu unterschiedlichen Verfahrenstechniken im Einsatz auf nassen Moorflächen in unterschiedlichen Moorregionen zu erhalten. Diese Betriebe wurden bei ihren unterschiedlichen Ernteverfahren begleitet und das Erntematerial wurde beprobt. Es wurden Einflussparameter für die Befahrbarkeit, Futterqualität etc. untersucht, sowie Daten zu Arbeitszeiten und Arbeitspersonen für Ernte/Bewirtschaftung in der Praxis ermittelt und vor allem Informationen zu Verfahrens- und Technikdetails sowie Besonderheiten in Praxisbetrieben generiert. Es wurde zu über 14 Praxisbetrieben Kontakt aufgenommen (Abbildung 3.11). Nicht alle dieser Betriebe konnten aus unterschiedlichen Gründen in jedem Versuchsjahr oder bei jedem Schnitt betreut werden, daher werden nur die Versuchsergebnisse der Betriebe dargestellt, welche durchgehend begleitet werden konnten.



Abbildung 3.11: Bayernweite Übersicht zu den Praxisbetrieben für die landtechnischen Untersuchungen

Ab 2023 konnten erstmalig die geplanten Exaktversuche auf der Versuchsstation Karolinenfeld (Abbildung 1.2) durchgeführt werden. Es wurde bei den Exaktversuchen ein Vergleich von Ernteverfahrenskonzepten und dabei gewonnenen Silagen vom Nassgrünland auf einem wiedervernässten Moorstandort mit aktiver Wasserstandsregulierung durchgeführt. Ziel hierbei war es auch, Einsatzgrenzen verschiedener Verfahrenstechniken bei regulierten Wasserständen zu untersuchen. Es ist derzeit noch ungeklärt, welche Verfahrenstechniken sich für die nasse Moorbewirtschaftung sowie für die Ernte von verschiedenen Ernteprodukten eignen und welche Ernteprodukte langfristig auf unterschiedlichen Moorböden und den jeweiligen lokalen Gegebenheiten gewonnen werden können. Zudem stellte sich die Frage, welche Nutzungsmöglichkeiten für die Ernteprodukte gegeben sind und ob diese für die Landwirtschaft wirtschaftlich generiert werden können, sei es der Anbau von Paludikulturen oder die Nutzung als Nassgrünland.

3.3.1 Eingesetzte Technik für die Bewirtschaftung nasser Moorstandorte (LfL)

Praxisbetriebe:

Die Betriebe, die in den Versuchsjahren von 2021 – 2023 beprobt wurden, liegen in unterschiedlichen Mooregebieten Bayerns. Teilweise waren die beprobten Flächen bereits aktiv wiedervernässt. Bei den meisten Flächen waren allerdings die Entwässerungsgräben nicht mehr intakt und das zum Teil schon seit ca. 35 Jahren, wodurch sie nass sind. Es waren alle im ersten Versuchsjahr 2021 untersuchten Flächen nass und stellten für die Bewirtschaftung eine Herausforderung dar. In den Jahren 2022 und 2023 waren die Flächen wegen des geringen Niederschlags und der langen Trockenperioden meist nicht ausreichend feucht, womit auch die Bewirtschaftung einfacher war. Die Besonderheit von bayerischen Moorflächen liegt darin, dass es nur wenige größere zusammenhängende Moorflächen wie z. B. im bayerischen oder schwäbischen Donaumoos gibt, dafür jedoch viele kleinere, vor allem entlang der Alpen. Daher sind in Bayern nur einige Landwirte mit der gesamten Betriebsfläche oder einer größeren Fläche betroffen. So findet man vermehrt kleinere Moorbereiche mit vielen betroffenen Landwirten, wobei der einzelne Landwirt meist nur einen kleinen Anteil seiner Betriebsflächen auf Moorböden hat. Dazu kommt die Problematik der kleinparzellierten Eigentumsverhältnisse und der vorherrschenden Pachtsituation. Um eine flächige Wiedervernässung zu ermöglichen, müssen hier alle bewirtschaftenden Landwirte aber auch die Eigentümer, die ihre Flächen verpachtet haben in einem (Teil-)Gebiet der Vernässung zustimmen, um diese erfolgreich durchführen zu können.

Nasse Moorböden wurden bisher vorwiegend zur Landschaftspflege und Streunutzung bewirtschaftet. Die Verfahren und Techniken zur landwirtschaftlichen Nutzung von Moorböden mit erhöhten Wasserständen werden teils erst seit kurzem in der Praxis eingesetzt und sind oft Eigenbaulösungen. In Bayern werden je nach Möglichkeit und Förderung unterschiedliche Techniken zur Moorbewirtschaftung eingesetzt. Häufig vertreten sind kleinere Traktoren mit unterschiedlichen Um- und Anbauten. Zum Teil sind verschiedene Techniken je nach Bedingungen und Jahr erforderlich, für sehr nasse Bereiche ist somit häufig ein zweiter Techniksatz notwendig (Mähtrac oder Einachsmäher). Zudem sind je nach Flächengegebenheiten nicht alle Flächen jedes Jahr komplett beerntbar und abhängig vom Bestand treten vor allem beim Arbeitsschritt Mähen immer wieder Störungen auf. Die Tragfähigkeit von nassen Moorflächen ist gering, daher sind spezielle Umrüstungen oder Neubauten der unterschiedlichen Verfahrensschritte zur Gewichtsminimierung notwendig. Jede Technik, die aktuell verfügbar ist und eingesetzt wird, hat ihre Vor- und Nachteile, einige geeignete Lösungen fürs Moor gibt es derzeit nur regional (siehe Tabelle 3.15, Tabelle 3.16, Tabelle 3.17). Zudem müssen passende und resiliente Wertschöpfungsketten vom Anbau bis hin zur Verwertung und Vermarktung gefunden werden, um eine Wirtschaftlichkeit der Moorbewirtschaftung zu ermöglichen. Eine effektive Bewirtschaftung von nassen Moorflächen ist somit nur mit angepassten und spezifisch für die auf den einzelnen Moorstandorte etablierten Kulturen optimierten Ernteverfahren möglich.

Tabelle 3.15: Verfahrenstechniken - Arbeitsschritt Mähen

				
Traktor mit Zwillings-/Breitbereifung und Scheiben-/Trommelmäherwerk ▪ Doppelbereifung/Breitbereifung (straßentauglich) ▪ Herkömmliche, robuste Mähwerke ▪ Relativ hohes Gewicht ▪ Nicht geeignet zum Einsatz bei Paludikulturen ▪ Kaum Rüst- und Wartungszeiten der Mähwerke	Traktor mit Gitterrädern und Doppelmessermäherwerk ▪ Kleine, leichte Traktoren zur Gewichtsreduzierung ▪ Gitterräder erhöhen die Tragfähigkeit (nicht straßentauglich) ▪ Viel Rüst- und Wartungszeiten ▪ Doppelmesser zum besonders schonenden Mähen, hoher Wartungsaufwand	Mähtrac mit Doppelmessermäherwerk ▪ Häufiger Einsatz durch Förderungen ▪ Sehr leicht ▪ Bereifung bereitet teilweise Probleme auf sehr nassen Flächen ▪ Doppelmesser zum besonders schonenden Mähen, hoher Wartungsaufwand	Pistenraupe mit Doppelmessermäherwerk ▪ Pistenraupe mit Doppelmessermäherwerk im Frontanbau und integriertem Ladewagen mit Pickup (nicht straßentauglich) ▪ Geringer Bodendruck ▪ Kaum Rüst- und Wartungszeiten ▪ Beim Wenden teilweise Zerstörung von Narbe, Boden und Aufwuchs	Einachsmäher mit Doppelmessermäherwerk ▪ Einsatz vor allem bei sehr nassen und unübersichtlichen Stellen ▪ Manuelle Steuerung auf Moorflächen notwendig ▪ Doppelmesser zum besonders schonenden Mähen ▪ Zusätzlicher Anhänger für den Transport notwendig

Tabelle 3.16: Verfahrenstechniken - Arbeitsschritt Schwaden

				
Traktor mit Zwillings-/Breitbereifung und Kreiselschwader	Traktor mit Gitterrädern und Kreiselschwader	Kleintraktor mit Bandrechen	Mähtrac mit Bandrechen	Einachsmäher mit Bandrechen
▪ Doppelbereifung/Breitbereifung (straßentauglich) ▪ Herkömmliche, robuste Schwader ▪ Relativ leichtes Gewicht ▪ Kaum Rüst- und Wartungszeiten der Schwader	▪ Kleine, leichte Traktoren zur Gewichtsreduzierung ▪ Gitterräder erhöhen die Tragfähigkeit (nicht straßentauglich) ▪ Viel Rüst- und Wartungszeiten	▪ Kleine, leichte Traktoren zur Gewichtsreduzierung ▪ Sehr leicht ▪ Kaum Rüst- und Wartungszeiten	▪ Häufiger Einsatz durch Förderungen des Mähtracs ▪ Sehr leicht ▪ Bereifung bereitet teilweise Probleme auf sehr nassen Flächen ▪ Bandrechen kaum Wartungsaufwand	▪ Einsatz vor allem bei sehr nassen und unübersichtlichen Stellen ▪ Manuelle Steuerung auf Moorflächen notwendig ▪ Zusätzlicher Anhänger für den Transport notwendig

Tabelle 3.17: Verfahrenstechniken - Arbeitsschritt Bergen

				
Traktor mit Zwillings-/Breitbereifung und Rundballenpresse mit Gitterrädern	Standardtraktor mit Breitbereifung und Rundballen-/Quaderballenpresse mit Breitbereifung	Kleintraktor mit leichtem Ladewagen	Traktor mit Zwillings-/Breitbereifung und Ladewagen mit Zwillings/Breitbereifung	Pistenraupe
▪ Doppelbereifung/Breitbereifung (straßentauglich) ▪ Herkömmliche, robuste Pressen ▪ Relativ hohes Gewicht ▪ Nicht geeignet zum Einsatz bei Paludikulturen ▪ Teilweise Probleme mit der Pickup von der Presse je nach Material ▪ Viel Rüst- und Wartungszeiten (An-/Abbau der Gitterräder am Feld)	▪ Relativ hohes Gewicht der Traktoren und der Presse ▪ Breitreifen erhöhen die Tragfähigkeit (straßentauglich) ▪ Teilweise Probleme mit der Pickup von der Presse je nach Material ▪ Kaum Rüst- und Wartungszeiten	▪ Häufiger Einsatz ▪ Verhältnismäßig leicht ▪ Teilweise Probleme mit der Pickup vom Ladewagen je nach Material	▪ Doppelbereifung/Breitbereifung (straßentauglich) ▪ Herkömmliche, robuste Technik ▪ Relativ hohes Gewicht ▪ Teilweise Probleme mit der Pickup vom Ladewagen je nach Material ▪ Viel Rüst- und Wartungszeiten	▪ Pistenraupe mit Doppelmessermähwerk im Frontanbau und integriertem Ladewagen mit Pickup (nicht straßentauglich) ▪ Geringer Bodendruck ▪ Kaum Rüst- und Wartungszeiten ▪ Beim Wenden teilweise Zerstörung von Narbe, Boden und Aufwuchs ▪ Teilweise Probleme mit der Pickup vom Ladewagen je nach Material

Exaktversuche Karolinenfeld

Erste Vorbereitungen der Versuchsfläche wurden von den BaySG bereits im Projekt „Entwicklung von KULAP-Maßnahmen für eine innovative Nassgrünlandnutzung mit Dränmanagement und Grünlanderneuerung für Intensivgrünland auf Niedermoorstandorten“ durchgeführt. Im Mai 2020 wurde die Versuchsfläche mit drei verschiedenen Saatgutmischungen eingesät. Der grundsätzliche Versuchsaufbau (siehe Abbildung 3.12) wurde allerdings erst zu Projektbeginn geplant. Im Jahr 2023 konnten erstmalig die Exaktversuche für diese Arbeit mit nässeangepasster Technik durchgeführt werden. Für die Studie wurden eigens die Versuche geplant, vorbereitet und durchgeführt. Der Versuchsaufbau bestand aus 18 Großparzellen mit einer Größe von jeweils 50 m x 36 m, welches 0,18 ha pro Parzelle entspricht (siehe Abbildung 3.12). Die bereits 2020 eingesäten Saatgutmischungen (siehe Tabelle 3.18) sind randomisiert verteilt und farblich gekennzeichnet. Jede Saatgutmischung kommt in jeweils sechs Versuchspartzellen vor. Um unterschiedlich an nässe angepasste Verfahrenstechniken zu testen, wurden unterschiedliche Ernteverfahren gewählt und in drei Kategorien eingeteilt, nämlich: leicht angepasste Standardtechnik, angepasste Standardtechnik und Spezialtechnik. Die drei verschiedenen Verfahren wurden randomisiert den verschiedenen Parzellen zugeordnet. Pro Verfahren und Saatgutmischung gab es zwei Wiederholungen (WDH). Geplant wurden drei Schnitte pro Versuchsjahr und dazwischen zwei Aufwuchsbeprobungen, eine nach dem ersten Schnitt und eine nach dem zweiten Schnitt. Bei jedem Schnitt, als auch bei den Aufwuchsbeprobungen wurden jeweils drei Quadratmeterschnitte pro Parzelle ($n = 54$) durchgeführt, um den potenziellen Trockenmasseertrag zu ermitteln.

Auf der Versuchsfläche wurden jeweils drei unterschiedliche Verfahrenskonzepte zur Ernte von Nassgrünland auf Moorboden verwendet. Aufgrund von verspäteten Lieferungen und Umbauten von einzelnen Verfahrenstechniken unterschieden sich die Verfahrenskonzepte pro Schnitt im ersten Versuchsjahr etwas. Die verschiedenen Verfahrenstechniken sind daher folgend separat aufgeführt. Die grundlegende Idee war, bei der leicht angepassten Standardtechnik die derzeit auf vielen Betrieben üblichen und vorhandenen Zugmaschinen (i. d. R. Ackerschlepper) und Geräte wie Scheibenmähwerk oder Kreiselschwader in der Erntekette weiterhin zu verwenden. Diese Erntegerätschaften bedingen ein Überfahren des am Boden liegenden Ernteguts. Bei der angepassten Standardtechnik sollte das am Boden liegende Erntegut möglichst nicht Überfahren werden, damit verhindert wird, dass das Erntegut auf den feuchten Boden und in die Stoppel gedrückt wird. Das dritte Konzept, die Spezialtechnik, war so gedacht, dass diese Technik für besonders nasse Bereiche der wiedervernässten Moorflächen geeignet sein sollte und daher auf Basis von Einachstraktoren und dazu passenden Anbaugeräten gestaltet wurde. Hier war grundsätzlich auch ein Ziel, möglichst wenig am Boden liegendes Erntegut zu überfahren, wenngleich dies aufgrund der breiten Stachelwalzen teils nicht vermieden werden konnte.



Abbildung 3.12: Versuchsplan Verfahrenstechniken und Saatgutmischungen am Moorversuchsgut in Karolinenfeld (Eigene Darstellung basierend auf einer Grundlage von Bastian Zwack)

Tabelle 3.18: Artenaufteilung der drei Saatgutmischungen

Saatgutmischung RG 6	Anteil (%)	Saatgutmischung RG 9	Anteil (%)	Saatgutmischung LfL-Mischung	Anteil (%)
<i>Festuca pratensis</i> (Wiesen- Schwingel)	50	<i>Phalaris arundinacea</i> (Rohrglanzgras)	59	<i>Festuca arundinacea</i> (Rohrschwingel)	35
<i>Phleum pratense</i> (Wiesen- Lieschgras)	30	<i>Phleum pratense</i> (Wiesen- Lieschgras)	29	<i>Phleum pratense</i> (Wiesen-Lieschgras)	25
<i>Lolium perenne</i> (Deutsches Weidelgras)	20	<i>Agrostis stolonifera</i> (Weißes Straußgras)	12	<i>Poa pratensis</i> (Wiesen-Rispengras)	10
				<i>Phalaris arundinacea</i> (Rohrglanzgras)	10
				<i>Alopecurus pratensis</i> (Wiesen-Fuchsschwanz)	10
				<i>Festuca pratensis</i> (Wiesen-Schwingel)	5
				<i>Agrostis stolonifera</i> (Weißes Straußgras)	5

Verfahrenskonzepte im Versuchsjahr 2023

Der erste Schnitt wurde vom 30.05.2023 bis 01.06.2023 mit den in Abbildung 3.17 dargestellten Verfahrenstechniken durchgeführt. Die leicht angepasste Standardtechnik als auch die angepasste Standardtechnik unterschied sich beim ersten Schnitt bei allen Verfahrensschritten nicht wie ursprünglich geplant. Beim Mähen am 30.05.2023 war zum einen der John Deere Traktor 6125 R mit Ballonreifen noch nicht einsatzbereit und zum anderen wurden die Gleitkufen für das Secco Duplex 310F Doppelmesser Frontmähwerk von BB-Umwelttechnik nicht rechtzeitig geliefert. Daher wurde mit einem Fendt 211 Traktor mit dem Secco Duplex 310F Doppelmesser Frontmähwerk ohne Gleitkufen, mit Schwadtrömmeln und einer Arbeitsbreite von 3,1 m und mit dem Secco Duplex 335H Doppelmesser Heckmähwerk mit einer Arbeitsbreite von 3,35 m von BB-Umwelttechnik die Versuchspartellen für die leicht angepasste Standardtechnik und die angepasste Standardtechnik gemäht. Als Spezialtechnik wurde ein Einachsmotormäher von Brielmaier mit Zwillingsschneidwerk und BB-Umwelttechnik Doppelmesser mit einer Arbeitsbreite von 3 m eingesetzt (siehe Abbildung 3.13).



Abbildung 3.13: Fendt 211 Traktor mit Secco Duplex 310F Doppelmesser Frontmäherwerk und Secco Duplex 335H Heckmäherwerk (links) und Brielmaier Motormäher mit BB-Umwelttechnik Doppelmesser (rechts) (Bilder: Annika Woortman)

Am 31.05.2023 wurde das gemähte Material gewendet und anschließend geschwadet. Beim Verfahrensschritt Wenden wurde bei der leicht angepassten und angepassten Standardtechnik ebenfalls der Fendt 211 Traktor mit Standardbereifung vorne und hinten mit einem Krone Kreiselzettwender (KW 13.02/12T) eingesetzt. Als Spezialtechnik wurde ein Ibex Einachsmotormäher mit einem Kreiselzettwender SIP (Spinder 350/4 Alp H Zetter) eingesetzt (siehe Abbildung 3.14).



Abbildung 3.14: Traktor mit Standardbereifung vorne und hinten und einem Krone KW 13.02/12T Kreiselzettwender (links) und Ibex Einachsmotormäher mit einem Kreiselzettwender SIP (Spinder 350/4 Alp H Zetter) (rechts) (Bilder: Annika Woortman)

Für das Schwaden wurde bei der leicht angepassten und angepassten Standardtechnik erneut der Fendt 211 Traktor mit Standardbereifung vorne und hinten und einem Kammschwader (Clementer 300 F) im Frontanbau von BB-Umwelttechnik mit einer Arbeitsbreite von 3 m verwendet. Für die Spezialtechnik wurde an den Ibex Einachsmotormäher ein Heuschieber (AllroundMax) von Agrartechnik Seeber mit einer Arbeitsbreite von 2,35 m angebaut und verwendet (siehe Abbildung 3.15).



Abbildung 3.15: Leicht angepasste und angepasste Standardtechnik mit einem Kamm-schwader von BB-Umwelttechnik (links) und Spezialtechnik mit dem AllroundMax Heu-schieber von Seeber (rechts) (Bilder: Annika Woortman)

Am 01.06.2023 wurde das Anwelkgut geborgen, zuerst wurde von jeder Versuchsparzelle jeweils ein Rundballen mit der Spezialtechnik gepresst. Hierbei wurde ein Kleintraktor Agrokid 35 mit Normalbereifung mit einer Rundballenpresse mit Zwillingbereifung eingesetzt. Die Ballen wurden von der speziellen Rundballenpresse von Redlands Ashlyn Motors PLC (Jumbo1211) mit einer Gesamtbreite von 202 cm mit einem 2,5 mm Jutegarn (im Mittel $25,9 \text{ g} \pm 2,8$ Jutegarn pro Ballen) gewickelt und am Feldrand ausgeworfen und umgehend etikettiert. Nach dem Pressen der Ballen wurde jede Parzelle einzeln mit einem Case ICH 833 Standardtraktor mit Zwillingbereifung vorne und hinten mit einem Steyr Ladewagen Hamster 422 mit Doppel- Zwillingbereifung geerntet (siehe Abbildung 3.16). Pro Parzelle wurde die Fuhre auf der Fuhrwerkswaage der BaySG am Betrieb gewogen und am Hof auf einer betonierten Fläche ausgeleert.



Abbildung 3.16: Leicht angepasste und angepasste Standardtechnik mit einem Steyr Lade-wagen (links) und Spezialtechnik mit Biber Rundballenpresse (rechts) (Bilder: Annika Woortman)

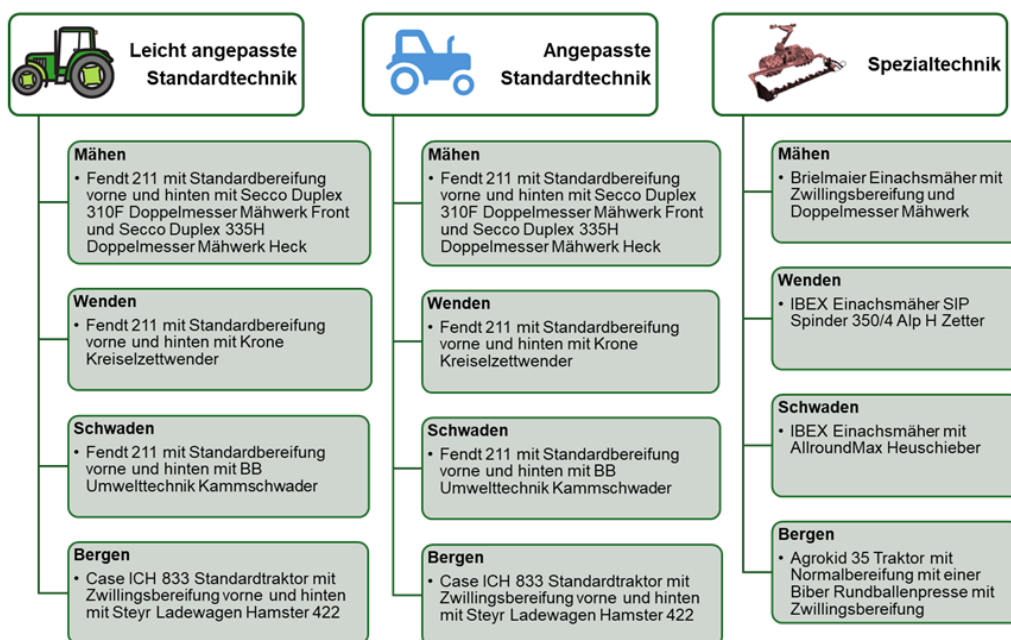


Abbildung 3.17: Verfahrenstechniken 1. Schnitt Exaktversuch Karolinenfeld

Bei allen Schnitten wurden die Ballen händisch auf einen Schäffer Teleskoplader 6370 T mit Breitreifen und Ladeschaufel aufgeladen und vom Feld zum Hof abtransportiert. Zudem wurden bei allen Schnitten die Rundballen anschließend mit einem Dreipunkt Mini-Quaderballenwickler von McHale (995LM), der auch für die Wicklung von Rundballen geeignet ist, mit 250 mm breiter Folie eingewickelt (siehe Abbildung 3.18). Beim ersten Schnitt: wurden 21 Wicklungen durchgeführt, beim zweiten Schnitt 30 Wicklungen und beim dritten Schnitt 20 Wicklungen pro Ballen. Anschließend wurden die Rundballen mit einer Sackwaage verwogen und beschriftet. Gelagert wurden die Rundballen 90 Tage zur Silierung je Schnitt in einer Scheune der BaySG in Karolinenfeld vor Ort.



Abbildung 3.18: Schäffer Teleskoplader 6370 T (links) und Ballen Wickelgerät von McHale (995LM) (rechts) (Bilder: Annika Woortman)

Für den zweiten Schnitt wurden neue Verfahrenstechniken hinzugenommen. Die Ernte erfolgte vom 23. bis 24.08.2023. Für die leicht angepasste Standardtechnik wurde beim

Verfahrensschritt Mähen ein John Deere Traktor 6125 R mit Ballonreifen mit dem Secco Duplex 310F Doppelmesser Frontmähwerk mit Gleitkufen und mit Schwadtrommeln, mit einer Arbeitsbreite von 3,1 m und mit dem Secco Duplex 335H Doppelmesser Heckmähwerk mit einer Arbeitsbreite von 3,35 m von BB-Umwelttechnik eingesetzt. Für die angepasste Standardtechnik wurde ein Fendt 275 S Traktor mit Normalbereifung vorne und Zwillingsbereifung hinten mit dem Secco Duplex 310F Doppelmesser Frontmähwerk eingesetzt (siehe Abbildung 3.19). Die Versuchsparzellen der Spezialtechnik wurden ebenso wie beim ersten Schnitt mit dem Brielmaier Motormäher mit BB Umwelttechnik Doppelmesser gemäht.



Abbildung 3.19: Leicht angepasste Standardtechnik (links) und angepasste Standardtechnik (rechts) (Bilder: Annika Woortman)

Die Wetterbedingungen waren sehr trocken, daher wurden beim zweiten Schnitt die Versuchsparzellen nicht gewendet. Nach dem Mähen wurde im Anschluss direkt geschwadet. Für die leicht angepasste und angepasste Standardtechnik wurden mit dem John Deere Traktor 6125 R mit Ballonreifen und einem Kammschwader (Clementer 300 F) als Frontanbau von BB-Umwelttechnik die Versuchsparzellen geschwadet. Die Versuchsparzellen der Spezialtechnik wurden gleichermaßen wie beim ersten Schnitt mit dem Ibex Einachsmotormäher mit einem Heuschieber (AllroundMax) von Agrartechnik Seeber geschwadet. Am folgenden Tag wurde von jeder Versuchsparzelle mit dem Agrokid 35 Kleintraktor und der Biber Rundballenpresse ein Ballen gepresst und mit der Rest mit dem Case Ladewagen abgefahren. Hier waren alle Verfahren identisch zum ersten Schnitt, nur der Kleintraktor hatte zusätzliche Zwillingsbereifung vorne und hinten. Alle Verfahrensschritte mit den jeweiligen Techniken sind in Abbildung 3.20 gebündelt dargestellt.



Abbildung 3.20: Verfahrenstechniken 2. Schnitt Exaktversuch Karolinenfeld

Vom 23.-24.10.2023 wurde der dritte und letzte Schnitt der Versuchsfläche durchgeführt. Im Verfahrensschritt Mähen gab es zum zweiten Schnitt keine Änderungen. Beim Verfahrensschritt Schwaden wurde bei der leicht angepassten Standardtechnik mit dem Fendt 275 S Traktor mit Standardbereifung vorne und Zwillingsbereifung hinten mit einem Pöttinger TOP 42 N Kreiselschwader geschwadet und beim Verfahren angepasste Standardtechnik wurde ebenso wie beim zweiten Schnitt mit dem John Deere 6125 R mit Ballonreifen mit einem Kammschwader von BB-Umwelttechnik geschwadet. Bei der Spezialtechnik wurde der Heuschieber bedingt durch mehrfache Verstopfung durch das Erntegut durch einen Bandrechen von Reform mit einer Arbeitsbreite von 2,30 m am IBEX-Motormäher ersetzt (siehe Abbildung 3.21).



Abbildung 3.21: Fendt 275 S Traktor mit einem Pöttinger TOP 42 N Kreiselschwader (links) und IBEX-Motormäher mit Reform Bandrechen (rechts) (Bilder: Annika Woortman)

Beim Verfahrensschritt Bergen und Pressen wurden die identischen Verfahrenstechniken wie beim zweiten Schnitt eingesetzt. In Abbildung 3.22 sind alle Verfahren des dritten Schnittes grafisch dargestellt und zusammengefasst.



Abbildung 3.22: Verfahrenstechniken 3. Schnitt Exaktversuch Karolinenfeld

Verfahrenskonzepte im Versuchsjahr 2024

Im zweiten Versuchsjahr konnten wie geplant bei allen Schnitten die gleichen Verfahrenstechniken eingesetzt werden. In Abbildung 3.23 sind die einzelnen Verfahren zusammenfassend dargestellt.

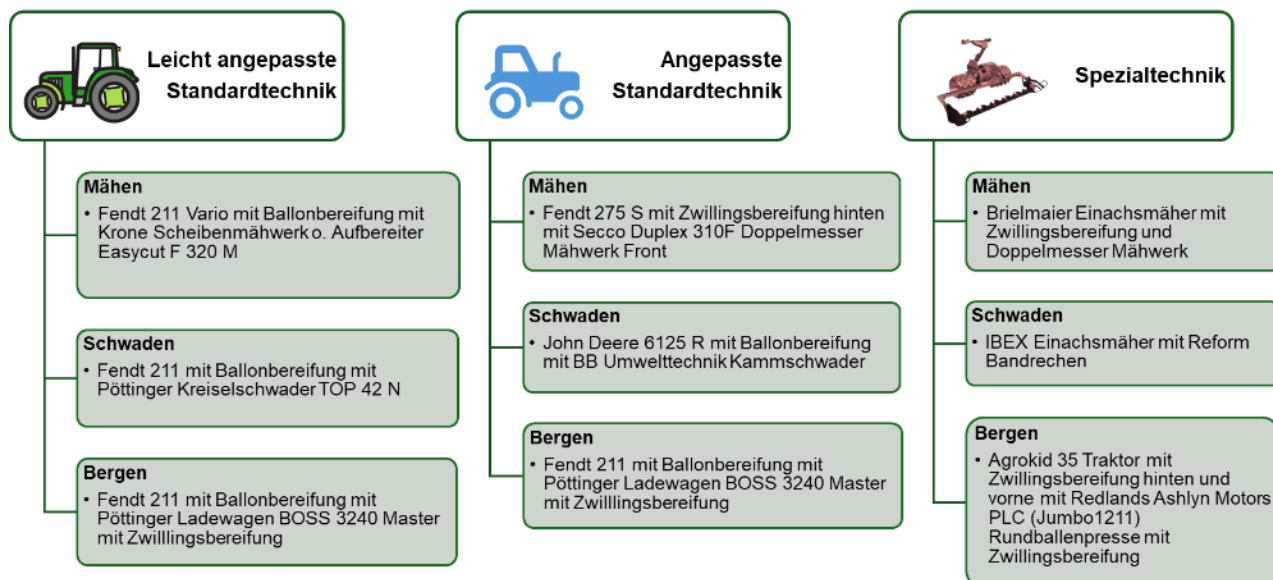


Abbildung 3.23: Verfahrenstechniken 1-3. Schnitt Exaktversuch Karolinenfeld

Für die leicht angepasste Standardtechnik wurde beim Verfahrensschritt Mähen ein Fendt 211 Vario mit Ballonbereifung mit Krone Scheibenmähwerk ohne Aufbereiter Easycut F 320 M eingesetzt. Für die angepasste Standardtechnik wurde ein Fendt 275 S mit Zwillingsbereifung hinten mit Secco Duplex 310F Doppelmesser Mähwerk im Frontanbau eingesetzt.

Die Versuchspartzen der Spezialtechnik wurden ebenso wie im ersten Versuchsjahr mit dem Brielmaier Motormäher mit BB Umwelttechnik Doppelmesser gemäht (siehe Abbildung 3.24).



Abbildung 3.24: Mähtechnikeinsatz im Versuchsjahr 2024 (Bilder: Annika Woortman)

Beim Verfahrensschritt Schwaden wurde bei der leicht angepassten Standardtechnik mit dem Fendt 211 mit Ballonbereifung mit Pöttinger Kreisschwader TOP 42 N geschwadet und beim Verfahren angepasste Standardtechnik wurde ebenso wie bei den letzten beiden Schnitten im ersten Versuchsjahr mit dem John Deere 6125 R mit Ballonreifen mit einem Kammschwader von BB-Umwelttechnik geschwadet. Bei der Spezialtechnik wurde das Schwaden wie beim letzten Schnitt im Vorjahr mit dem IBEX Einachsmäher mit einem Bandrechen von Reform mit einer Arbeitsbreite von 2,30 m durchgeführt (siehe Abbildung 3.25).



Abbildung 3.25: Schwadtechnikeinsatz im Versuchsjahr 2024 (Bilder: Annika Woortman)

Geborgen wurde das Anwelkgut ebenfalls ähnlich wie im Vorjahr, zuerst wurde von jeder Versuchspartze jeweils ein Rundballen mit der Spezialtechnik gepresst. Hierbei wurde auch der Kleintraktor Agrokid 35 allerdings mit Zwillingsbereifung vorne und hinten mit der gleichen Jumbo 1211 Rundballenpresse mit Zwillingsbereifung eingesetzt (siehe Versuchsjahr 2023). Nach dem Pressen der Ballen wurde wiederholt jede Parzelle einzeln mit dem Fendt 211 mit Ballonbereifung mit dem fürs Projekt erworbenen neuen Pöttinger Ladewagen BOSS 3240 Master mit Zwillingsbereifung beerntet (siehe Abbildung 3.26). Pro Parzelle wurden die Fuhren bei jedem Schnitt auf der Fuhrwerkswaage der BaySG am Betrieb gewogen und am Hof auf einer betonierten Fläche ausgeleert.



Abbildung 3.26: Bergetechnikeinsatz im Versuchsjahr 2024 (Bilder: Annika Woortman)

3.3.2 Datenerfassung und Messgeräte (LfL)

Bestandshöhe:

Von jeder Versuchsparzelle ($n = 18$) und jeder Praxisfläche die beprobt wurde, wurden an jeweils drei verschiedenen Stellen pro Schnitt die Bestandshöhe direkt vor dem Mähen mittels einem gängigen 2 m Meter- Zollstock und einem runden Deckel ($\varnothing 25$ cm) mit zentral gelegenem Loch ($\varnothing 5$ cm), passend für den Meterstab, bestimmt. Hierbei wurde in der Mitte des Deckels durch das Loch der Meterstab durchgeführt und anschließend mit einer „drop down“ Methode die Bestandshöhe bestimmt (angelehnt an Rayburn und Rayburn, 1998). Die Bestandshöhenmessung wurde mittels Deckel durchgeführt, um möglichst repräsentativ die oberirdische Biomasse abzüglich einzelner Obergräser bestimmen zu können (siehe Abbildung 3.27).

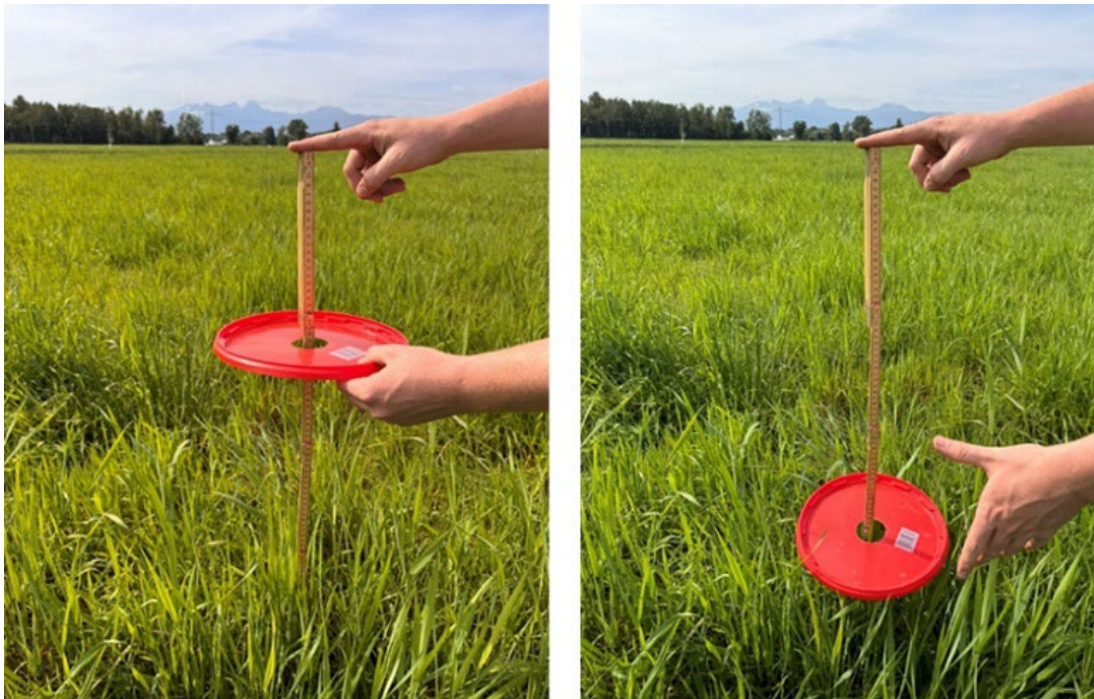


Abbildung 3.27: Bestandshöhenmessung mittels "drop down" Methode (Bilder: Annika Woortman)

Quadratmeterschnitte:

Zur Ermittlung der potentiellen Futterqualität, sowie des potentiellen Ertrags wurden mittels Quadratmeterschnitten jeweils drei Beprobungen pro Versuchsparzelle ($n = 18$) oder pro Praxisfläche pro Schnitt ($n = 3$) durchgeführt. Ziel hierbei war es Aussagen zu möglichen Ertragsdepressionen durch die unterschiedlichen Verfahrenstechniken (unterschiedliche Anzahl an Überfahrten mit unterschiedlichem Bodendruck sowie unterschiedlicher überrollter Fläche) tätigen zu können. Die Quadratmeter, die mithilfe eines rechteckigen zusammenschraubbaren Holzrahmens vor Ort genau bestimmt werden konnten (siehe Abbildung 3.28), wurden auf den Kleinparzellen an drei verschiedenen Stellen positioniert und anschließend wurde das Material mit einer Strauchschere (Stihl HSA 26 Akku) auf einer Höhe von ca. 10 cm abgetrennt. Damit konnte ein gutes Schnittbild erzeugt werden. Das abgetrennte Material wurde in Crispac Beutel aus Polypropylen (9 g), luftdurchlässig mit einer Super-Micro-Perforation (Loch Durchmesser: 0,5 mm) mit der Größe SM 330 x 750 mm gepackt und direkt mit einer Kern Waage (FKB 36K0.2) mit einer Genauigkeit von $\pm 0,2$ g verwogen. Die Probenütüten wurden mit einem etwa 2 mm dicken und 20 cm langen Juteband verschlossen und mit 11 cm breiten, robusten TT Kreuzschnittetiketten HDPE 0,3 mm aus dem online Markt von der Firma Baumann Saatzuchtbedarf GmbH beschriftet. Anschließend wurden die Proben zur Vortrocknung in die Trocknungsanlage der LfL am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (IPZ) gebracht. Hier wurden die Proben mehrere Tage mit einer Temperatur um die 40 °C vorgetrocknet, um das Material lagerfähig zu machen. Nach der Vortrocknung wurden die Proben nach und nach in einem Binder Trockenschrank M 720 (Nenntemperatur 300°C) am ILT bei 105 °C weitere 24 h getrocknet und anschließend mit der Kern Waage gewogen, um den Trockenmassegehalt (TM-Gehalt) des Materials zu bestimmen.



Abbildung 3.28: Quadratmeter auf einer Versuchsparzelle (Bild: Annika Woortman)

Stoppellängenmessung:

Um die Schnitthöhen der verschiedenen Verfahrenstechniken zu bestimmen, wurden die Stoppellängen direkt nach dem Verfahrensschritt Mähen mit einem gängigen Zollstock an drei unterschiedlichen Stellen je Parzelle erfasst.

Trockenmasse Beprobungen:

Bei den Exaktversuchen wurden nach jedem Verfahrensschritt jeweils zwei Trockenmasseproben pro Versuchsparzelle gezogen und verwogen. Bei den Praxisbetrieben wurden vor dem Mähen und nach dem Schwaden TM- Proben gezogen. Die Proben wurden über die gesamte Schwadlänge pro Parzelle mit 40 Stichproben pro Probe gezogen. Dabei wurden mindestens 500 – 1000 g Material in Crispac -Beutel (9 g) mit Super- Micro- Lochung gefüllt und direkt verwogen. Anschließend wurden diese Proben ebenfalls in der Trocknungsanlage vom IPZ in Freising vorgetrocknet und sukzessive im Trockenschrank des ILT auf 105 °C bis zur Massekonstanz getrocknet und so die TM ermittelt.

Ertragserfassungen:

Für die exakten Ertragserfassungen wurden zum einen alle Proben (exklusive des Jutebands, des Etiketts und der Probestüten), die von den einzelnen Kleinparzellen oder den Quadratmeterproben und den TM-Proben auf den Praxisbetrieben entnommen wurden, verwogen und die Trockenmasse bestimmt. Zudem wurde bei den Exaktversuchen jeder Rundballen (exklusive des Jutegarns, des Etiketts und der Silofolie) mittels landwirtschaftlicher Sackwaage gewogen als auch jede Fuhre mit dem Steyr Ladewagen pro Kleinparzelle auf einer Fuhrwerkswaage der BaySG gewogen (abzüglich des Leergewichts) um somit den abgefahrenen Trockenmasseertrag pro Kleinparzelle und Schnitt sowie den Jahrestrockenmasseertrag bestimmen zu können.

$$\begin{aligned} \text{TM-Ertrag in kg pro 0,18 ha pro Schnitt und Parzelle} = \\ (\text{TM Menge aller entnommenen Proben} + \text{TM Menge der Rundballen} \\ + \text{TM Menge der Ladewagenfahrten pro Parzelle}) \end{aligned}$$

$$\text{TM-Jahresertrag in kg pro 0,18 ha /a je Parzelle} = \sum \text{TM-Ertrag pro Parzelle und Schnitt}$$

Siliereignung:

Die Untersuchungen zur Siliereignung wurden lediglich bei den Exaktversuchen durchgeführt und einmalig bei den beiden Paludikulturflächen im schwäbischen und bayerischen Donaumoos als Stichprobe. Um die Siliereignung des unterschiedlichen Erntematerials, welches mit verschiedenen Verfahrenstechniken beerntet wurde, bestimmen zu können, wurde pro Kleinparzelle der Exaktversuche ein Rundballen in Silofolie gewickelt. Diese Ballen wurden vor dem Pressen, als auch nach 90 Tagen Silierprozess beprobt und zur Analyse ins Labor der LfL (AL3) nach Grub-Poing gegeben (siehe Abbildung 3.30). Vor dem Pressen wurde zeitlich direkt davor in der Fahrspur der Rundballenpresse etwa 500 – 1000 g vom Material aus dem Schwad in einen gängigen 6 Liter Gefrierbeutel (6 g) aus dem Lebensmitteleinzelhandel (LEH) gefüllt und anschließend mit der Waage (Kern) verwogen. Anschließend wurden die Proben mit einem Juteband verschlossen, einem Kreuzschnittetikett beschriftet und die Probe dann in einem Bosch Gefrierschrank Model GTM26A00/07 bei - 27 °C konserviert. Bei den silierten Proben wurde die Temperatur der Rundballen mit einem Digitalthermometer des Herstellers Greisinger electronic Typ GTH 1170 mit einem Messbereich zwischen -65 bis +1150 °C (siehe Abbildung 3.29) erhoben und anschließend mit einem Akku-Schlagbohrschrauber (siehe Abbildung 3.30) etwa 500 – 1000 g siliertes Material aus den Rundballen entnommen, in einen Gefrierbeutel gepackt und mit der Waage

(Kern) verwogen sowie mit einem Juteband verschlossen, einem Kreuzschnittetikett beschriftet und die Probe anschließend in dem Bosch Gefrierschrank konserviert.

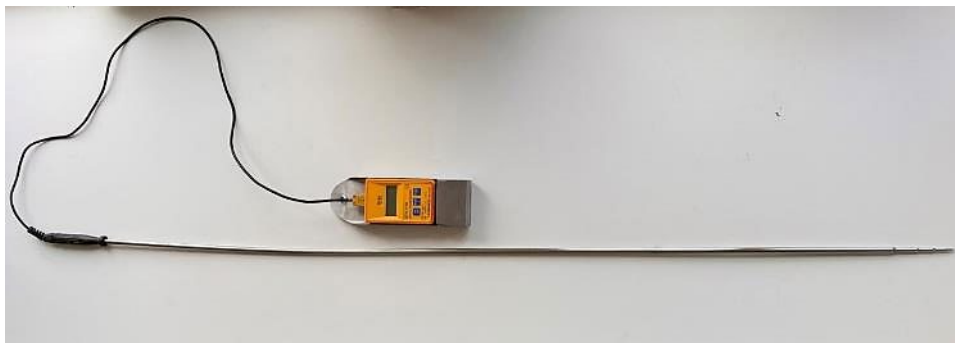


Abbildung 3.29: Greisinger Digitalthermometer GTH 1170 (Bild: Annika Woortman)



Abbildung 3.30: Silierte Siloballen bei der Probenahme (links) und Soloballen, der nach 90 Tagen Silierung beprobt wird (rechts). (Bilder: Annika Woortman)

Bohrtechnik zur Rundballenbeprobung:

Die silierten Rundballen wurden mittels einem Metabo Akku- Schlagbohrschrauber BS 18 LTX BL Q 1 mit einem von der Werkstatt des ILT der LfL selbst konstruierten Bohraufsatz (siehe Abbildung 3.31) beprobt. In jeden Ballen wurden mehrere Löcher gebohrt, um genügend Material für die Labor und Rückstellproben zu erhalten.



Abbildung 3.31: Metabo Bohrmaschine mit angebautem Bohraufsatz zur Siloballenbeprobung (Bilder: Annika Woortman)

Bodenfeuchtemessgerät:

Die Messung der Bodenfeuchte wurde mit dem Messgerät: Model 6085 HandiTrase TDR von Soilmoisture mit einem Slammer mit extra robusten Messstäben mit 0,9525 cm Durchmesser und einer Länge von 40 cm gemessen (siehe Abbildung 3.32). Die Bodenfeuchte wurde bei den Exaktversuchen pro Kleinparzelle an drei randomisierten Orten einmal pro Erntetag gemessen und bei den Praxisbetrieben wurden pro Fläche 10 randomisierte Messungen durchgeführt. Leider gab es bei der Messtechnik Komplikationen, sodass aufgrund von Defekten bei der Messtechnik teilweise keine Daten erhoben werden konnten.



Abbildung 3.32: Bodenfeuchtemessgerät bei der Messung auf der Versuchsfläche (Bild: Annika Woortman)

Scherfestigkeitsmessgerät:

Die Ermittlung der Scherfestigkeit wurde mittels manueller Messung mit einem Scherflügel mit Flügelsonde (Geonor H-704) durchgeführt. Die Scherfestigkeit der Grasnarbe wurde bei den Exaktversuchen in jeder Versuchsparzelle an drei Positionen nach jedem Verfahrensschritt und bei den Praxisbetrieben an 10 Positionen pro Fläche nach dem Mähen mit einem 151,5 mm langen und 75,8 mm breiten Scherflügel (H70, GEONOR Inc.) mit einem Messbereich von 0 bis 80 kPa ($0-8 \text{ T/m}^2$) gemessen. Der Scherflügel wurde bis zur Oberkante in den Boden mit einem Holzhammer mit einer Stiellänge von 100 cm und einem Schlagkopf aus Buche von 160/270 mm mit einem geschweißten Stahlmantel, einem Durchmesser von 60 mm mit einem Gewicht von ca. 5 kg eingeschlagen (siehe Abbildung 3.33). Anschließend wurde der Drehmomentschlüssel im Uhrzeigersinn gedreht, wobei ein Zeiger über eine Skala mitgeschleppt wird. Nachdem die Grasnarbe gerissen ist, bleibt der Zeiger beim maximalen Ausschlag stehen und der Scherwiderstand in kPa kann abgelesen werden. Die Scherfestigkeit des Bodens wurde nach jedem Verfahrensschritt (Mähen, Wenden, Schwaden, Bergen und Pressen) für jeden Schnitt dreimal pro Versuchsparzelle gemessen.



Abbildung 3.33: Scherfestigkeitsmessgerät im Einsatz (Bild: Annika Woortman)

Wiegemesstechnik:

Die Wiegunen aller Trockenmasseproben als auch Labor und Rückstellproben der Praxisbetriebe und der Exaktversuche, wurden mit einer Kern Digitalwaage sowohl beim frischen als auch beim getrockneten Material durchgeführt.

Die Rundballen der Exaktversuche wurden nach dem Wickeln mit einer Sackwaage des Herstellers Gebr. Janner einer bayerischen Waagen Fabrik aus der Oberpfalz (damals Mantel/Bayr. Ostmark) verwogen (siehe Abbildung 3.34). Nach 90 Tagen Silierung wurden die Ballen erneut mit Folie auf der Sackwaage gewogen. Es handelt sich hierbei um eine Differenzwaage, welche mittels zwei Prüfgewichten mit Zinnprägung vom Eichamt auf die Genauigkeit der Messung überprüft wurde. Die Folie wurde separat mit der Kern Digitalwaage gewogen und entsprechend abgezogen, sowie auch das Juteband, womit die Rundballen auf dem Feld gewickelt wurden, wurde abgezogen. Die Wiegunen der einzelnen Ladewagenfuhren pro Parzelle wurden vor Ort in Karolinenfeld auf einer digitalen Fuhrwerkswaage DD1010 von Pfister Waagen Bilanciai gewogen (siehe Abbildung 3.35). Die Waage hat eine Messgenauigkeit von $e = 10 \text{ kg}$ und kann maximal 30000 kg wiegen und braucht ein Mindestgewicht von 200 kg zur exakten Wiegun. Die Waage hat die Genauigkeitsklasse der Stufe III, sie wurde 2021 geeicht und hat alle 5 Jahre einen Eichtermin. Es wurde vor der ersten Fuhre das Leergewicht des Ladewagens erfasst sowie zwischendurch diverse Male, als auch nach der letzten Fuhre, um einen Mittelwert des Leergewichts zur Berechnung der Gewichte der einzelnen Fuhren zu ermitteln.

Auf den Praxisbetrieben ohne Fuhrwerkswaage kam eine mobile dynamische Achslastwaage (Intercomp LS630, Genauigkeit 2-3 % bei 6 km h^{-1} , Intercomp Company, Medina, USA) zum Einsatz.



Abbildung 3.34: Frisch gewickelter Rundballen beim Wiegen (links) und istorische Sackwaage der Gebr. Janner (rechts) (Bilder: Annika Woortman)



Abbildung 3.35: Fahrwerkswaage der BaySG in Karolinenfeld (links) und mobile Achslastwaage auf den Praxisbetrieben ohne Fahrwerkswaage (rechts) (Bilder: Annika Woortman)

Labor und Analyseverfahren:

Die Laboranalysen wurden in der Abteilung Laboranalytik (AL) der LfL in Poing - Grub durchgeführt. Je nach Probenart wurden unterschiedliche Parameter im Labor untersucht (siehe Tabelle 3.19). Die Proben wurden im Labor der AL in Grub - Poing nach akkreditierten Prüfverfahren einschließlich der Verfahren im flexiblen Geltungsbereich nach Berndt (2023) untersucht.

Tabelle 3.19: Untersuchte Parameter bei den Laborproben (Landtechnik)

Parameter:	Prüfverfahren	Beschreibung:	Probenart:
Feuchte	VDLUFA-Methode Band III 3.1 1976		Ausgangsmaterial; siliertes Material
Rohasche	VDLUFA-Methode Band III 8.1 1976		Ausgangsmaterial; siliertes Material
Rohfaser	VO (EG) 152/2009 Anhang Band III, I 2009		Ausgangsmaterial; siliertes Material
Rohfett	VO (EG) 152/2009 Anhang Band III, H 2009		Ausgangsmaterial; siliertes Material
Rohprotein	VDLUFA-Methode Band III 4.1.2 2004		Ausgangsmaterial; siliertes Material
aNDFom	VDLUFA-Methode Band III 6.5.1 2012	Neutraldetergenzfaser (aND Fom) nach Amylasebehandlung und Veraschung	Ausgangsmaterial; siliertes Material
ADFom	VDLUFA-Methode Band III 6.5.2 2012	Säuredetergenzfaser (AD Fom) nach Veraschung	Ausgangsmaterial; siliertes Material
ELOS	VDLUFA-Methode Band III 6.6.1 1997	Enzymlösliche Organische Substanz (ELOS) - Cellulasemethode	Ausgangsmaterial; siliertes Material
Pufferkapazität	VDLUFA-Methode Band III 6.6.1 1997	Einheit in g Milchsäure / kg TM	Ausgangsmaterial
wasserlösliche Kohlenhydrate	Hausmethode		Ausgangsmaterial
Alkohol	Hausmethode	Ethanol, Alkohol	Siliertes Material
pH	VDLUFA-Methode Band III 18.1 1976		Ausgangsmaterial
Gärsäuren	Hausmethode	pH-Wert, Milch-, Essig-, Propion- und Buttersäure, Siliererfolg/Gärqualität anhand der DLG-Punkte	Siliertes Material
Ammoniak	Hausmethode	Ammoniak, Anteil Ammoniak-Stickstoff an Gesamt-Stickstoff	Siliertes Material
Nitrat	Hausmethode	Nitrat	Siliertes Material
Mineralstoffe Mittels ICP-OES	VDLUFA-Methode Band III 10.8.2 2006	Kalzium (Ca), Phosphor (P), Natrium (Na), Kalium (K), Magnesium (Mg); Kupfer (Cu), Zink (Zn), Mangan (Mn), Eisen (Fe), Schwefel (S; nicht bei flüssigen Produkten)	Siliertes Material

Statistische Auswertung:

Die erhobenen Daten wurden in Microsoft® Excel® für Microsoft 365 MSO (Version 2208 Build 16.0.15601.20280) digitalisiert und dargestellt. In IBM® SPSS® Statistics (Version 29.0.2.0 (20)) wurden die statistischen Auswertungen der Daten der Praxisbetriebe und der Exaktversuche durchgeführt und visualisiert. Folgende statistische Methoden wurden für die Auswertung der Daten verwendet. Zum einen wurden alle Daten dem Test auf Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov Test) unterzogen. War Normalverteilung der Daten gegeben wurde anschließend ein F-Test auf Homoskedastizität durchgeführt. Anschließend wurde mittels einer univariaten Varianzanalyse (ANOVA) analysiert, ob es signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Gruppen gibt. Wurden durch die ANOVA Signifikanzen festgestellt wurde ein Post-Hoc-Test (Tukey-HSD) durchgeführt, um zu analysieren zwischen welchen Gruppen signifikante Unterschiede bestehen. Waren die Daten nicht normalverteilt wurde der nichtparametrische Kruskal-Wallis Test durchgeführt, welcher die Ränge der Daten über mehrere Gruppen hinweg vergleicht, um auf Unterschiede zwischen den (k) Gruppen zu testen. Ergab der Kruskal-Wallis Test eine Signifikanz wurde auch mittels eines Post-Hoc Testes analysiert, zwischen welchen Gruppen es signifikante Unterschiede gibt. Hierzu wurden paarweise Vergleiche nach Kruskal-Wallis und Bonferroni-Korrektur als Post-Hoc Test durchgeführt. Um zu analysieren, ob es statistische Zusammenhänge zwischen Variablen gibt, wurden diese auch zuerst auf Normalverteilung getestet (Kolmogorov-Smirnov Test). Waren die Daten normalverteilt wurde anschließend eine Korrelation nach Pearson durchgeführt. Im Falle, dass die Daten keiner Normalverteilung unterlagen, wurde eine Korrelation nach Spearman-Roh angewendet. Alle Tests wurden auf einem Signifikanzniveau von $\alpha < 0,05$ durchgeführt. (Signifikanzniveaus: Tendenz: ($p \leq 0,1$ und $> 0,05$), signifikant* ($\leq 0,05$ und $> 0,01$), hoch signifikant** ($\leq 0,01$ und $> 0,001$), höchstsignifikant*** ($\leq 0,001$)).

3.3.3 Aufwand (Verfahrensschritte, Arbeitszeit) für die Bewirtschaftung nasser Moorstandorte (LfL)

Zielsetzung war die Erfassung der Arbeitszeiten und Arbeitspersonen für die Ernte/Bewirtschaftung in der Praxis. Es wurde bei allen Praxisbetrieben, die betreut wurden, Arbeitswirtschaftsdaten erfasst. Hierbei wurden zu jedem Arbeitsschritt folgende Aspekte betrachtet und aufgenommen.

Zum einen wurde die arbeitswirtschaftliche Ist-Situation erfasst mit Hilfe von Arbeitstagebüchern die auf Praxisbetrieben durch den Landwirt eigenständig ausgefüllt wurden. Die Arbeitszeiten wurden während der gesamten Verfahrenskette Mähen bis Bergen durch den Landwirt selbständig aufgeschrieben. Zudem wurden die Arbeitsprozesse mittels GoPro-Kameras und GPS-Datenlogger erfasst und somit die Arbeitszeiten der einzelnen Arbeitsschritte sowie Störzeiten etc. herausgearbeitet. Ersten Einschätzungen nach entstehen bei den Rüst- und Abrüstarbeiten sowie während des Einsatzes der Techniken sehr stark erhöhte Arbeitszeitaufwände im Vergleich zu einem einfach zu bewirtschaftenden Grünlandstandort auf Mineralboden und somit auch erhöhte Kosten für die Bewirtschaftung von nassen Moorflächen. Mehrkosten sollen z. B. im Rahmen des bayerischen Vertragsnaturschutzprogramms ausgeglichen werden.

Bei der Vielzahl an Praxisbetrieben ist eine Menge an Daten entstanden, die nach und nach aufbereitet wurde. Aufgrund der hohen Datenmengen kann die vollständige Auswertung allerdings erst nach Projektende abgeschlossen werden.

3.3.4 Geerntete Erträge und Qualitäten (LfL)

Praxisbetriebe:

Da die Flächen der Praxisbetriebe alle eine andere Historie aufweisen und der Grad der Nässe unterschiedlich ist, sind auch die Ertragsdaten sehr divers und müssen demnach auch im Einzelnen gesondert betrachtet werden (siehe Abbildung 3.36 und Abbildung 3.37). Dieses gilt auch für die weiteren Versuchsparemeter wie z. B. die Laborergebnisse, die Bodenverhältnisse und auch für die Flora usw., die ebenso von Gebiet zu Gebiet unterschiedlich sind. Der Jahresertrag konnte auf 11 Betrieben ermittelt werden, in dem die Frischmasseerntemenge durch die Wiegung mittels einer mobilen Achslastwaage oder wenn auf dem Betrieb vorhanden mit einer Fuhrwerkswaage erfasst wurde sowie das Erntematerial entsprechend beprobt und analysiert wurde. Die Erträge und Qualitäten variierten stark. In den drei Versuchsjahren konnte festgestellt werden, dass eine Futternutzung des Ernteguts mindestens eine zweischürige Nutzung bzw. einen ersten Schnitt noch im Juli erfordert. Bei einer einschürigen Nutzung, die zudem oft erst im Spätsommer erfolgt, kann das Material meist nur noch als Einstreu oder für die Biogasanlage genutzt werden.

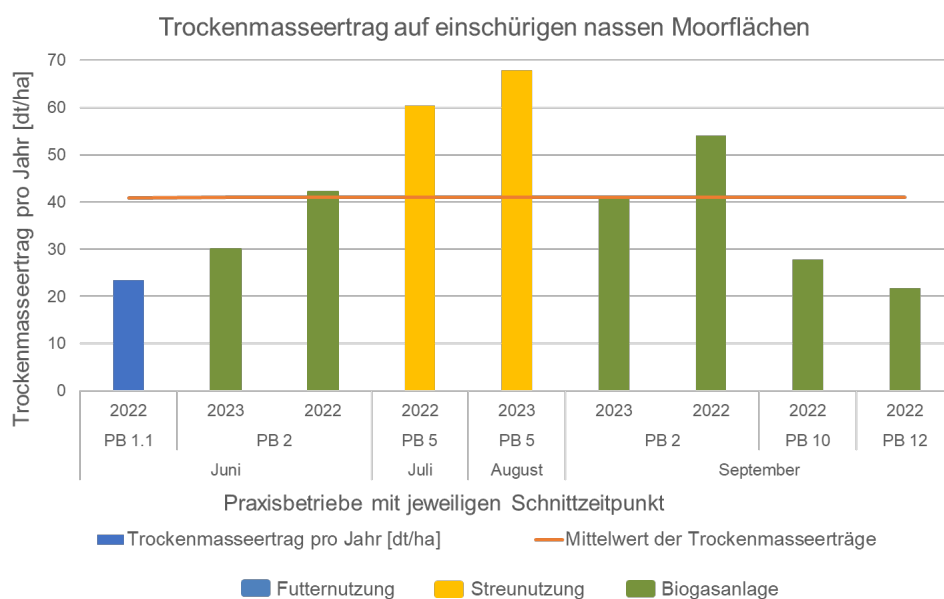


Abbildung 3.36: Trockenmasseertrag auf einschürigen nassen Moorpraxisflächen

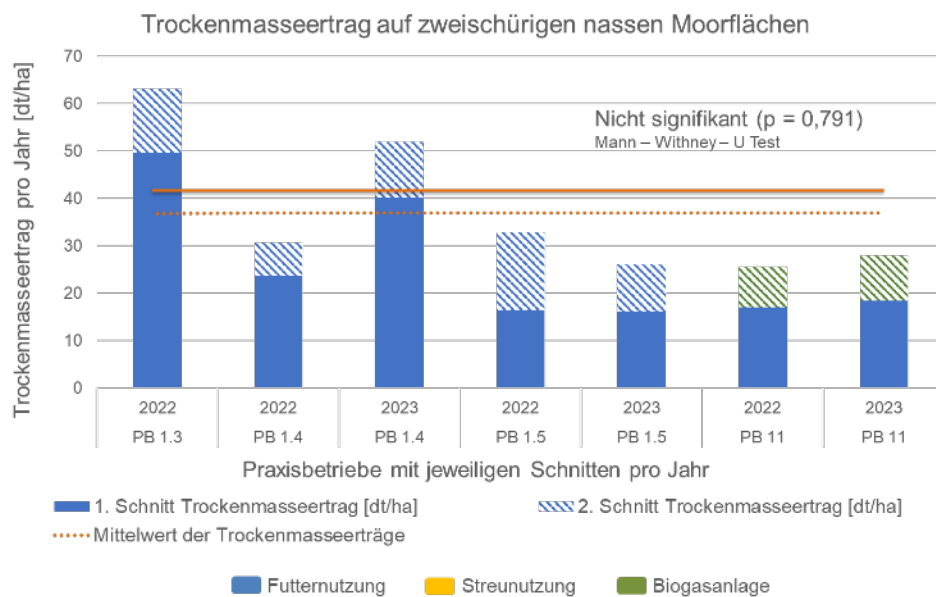


Abbildung 3.37: Trockenmasseertrag auf zweischürigen nassen Moorflächen

Die Rohproteingehalte lagen bei einer einschürigen Nutzung im Mittel bei 83 g/kg TM und bei einer zweischürigen Nutzung im Mittel bei 98 g/kg TM. Tendenziell sind die Gehalte somit höher bei der zweischürigen Nutzung ($p = 0,051$) (Abbildung 3.38, Abbildung 3.39)

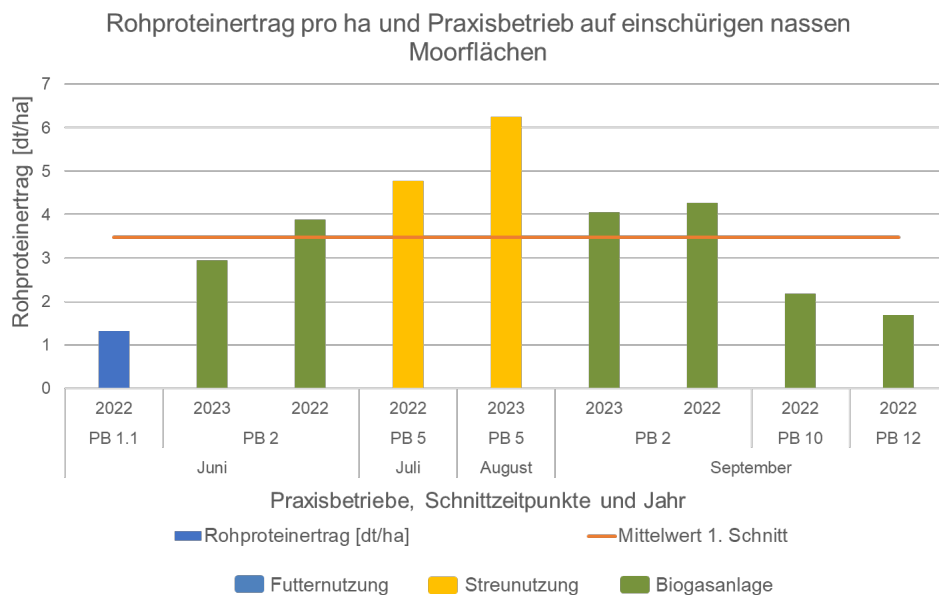


Abbildung 3.38: Rohproteintrag auf einschürigen nassen Moorpraxisflächen

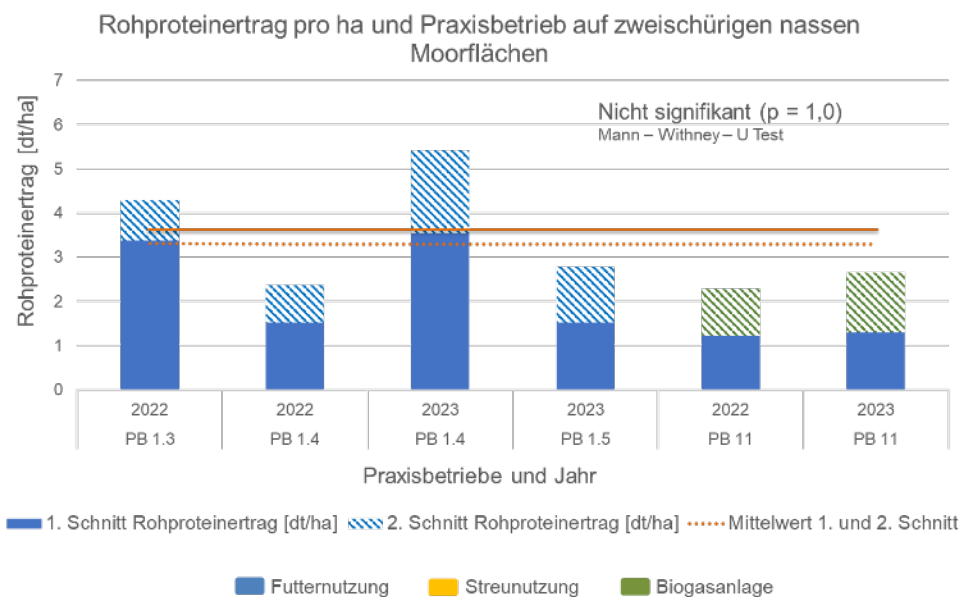


Abbildung 3.39: Rohproteintrag auf zweischürigen nassen Moorpraxisflächen

Erstaunlich gut sind bei den Laborergebnissen die Energiewerte der untersuchten Proben unterschiedlicher Betriebe (Abbildung 3.40, Abbildung 3.41). Bei allen für die Futternutzung verwendeten Chargen lagen die Energiegehalte im Mittel bei 5,4 MJ NEL auf einem doch für Jungvieh und Pferde akzeptablen Niveau. Die Energiekonzentrationen lagen bei einer einschürigen Nutzung im Mittel bei 5,1 MJ NEL/kg TM und bei einer zweischürigen Nutzung im Mittel bei 5,4 MJ NEL/kg TM. Somit liegen auch hier tendenziell die Konzentrationen höher bei einer zweischürigen Nutzung ($p = 0,080$).

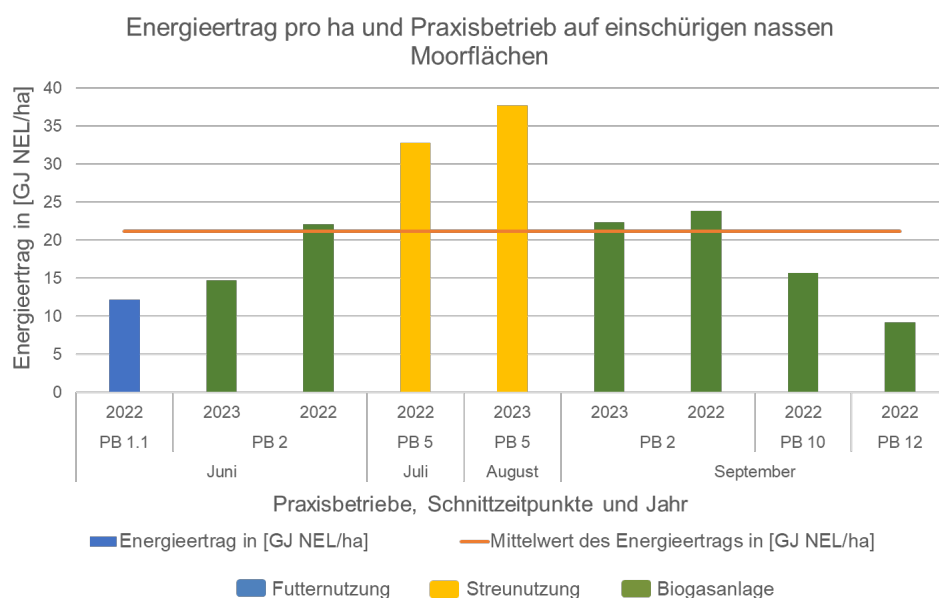


Abbildung 3.40: Energieertrag auf einschürigen nassen Moorpraxisflächen

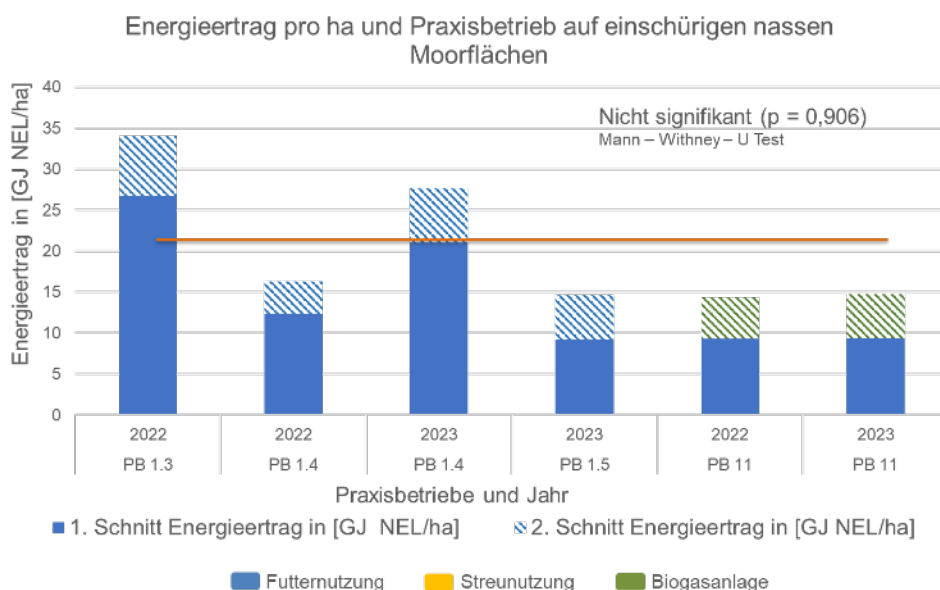


Abbildung 3.41: Energieertrag auf zweischürigen nassen Moorpraxisflächen

Exaktversuche:

Es können maßgeblich die Ergebnisse aus dem 1. Versuchsjahr 2023 dargestellt werden, da noch Versuchsergebnisse vor allem aus dem Labor, sowie dessen statistische Auswertung vom aktuellen Versuchsjahr 2024 ausstehen. Zudem sind weitere, detailliertere Versuchsergebnisse in der Masterarbeit „Vergleich von Ernteverfahrenskonzepten und dabei gewonnenen Silagen vom Nassgrünland auf einem wiedervernässten Moorstandort mit aktiver Wasserstandsregulierung“ von Annika Woortman zu finden.

Trockenmasseerträge:

Im Versuchsjahr 2023 konnten bei der Saatgutmischung RG 6 mit der leicht angepassten Standardtechnik auf der Versuchsparzelle 11 der höchste Jahresertrag mit 1675,1 kg TM auf 0,18 ha (entspricht 9,3 t/ha) geerntet werden. Der geringste Jahrestrockenmasseertrag wurde ebenfalls bei der Saatgutmischung RG 6 aber mit der angepassten Standardtechnik mit 1194,7 kg TM pro 0,18 ha (entspricht 6,6 t/ha) auf der Versuchsparzelle 4 erzielt. Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Techniken jedoch leichte Tendenzen zur Ertragssteigerung mit der leicht angepassten Standardtechnik. Zwischen den Saatgutmischungen gab es ebenfalls keine signifikanten Unterschiede, aber leichte Tendenzen zur Ertragssteigerung mit der Saatgutmischung RG 9. Weder die Wahl der Saatgutmischung noch die eingesetzte Technikvariante hatten einen signifikanten Einfluss auf die erzielten Gesamterträge. Der zweite Schnitt lieferte in allen Varianten den größten und der dritte Schnitt den geringsten Beitrag zum Jahresgesamtertrag. Wird der Rohproteinерtrag (XP-Ertrag) betrachtet, so wurde der höchste XP-Ertrag mit 1161,1 kg/ha/a in Versuchsparzelle 10 mit der angepassten Standardtechnik und der Saatgutmischung RG 9 erzielt.

Zudem wurden, um den potenziellen Ertrag je m² pro Schnitt und Jahr zu erfassen, je Schnitt Quadratmeterproben erhoben und der Aufwuchs nach dem ersten und dem zweiten Schnitt, jeweils nach der Hälfte der Zeit zwischen den Schnitten, erfasst. Es wurde geprüft, ob die Quadratmeterschnitte und der damit potenzielle Ertrag eine Aussagekraft bezüglich der Erträge je Schnitt haben. Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse zeigten eine signifikante positive Beziehung zwischen dem Gesamtertrag [t/ha] und dem potenziellen Ertrag [t/ha] für

alle drei untersuchten Schnitte. Im 1. Schnitt beträgt die Pearson-Korrelation zwischen den beiden Variablen 0,692, was auf eine positive Korrelation hinweist ($p < 0,001$). Im 2. Schnitt bleibt die Korrelation mit einem Wert von 0,684 ebenfalls stark und signifikant ($p = 0,002$). Beide Schnitte zeigen damit eine sehr ähnliche und robuste Korrelation zwischen dem Gesamtertrag und dem potenziellen Ertrag. Für den 3. Schnitt beträgt die Pearson-Korrelation 0,515, was ebenfalls eine signifikante positive Korrelation ergibt ($p = 0,029$). Die Ergebnisse wurden mittels einer Regressionsgeraden mit den einzelnen Schnitten farblich gekennzeichnet dargestellt (siehe Abbildung 3.42). Diese Ergebnisse bestätigen somit die Zuverlässigkeit der für diesen Einsatzzweck angewandten Quadratmeterproben als Methode zur Ermittlung der Erträge pro Schnitt.

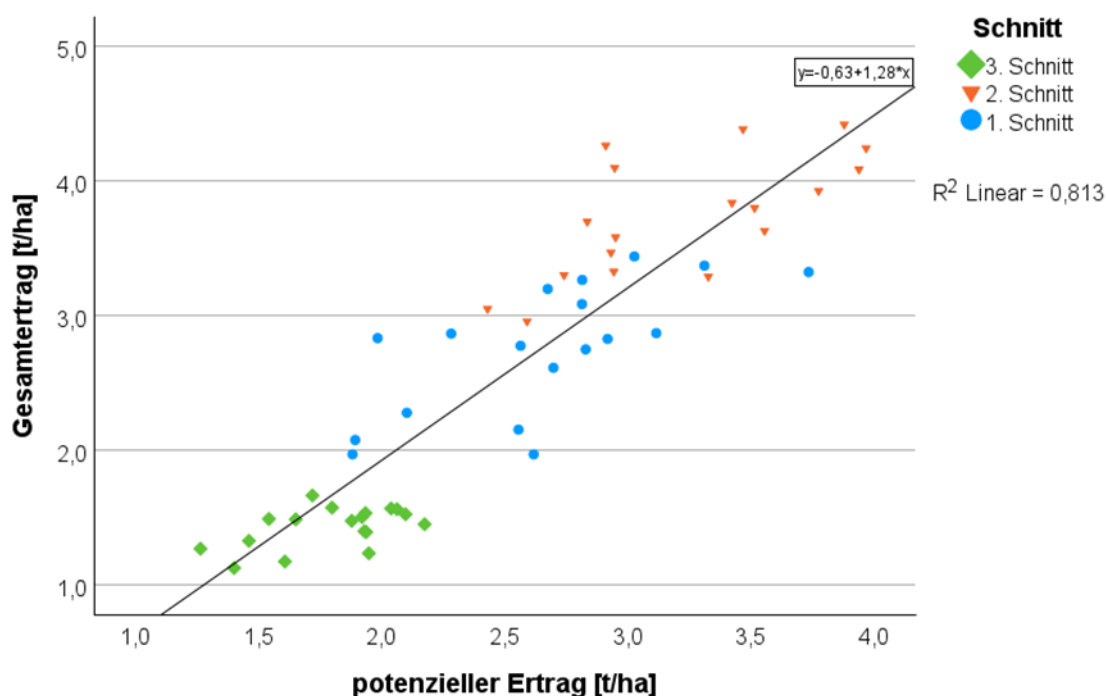


Abbildung 3.42: Korrelation des Gesamtertrags [t/ha] und des potenziellen Ertrags [t/ha] pro Schnitt, dargestellt anhand einer linearen Regression

Qualität und Siliereignung des Ernteguts:

Um die Qualität des Ernteguts zu beurteilen, wurde zum einen das Ausgangsmaterial und zum anderen das fertig silierte Material analysiert. Es wurden je nach Material verschiedene Parameter betrachtet und folgend die bedeutsamsten bzw. relevantesten aufgeführt. Um die Qualität des Materials vor dem Pressen der Rundballen zu beurteilen, wurde der Rohproteingehalt (XP-Gehalt) [%], der Rohaschegehalt (XA-Gehalt) [%] und der metabolische Energiegehalt (ME-Gehalt) [MJ] pro Versuchsparzelle analysiert und betrachtet.

Der XA-Gehalt wurde nur durch den Schnittzeitpunkt signifikant beeinflusst ($p < 0,001$). Die XA-Werte lagen zwischen dem 1. Schnitt bei 45,56 g/kg TM und dem 3. Schnitt bei 88,28 g/kg TM und stellen somit eine geringe bis normale Verschmutzung für eine Grünlandnutzung dar.

Um zu klären, ob das Material sich zur Silierung eignet, wurden vom Ausgangsmaterial diverse Parameter im Labor untersucht. Zum einen wurde die Pufferkapazität, die wasserlöslichen Kohlenhydrate sowie der Vergärbarkeitskoeffizient statistisch ausgewertet. Der erste Schnitt wies eine durchschnittliche Pufferkapazität von 34,1 g Milchsäure (MS) auf,

der zweite Schnitt von 42,5 g MS und der dritte Schnitt von 54,8 g MS. Damit liegen die Werte im typischen Bereich für Grasschnitte (LfL, 2023).

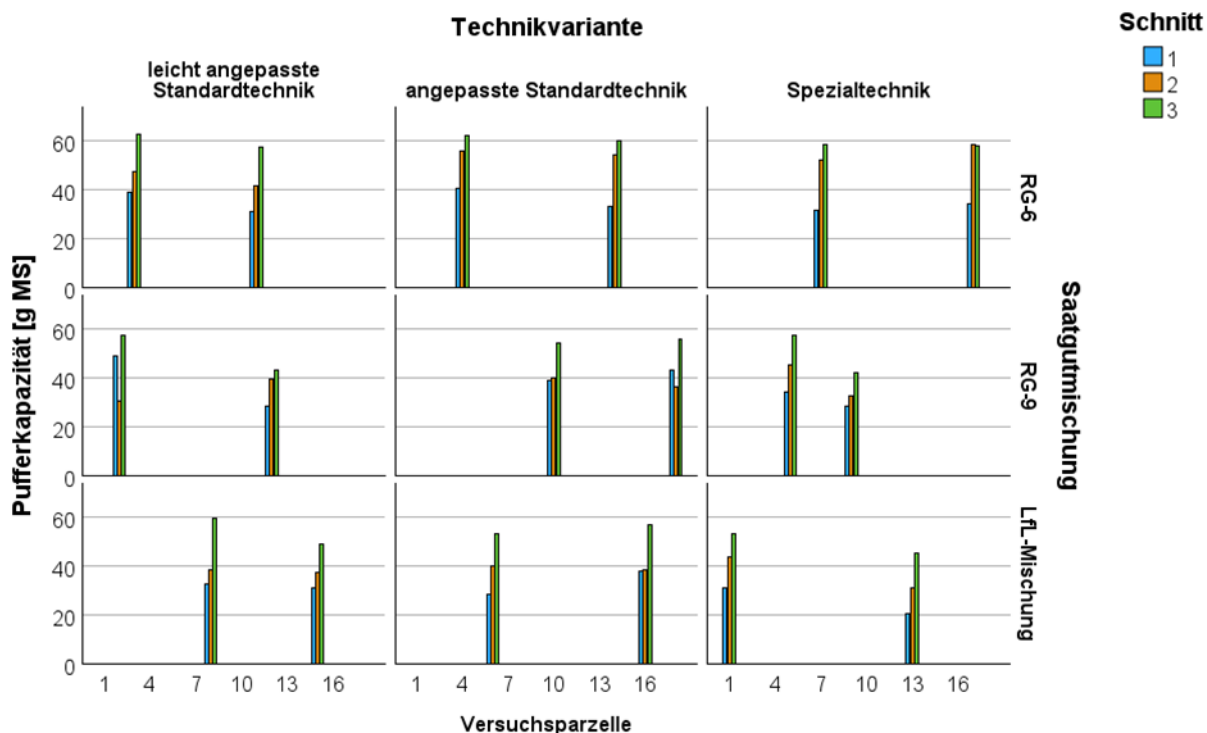


Abbildung 3.43: Pufferkapazität je Schnitt und Verfahrenstechnik und Saatgutmischung

Typische Werte beim Ausgangsmaterial für wasserlösliche Kohlenhydrate in verschiedenen Grünlandfuttermitteln liegen laut LfL (2023) im Bereich von 100 bis 200 g/kg TM. Die in den Exaktversuchen gefundenen Werte (z. B. erster Schnitt bei 206 g/kg TM, zweiter Schnitt bei 80 g/kg TM, dritter Schnitt bei 169 g/kg TM) entsprechen oft aber nicht immer diesem typischen Bereich und deuten darauf hin, dass die Verfügbarkeit dieser Kohlenhydrate hauptsächlich von den Schnittzeitpunkten und weniger von den Technikvarianten oder Saatgutmischungen abhängt (siehe Abbildung 3.43).

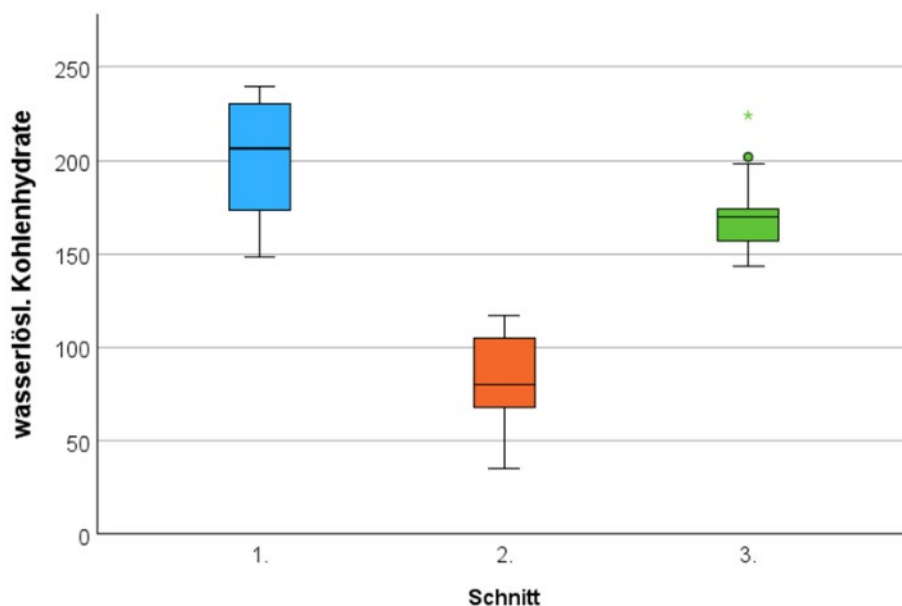


Abbildung 3.44: Wasserlösliche Kohlenhydrate je Schnitt

Es wurde zudem der Vergärbarkeitskoeffizient der Proben analysiert. Die Orientierungswerte für eine gute Grassilage legen einen Vergärbarkeitskoeffizienten von mindestens 60 fest (LfL, 2023). Die analysierten Proben zeigten Werte zwischen 48,8 (dritter Schnitt) und 113,4 (erster Schnitt), wobei die Proben des ersten Schnittes und der Gesamtdurchschnitt (73,9) über dem Mindestwert liegen. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass der Vergärbarkeitskoeffizient, der als Maß für die Fähigkeit des Materials zur effizienten Fermentation dient, hauptsächlich durch den Erntezeitpunkt und nicht durch die angewendete Technik oder Mischung beeinflusst wird. Dieser Befund wird durch Resch (2015) gestützt, der die Bedeutung der Pflanzenart und der Erntezeitpunkte für die Silierbarkeit hervorhebt.

Siliertes Erntegut:

Die untersuchten Silierparameter (Milchsäure, Essigsäure, Buttersäure, pH-Wert, Nitrat (NO_3), Ammoniak-N an Gesamt-N, Ethanol, Alkohol) wurden mit dem Kolomogrov - Smirnov Test auf Normalverteilung geprüft (siehe Tabelle 3.20). Alle Parameter sind nicht normalverteilt und liegen alle unter $p < 0,007$.

Tabelle 3.20: Test auf Normalverteilung der untersuchten Parameter des silierten Materials

Parameter	Kolmogorov-Smirnov			Min	Max
	Statistik	df	Signifikanz		
Milchsäure	0,178	54	p < 0,001***	0	41
Essigsäure	0,191	54	p < 0,001***	0	10
Buttersäure	0,492	54	p < 0,001***	0	5
pH-Wert	0,185	54	p < 0,001***	4,8	6,8
Nitrat (NO ₃)	0,469	54	p < 0,001***	51	268
Ammoniak-N an Gesamt-N	0,210	54	p < 0,001***	1	14
Ethanol, Alkohol	0,144	54	p = 0,007**	2	24

Die Analyse der verschiedenen Silierparameter (z. B. Milchsäure, Essigsäure, Buttersäure, pH-Wert) zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Schnitten, jedoch keine signifikanten Unterschiede für die verschiedenen Verfahrenstechniken und Saatgutmischungen. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit den Studien von Wichtmann, Schröder und Joosten (2016), die zeigen, dass die chemische Zusammensetzung des Materials und damit die Siliereignung stark vom Erntezeitpunkt beeinflusst wird. Die Fermentationsparameter einer Silage – wie pH-Wert, Milchsäure-, Essigsäure- und Buttersäure-Gehalt – sind entscheidend für die Qualität und Stabilität der Silage. Ein niedriger pH-Wert und ein hoher Milchsäuregehalt zeigen eine erfolgreiche Milchsäuregärung an, während hohe Gehalte an Essigsäure und Buttersäure auf unerwünschte Nebenfermentationen hinweisen können. Ein optimaler pH-Wert für Grassilagen sollte unter 5,0 liegen, um eine gute Fermentation und Lagerstabilität sicherzustellen (LfL, 2023). Die analysierten Proben wiesen im Mittel pH-Werte zwischen 5,75 (zweiter Schnitt) und 5,99 (erster Schnitt) auf, was weit über dem empfohlenen Wert lag. Diese erhöhten pH-Werte deuten darauf hin, dass die Silage nicht ausreichend fermentierte und damit sehr anfällig für Nacherwärmung oder Verderb ist. Die Milchsäuregehalte lagen zwischen 0,06 und 17,94 g/kg TM, wobei höhere Werte in der Regel eine bessere Fermentation anzeigen. Die Werte für Milchsäure sind in den meisten Proben niedriger als erwartet, was auf eine suboptimale Fermentation hinweist. Essigsäurewerte sollten idealerweise unter 3 g/kg TM liegen, um eine gute Futteraufnahme zu gewährleisten (Resch, 2015). Die Essigsäuregehalte in den Proben reichen von 0,06 bis 9,16 g/kg TM, wobei der zweite und dritte Schnitt deutlich über dem optimalen Bereich liegen, was auf eine unerwünschte Nebenfermentation hinweist. Der Buttersäuregehalt liegt im Durchschnitt bei 0,50

g/kg TM mit einer Standardabweichung von 1,23. Dieser Wert befindet sich unter dem empfohlenen Grenzwert von 1 g/kg TM, was positiv ist, da niedrige Buttersäuregehalte auf eine Vermeidung von Fehlgärungen (z. B. Clostridiengärung) hinweisen. Die hohe Standardabweichung deutet jedoch auf erhebliche Schwankungen zwischen den Proben hin, die auf inkonsistente Silierbedingungen hinweisen könnten. Die analysierten Proben weisen insgesamt suboptimale Fermentationsbedingungen auf. Die pH-Werte und Milchsäuregehalte liegen weit außerhalb der empfohlenen Zielbereiche, was auf eine unzureichende Vergärung hinweist. Hohe Essigsäurewerte in einigen Proben und die Variabilität der Buttersäuregehalte zeigen potenzielle Nebenfermentationen, die die Silagequalität und Lagerstabilität beeinträchtigen könnten. Eine sorgfältige Kontrolle und Anpassung der Silierbedingungen, wie Schnittzeitpunkt, Verdichtung und zwingend der Einsatz von Siliermitteln sind erforderlich, um die Qualität der Silage zu verbessern.

Abschließend kann festgehalten werden, dass das Versuchsmaterial in keinem der Schnitte erfolgreich siliert wurde. Eine hohe Pufferkapazität des Ausgangsmaterials reduzierte die Wirksamkeit der Milchsäuregärung, da sie die Ansäuerung des Silierguts erschwert hat. Zusätzlich war die Milchsäureproduktion in den analysierten Proben unzureichend, was durch die beobachteten niedrigen Milchsäuregehalte in den Silagen bestätigt wird. Eine niedrige Milchsäurekonzentration ist ein Indikator dafür, dass die erwünschte Milchsäuregärung, die für eine stabile und qualitativ hochwertige Silage notwendig ist, nicht in ausreichendem Maße stattfand. Die erhöhten Gehalte an Essigsäure und die Variabilität in den Buttersäurewerten weisen auf unerwünschte Nebenfermentationen hin, wie beispielsweise die Bildung von Essigsäure durch Hefen oder Clostridien, die die Silagequalität und deren Stabilität während der Lagerung negativ beeinflussen können. Um die Qualität der Silage in zukünftigen Versuchen zu verbessern, sollten verschiedene Maßnahmen ergriffen werden. Eine Anpassung des Erntezeitpunkts könnte dabei helfen, das Rohmaterial in einem physiologisch geeigneteren Zustand zu ernten, um die Pufferkapazität zu verringern und die Milchsäurebildung zu fördern. Eine verbesserte Verdichtung des Silierguts könnte dazu beitragen, die Sauerstoffverfügbarkeit zu minimieren und damit unerwünschte aerobe Mikroorganismen zu hemmen. Zusätzlich ist der Einsatz von Siliermitteln, wie beispielsweise Präparaten aus Milchsäurebakterien, erforderlich, um die Milchsäurebildung gezielt zu fördern und so die Fermentationsbedingungen weiter zu optimieren. Diese Maßnahmen zusammen könnten dazu beitragen, die Fermentation effizienter zu gestalten und eine qualitativ hochwertige, stabile Silage zu erzeugen.

3.3.5 Optimierungsmöglichkeiten für den Technikeinsatz (LfL)

Eine effektive Bewirtschaftung von nassen Moorflächen ist nur mit angepassten und spezifisch für die auf den einzelnen Moorstandorten etablierten Kulturen optimierten Ernteverfahren möglich. Die Entwicklung von innovativen Technologien könnten zur Minimierung der Bodenschädigung und zur Maximierung der Erntequalität beitragen. Insgesamt sind gezielte und standortspezifische Managementstrategien erforderlich, um eine resiliente landwirtschaftliche Nutzung wiedervernässter Moorflächen zu gewährleisten und ihre ökologische Bedeutung zu sichern. Um optimal geeignete Verfahren für die Moorbewirtschaftung zu entwickeln, bedarf es expliziter Forschung zur Technikentwicklung. Viele der derzeit in der Praxis eingesetzten Verfahrens- und Technikvarianten vor allem zur Paludikulturente sind Eigenentwicklungen bzw. Prototypen und sind daher nicht skalierbar. Zudem ist der Technikeinsatz nicht bei jedem Schnitt bzw. in jedem Jahr ähnlich wie im Vorjahr realisierbar. Damit muss derzeit oft spontan ein Teil ungemäht bleiben bis angepasste Technik verfügbar ist, oder es wird von Seiten eines Lohnunternehmers entsprechende Technik vorgehalten, so dass flexibel auf die

Flächenverhältnisse reagiert werden kann. Somit könnten kurz vor dem Erntetermin z. B. mittels Drohne und Kamera erzeugte Feuchtekarten und Ertragskarten die Planung für die notwendigen Verfahrens- und Technikvarianten gezielter erfolgen und Standzeiten sowie Störzeiten und somit Kosten einsparen.

3.3.6 Fazit Landtechnik (LfL)

Zur Ernte von Material aus nassen oder wiedervernässten Moorflächen ist in den meisten Jahren Spezialtechnik erforderlich. Teile der Flächen können dabei mit angepasster Standardtechnik (z. B. Ackerschlepper mit Zwillingsbereifung) geerntet werden. Vor allem für die nasseren Bereiche ist jedoch Spezialtechnik (z. B. leichte Mähtracs oder Einachstechnik) erforderlich. Bei den Arbeitsgeräten kommen normale Scheibenmäherwerke und für nasse Bereiche Doppelmessermäherwerke zum Einsatz. Ebenso ist es beim Zetten und Wenden, das in der Regel mit Kreiselzettwendern erledigt wird. Beim Schwaden kommen neben den üblichen Kreiselschwadern auch Bandrechen oder Kammschwader zum Einsatz. Zum Bergen werden neben leichten Ladewägen auch Rundballenpressen genutzt. Dabei kann es auch erforderlich sein, dass das Erntematerial zunächst aus der nassen Fläche gebracht werden muss und auf einer trockenen Fläche zum Anwelken erneut ausgebreitet werden muss.

Die Erträge und Qualitäten variierten stark, je nach Standort, Wiedervernässungsgrad bzw. aktuellem Wasserstand, Nutzungshäufigkeit und Jahr. In den drei Beobachtungsjahren konnte festgestellt werden, dass eine Futternutzung des Ernteguts mindestens eine zweischürige Nutzung bzw. einen ersten Schnitt noch im Juli erfordert. Bei einer einschürigen Nutzung, die zudem oft erst im Spätsommer erfolgt, kann das Material meist nur noch als Einstreu oder für die Biogasanlage genutzt werden. Die Rohproteingehalte lagen bei einer einschürigen Nutzung im Mittel bei 83 g/kg TM und bei einer zweischürigen Nutzung im Mittel bei 98 g/kg TM. Tendenziell sind die Gehalte somit höher bei der zweischürigen Nutzung ($p = 0,051$).

Die Energiegehalte der untersuchten Proben unterschiedlicher Betriebe lagen auf einem akzeptablen Niveau. Bei allen für die Futternutzung verwendeten Chargen lagen die Energiegehalte im Mittel bei 5,4 MJ NEL, so dass ein Einsatz des Futters für Jungvieh oder Pferde bezüglich der Bedarfwerte möglich ist. Die Energiekonzentrationen lagen bei einer einschürigen Nutzung im Mittel bei 5,1 MJ NEL/kg TM und bei einer zweischürigen Nutzung im Mittel bei 5,4 MJ NEL/kg TM. Somit liegen auch hier tendenziell die Konzentrationen höher bei einer zweischürigen Nutzung ($p = 0,080$).

Weiterhin muss ins Kalkül gezogen werden, dass die Ernte nicht jedes Jahr auf der ganzen Fläche möglich ist und auch nur nicht zur Verfütterung geeignetes Material geerntet werden kann. Damit ist insgesamt das Ernterisiko für nasse oder wiedervernässte Moorflächen als sehr hoch einzuschätzen. Dabei ist auch der Arbeitszeitaufwand aufgrund der häufigeren Rüstzeiten oder Störungen usw. als extrem hoch im Vergleich zu normalem Grünland zu veranschlagen.

Für die Exaktversuche in Karolinenfeld wurden drei Technikkonzepte eingesetzt. Zum ersten sollte leicht angepasste Standardtechnik verwendet werden (z. B. Ackerschlepper mit Doppelbereifung) und aufgrund der im Heck angebauten Technik z. B. beim Schwaden wurde über das Futter gefahren. Bei der zweiten Variante kam stärker angepasste Standardtechnik zum Einsatz (z. B. leichter Ackerschlepper mit Ballonreifen). Dabei war auch das Ziel, die Geräte im Frontanbau zu führen (z. B. Kammschwader), so dass möglichst nicht über das auf der Stoppel liegende Erntematerial gefahren wurde. Das dritte Technikkonzept bestand aus Spezialtechniken, die mit einem Einachstraktor mit Doppelbereifung

oder Stachelwalzen zum Einsatz kamen. Bei den bisher ausgewerteten Daten aus dem Versuchsjahr 2023 hatten weder die Wahl der eingesetzten Technikvariante noch die Saatgutmischung einen signifikanten Einfluss auf die erzielten Gesamterträge. Zwischen den Technikvarianten und Saatgutmischungen bestanden keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die Silierparameter (Milchsäure, Essigsäure, Buttersäure, pH-Wert.) Abschließend kann festgehalten werden, dass das Versuchsmaterial in keinem der Schnitte erfolgreich silierte. Um die Qualität der Silage in zukünftigen Versuchen zu verbessern, sollten verschiedene Maßnahmen wie z. B. der Einsatz von Siliermitteln ergriffen werden. Eine Anpassung des Erntezeitpunkts könnte dabei helfen, das Rohmaterial in einem physiologisch geeigneteren Zustand zu ernten, um die Pufferkapazität zu verringern und die Milchsäurebildung zu fördern. Die in 2024 erhobenen Daten konnten aufgrund fehlender Laborergebnisse noch nicht ausgewertet werden. Es bestätigte sich jedoch die sehr geringe Siliereignung des Erntematerials.

3.3.7 Aufbau eines Fuhrparks auf der Versuchsstation Karolinenfeld (BaySG)

Auf der Versuchsstation Karolinenfeld wurde die Ausstattung mit Maschinen entsprechend den Anforderungen der Grünlandbewirtschaftung auf wiedervernässtem, wenig tragfähigem Moorboden umgestellt. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf niedrigen Gewichten und breiten Bereifungen. Aus Projektmitteln konnten Geräte und Maschinen beschafft werden, die sich sowohl für die Bewirtschaftung der Versuchsparzellen als auch der Betriebsflächen eignen. Die ursprüngliche Absicht, mit Stachelwalzen und Raupenlaufwerken die Flächen zu befahren, wurde verworfen. Beide Techniken verursachen beim Wenden enorme Narbenschäden, was bei der geplanten 3-schnittigen Nutzung und im Parzellenmaßstab nicht tragbar ist. Lediglich bei einmaliger Nutzung, wie es bei den Paludikulturen geplant ist, lassen sich diese Fahrwerke einsetzen. Die im Projekt beschaffte Schlüsseltechnik für eine Nassbewirtschaftung von Grünland ist nachfolgend aufgelistet, eine detaillierte Aufstellung ist im Anhang dargestellt (Abschnitt 11.2).

Großtechnik:

Schlepper Fendt Vario 211 S; Ladewagen Pöttinger mit 4-Rad Doppelpendelachse; Frontmäherwerk Krone alpin-Ausführung; Frontseitenschwader Clementer 300F; Rohrflug

Parzellentechnik:

Einachsmäher Ibex mit Doppelbreitbereifung, Heuschieber, Frontschwader, Kreiselheuer und Mulcher; Miniballenpresse; Miniballenwickler

Im Vorläuferprojekt konnten bereits Breitreifen für Schlepper, Doppelmessermäherwerk (Front- und Heckanbau) und ein Einachsfahrzeug (Brielmeier) mit Stachelwalze beschafft werden.

Nach wie vor problematisch ist die Düngung auf den wiedervernässten Flächen der Station. Da eine Produktionsrichtung auf vernässtem Moor die Erzeugung von Futtermitteln für Wiederkäuer sein wird, ist als wichtige Option eine Gülledüngung vorzusehen. Hier gilt es, die Anforderungen sowohl der Betriebsflächen als auch der kleinstrukturierten Parzellenversuche in Einklang zu bringen. Als eine bodenschonende Variante bietet sich die Verschlauchung an, die allerdings sehr hohe Anforderungen an die Technisierung stellt und sinnvollerweise überbetrieblich und von spezialisierten und erfahrenen Betrieben erledigt wird. Eine andere Lösung ist der Einsatz kleindimensionierter Fässer mit breiter Bereifung, mit dem Nachteil einer geringen Flächenleistung. Die Herausforderung, die die Gülledüngung auf wiedervernässten, wenig tragfähigen Böden mit sich bringt, müssen zukünftig vertieft bearbeitet werden.

3.4 Nassweidesysteme (ARGE)

Im Schwäbischen Donaumoos wird bereits seit längerem die Weidehaltung auf nassen Moorstandorten erprobt (Abbildung 3.45). Diese extensive Beweidung stellt die Tiere, die Tierhalter und den Boden vor große Herausforderungen. Wirtschaftlich und arbeitstechnisch unterscheidet sich die Beweidung auf Feuchtflächen im Vergleich zu Flächen auf Mineralböden erheblich. Im Schwäbischen Donaumoos wird die Ganzjahreshaltung praktiziert, da die Winteraufstallung der Tiere sich nicht wirtschaftlich darstellen lässt.



Abbildung 3.45: Wasserbüffel im Schwäbischen Donaumoos

Die Anforderungen der Ganzjahreshaltung bezüglich Genetik der Robustrassen, Zaunbau, artgerechter Überwinterung, Tiergesundheit und Weidemanagement werden immer wieder geprüft und neue Lösungen entwickelt, wie z.B. die Einrichtung von befestigten Liegeflächen, damit die Tiere auch bei extremen Witterungsverhältnissen einen „trockenen Rückzugsraum“ haben.

Bei extremen Nässeverhältnissen kann es vorkommen, dass der Tierbesatz verringert werden muss bis hin zur Räumung der Fläche. Aufgrund der Erfahrung nach nun über 12 Jahren Beweidung auf nassen Moorflächen wurde für eine Ganzjahresbeweidung der Tierbesatz auf 0,5 GV/ha reduziert, wobei im Sommer auch höhere Besätze möglich und gegebenenfalls zu empfehlen sind. Jedes Moor und sogar jede Weidefläche ist individuell zu betrachten und entsprechend flexibel sind die Maßnahmen zu gestalten. Neben ausreichend großen Liegeflächen mit Unterstand und einer guten Zuwegung ist es vorteilhaft, wenn der Weidetierhalter auch eine Möglichkeit hat, im Winter die Tiere bei sich am Hof unterzustellen und versorgen zu können.

Als Weidetierart haben sich auf ganz feuchten Flächen die Wasserbüffel bewährt. Durch ihr spezielles Verdauungssystem sind sie in der Lage neben den Sauergräsern auch Pflanzen wie Rohrkolben, Schilf und Binsen aufzunehmen. Zudem sind sie träger als Rinder und Pferde und haben einen geringeren Bewegungsdrang als diese. Sie haben von Natur aus die Fähigkeit, sich auch aus sehr nassen und verschlammten Bodenverhältnissen zu befreien (Abbildung 3.46).



Abbildung 3.46: Suhle auf Wasserbüffelweide

3.4.1 Installation von Liegeflächen (ARGE)

Innerhalb des Projektes wurden auf drei Weideflächen im Leipheimer und Gundelfinger Moos Liegeflächen für Wasserbüffel und Schottische Highland-Rinder eingerichtet (siehe Abbildung 3.47). Alle Fläche wurden so angelegt, dass ein rückstandsloser Rückbau gewährleistet ist. Der Aufbau erfolgte ohne Bodenabtrag, eventuell mussten kleine Einebnungsarbeiten vorgenommen werden („schwimmende Fläche“). Die vorgesehene Fläche wird mit ca. 30 - 40 cm dicken Baumstämmen umrandet, die Baumstämme mit Eisennadeln gesichert. Auf den Boden innerhalb der eingefassten Fläche wird ein Kombi-Geogitter aus dem Straßenbau gelegt, auf das Geogitter folgt eine Grobschotterschicht, anschließend erhält der Grundaufbau ein Finish mit einer feineren Schotterschicht. Bei der Anlage wurde immer das Material aus der Region eingesetzt bzw. vom nächstgelegenen Kieswerk bezogen. Auf Flächen, die mit einer Weidehütte ausgestattet werden, wurde ein Fundament aus Beton-„Legosteinen“ integriert.



Abbildung 3.47: Liegefläche mit Weidezelt und Tränke

3.4.2 Erfahrungen mit den Liegeflächen (ARGE)

In 2021 wurde auf der großen Wasserbüffelweide eine Liegefläche eingerichtet und eine Weidehalle montiert. Im Jahr 2022 wurden zwei weitere Liegeflächen angelegt, die sich bestens in den Wintermonaten bewährt haben. Futter- und Tränkestellen sind ebenso auf diesen Flächen angebracht, so dass die Tiere sich unbeschwert bewegen und versorgen konnten. Die Fütterung mit Großballen konnte auch bei widrigsten Verhältnissen erfolgen. Der Weidekugelschuss und die jährliche Blutentnahme konnten ohne Komplikationen in den Wintermonaten vorgenommen werden. Diese Maßnahme wird nun auf allen Nassweideflächen im Schwäbischen Donaumoos erfolgen. Die Weidehalle wird aus optischen Gründen durch eine Weidehütte aus Lärchenholz (Abbildung 3.48) ersetzt (der größte Teil der Weideflächen liegt im Naturschutzgebiet).



Abbildung 3.48: Befestigte Liegefläche mit Weidehütte

Beim Zaunbau hat sich am besten der Einsatz von Holzpfohlen mit aufgeschraubten Isolatoren bewährt. Beim „Patura-System“ mit den nicht stromleitenden Timerholzpfohlen wurde festgestellt, dass sich diese Pfohlen im Laufe der Jahre mit Flechten und Moosen besetzten, die sich mit Wasser vollsaugten und entsprechend den Strom abgeleitet haben.

Bewährt haben sich zusätzlich Stromgeräte, die online überwacht werden und der Weidetierhalter eine Meldung auf sein Handy erhält, wenn ein Spannungsabfall erfolgt oder, wenn die Batterie zu schwach ist. Ebenso hat sich die Kameraüberwachung bewährt, da die Weideflächen in Mooren sehr entfernt von der Hofstelle und auch sehr weitläufig sind. So kann der Weidetierhalter neben der täglichen Kontrolle vor Ort zusätzlich die Herde beobachten, was gerade bei der Abkalbezeit eine zusätzliche Sicherheit bietet.

3.5 Fazit Etablierung und Bewirtschaftung von Nassgrünland (LfL, ARGE)

Für Moorstandorte, auf denen der Grundwasserstand angehoben werden soll, ist Nassgrünland die naheliegendste Nutzungsalternative für viehhaltende Betriebe. Um die Aufwüchse als Futter verwerten zu können, braucht es Pflanzenbestände mit nassetoleranten und ausdauernden Futtergräsern.

Versuchspartzellen mit einem hohen Anteil an Rohrglanzgras und Rohrschwingel zeigten nach der Neuansaat auf einem ehemaligen Ackerstandort und der Anhebung des Grundwasserstandes die größte Konkurrenzkraft gegenüber ungern gefressenen und damit nicht als Futter verwertbaren Pflanzenarten wie der Flatterbinse.

Bei einer dreimaligen Nutzung im Jahr wiesen vor allem Aufwüchse mit einem hohen Anteil an Rohrschwingel (im Versuch RG 11) höhere Gehalte an Energie und Zucker auf. Um hygienisch gute Futterqualitäten zu erzeugen, ist bei der Futterwerbung auf eine geringe Futterverschmutzung zu achten. Aufgrund der hohen Bodenfeuchte und ADFom-Gehalte empfiehlt es sich die Aufwüchse als Silagen unter Einsatz von Siliermittel in Form von Rundballen zu konservieren.

Alle Frischgrasaufwüchse sind grundsätzlich zur Strukturergänzung für die Fütterung von Milchkühen und in größeren Anteilen für die Fütterung von Jungvieh ab einem Alter von 9 Monaten, Trockenstehern und Schafen geeignet. Für eine bedarfsgerechte Fütterung sollte das Futter vorher auf Inhalts- und Mineralstoffe untersucht werden.

Für Bestände mit einem hohen Anteil an Rohrglanzgras scheint eine stoffliche Verwertung sinnvoller. Wenn das Rohrglanzgras im Ausgangsbestand vorhanden war, setzte sich die Art stets als Leitgras gegenüber allen anderen Arten durch. Außerdem erhöhte sich die Scherfestigkeit der Grasnarbe mit zunehmendem Ertragsanteil.

Tendenziell hatte eine viermalige Nutzung (leicht) positive Auswirkungen auf die Inhaltsstoffe gegenüber drei im Jahr genommenen Schnitten. In viermal genutzten, randlich von der Wasserstandsanhebung betroffenen Bereichen ist eine intensivere Nutzung möglich und sinnvoll. Dabei wurden im Versuch vor allem im Sommer Aufwüchse mit zumindest teilweise hohen Energie- und Eiweißgehalten erzeugt.

Die Etablierung von Rohrschwingel und Rohrglanzgras in einem bestehenden Grünlandbestand ist im Rahmen dieses Projektes nicht gelungen. Es sollte in Zukunft darauf geachtet werden, dass die Nachsaat gleichzeitig zur Wasserstandsanhebung, nicht vorher, ausschließlich in der zweiten Vegetationshälfte durchgeführt wird. In der Folge muss auch die Schnitthäufigkeit und die Düngung auf das jeweilige Leitgras angepasst werden.

Die Ernteverfahren und -techniken, die auf Nassgrünland zum Einsatz kommen, sind vielfältig. Dabei hat sich gezeigt, dass mindestens zwei Techniksets (leicht und stärker angepasste Standarttechnik) vorgehalten werden müssen, um den Großteil der Flächen zu ernten (in sehr nassen Jahren bzw. für sehr nasse Teilflächen ist auch Spezialtechnik notwendig). Es empfiehlt sich daher eine Zusammenarbeit mit einem spezialisierten Lohnunternehmer. Das Ernterisiko steigt sehr stark an und hängt nicht nur von den Witterungsbedingungen wie bei normalem Grünland ab, sondern auch vom Wasserstand in der Fläche. Auf sehr nassen Flächen muss das frisch geschnittene Material abgefahren werden und zur Trocknung/zum Anwelken auf einer trockenen Fläche erneut ausgebreitet werden. Insgesamt steigt der erforderliche Arbeitszeitaufwand aufgrund von mehrmaligen Rüstzeiten, häufigeren Störzeiten und einer aufwendigeren Erntelogistik sehr stark an und dürfte mindestens beim dreifachen Zeitaufwand im Vergleich zum normalen Grünland (Silageernte 2,20 h/ha und Schnitt (Mačuhová, J., Haidn, B. und Thurner, 2019) liegen. Die erzielbaren Erträge

und Futterqualitäten variieren ebenso von Schnitt zu Schnitt bzw. Jahr zu Jahr. Hauptursache ist neben der Zusammensetzung des Pflanzenbestands (v. a. auf nasseren Bereichen) dabei oft der spätere Schnitttermin, der aufgrund der nassen Bedingungen/Befahrbarkeit nicht früher erfolgen kann. Eine Futternutzung kommt nur bei mindestens zweischnittigen Flächen bzw. bei einem ersten Schnitt bis Ende Juli (einschürige Nutzung) infrage. Die erntbaren Futterqualitäten eignen sich nur für wenig anspruchsvolle Tiere wie Pferde oder Jungrinder, wobei eine einwandfreie mikrobiologische Qualität für die Verfütterung Voraussetzung ist. Ist diese nicht gegeben, kann das Material nur noch in einer Biogasanlage verwertet werden.

Die Beweidung auf Nassgrünland erfordert bei den Landwirten den geringsten Wechsel der gängigen Bewirtschaftungsformen. Die Mutterkuhhaltung mit Schottischen Hochlandrindern und Wasserbüffeln hat sich bewährt. Wasserbüffel sind in der Lage „minderwertiges Futter“ wie Sauergräser, Schilf und Rohrkolben aufzuschließen. Dabei wird hochwertiges Fleisch erzeugt, das sehr nachgefragt ist. Stellt man den Tieren eine ausreichende Infrastruktur wie trockene Liegeflächen und Unterstände, frisches Wasser und eine Zufütterung im Winter, ist eine Ganzjahresbeweidung möglich. Ein teurer Stallbau entfällt. Trotzdem ist die Bewirtschaftung nasser Weideflächen aufwendiger bei der Zaunpflege und bei der Tierbetreuung. In besonders nassen Winter und sensiblen Flächen kann eine Unterbringung der Herde am Hof notwendig sein. Ohne eine ausreichende Förderung der extensiven Beweidung lässt sich daher eine Wirtschaftlichkeit nicht darstellen.

4 Etablierung, Produktionstechnik und Verwertung von Anbau-Paludikulturen

Um Landnutzungen zu definieren, bei denen Moorböden für landwirtschaftliche Zwecke im nassen, torferhaltenden Zustand genutzt werden, wurde der Begriff Paludikultur geprägt. Das Kunstwort setzt sich aus lat. "Palus" für Sumpf und -kultur für die landwirtschaftliche Kultur zusammen (Wichtmann, Schröder und Joosten, 2016). Im Grundbegriff wird nicht unterschieden, ob die genutzte Pflanzenart ein natürlicher Bestand ist oder eine sogenannte Anbau-Paludikultur, die gezielt angelegt wurde. Da aktuell in der bayerischen Landschaft vor allem Grünland- und Ackernutzung auf Moorböden stattfindet, wird in diesem Abschnitt der Begriff Paludikultur synonym für Anbau-Paludikulturen benutzt. Eine traditionelle Paludikultur ist bspw. Schilf (*Phragmites australis*) mit Dachreet-Nutzung. Des Weiteren findet mit Rohrkolben (*Typha spp.*) schon seit mehr als 20 Jahren anwendungsorientierte Forschung statt (Pfadenhauer, 2002, Wichtmann, Schröder und Joosten, 2016).

4.1 Etablierung und Vermehrung von Paludikulturen (PSC-HSWT)

Schilf (*Phragmites australis*), Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*) und Rohrkolben (*Typha latifolia* und *Typha angustifolia*) können kostengünstig und einfach durch eine Saat etabliert werden. Details hierzu können in den Etablierungs-Leitfäden für Niedermoor-Paludikultur (Eickenscheidt, Krimmer und Drösler, 2023, Nordt et al., 2022) entnommen werden. Anders ist es bei Seggen-Arten (*Carex spp.*)

In die im Projekt MOORuse (2016-2022) an der HSWT durchgeführten Etablierungsversuche mit *Carex acutiformis* (Sumpf-Segge) hatten keinen unmittelbaren Erfolg mit der Ansaat, aber nach mehreren Jahren hat sich ein Bestand gebildet (Eickenscheidt et al., 2023). Die Vermutung liegt nahe, dass die geernteten Samen schnell in eine Dormanz fallen, die mit einer Vorbehandlung gebrochen werden kann. Hierauf wird im Kapitel „Keimfähigkeit“ Bezug genommen.

Pflanzversuche mit *Carex* im Projekt MOORuse (2016-2022, Eickenscheidt et al. (2023)) haben gezeigt, dass *Carex* als Zielkultur zunächst von Ruderalarten überwuchert wird, bevor es sich nach zwei Jahren durchsetzt. Daher wurden in MoorBewi Versuche zur Beikrautbekämpfung/Unterdrückung durchgeführt, um die Etablierung schneller und zuverlässiger zu machen.

Während Greifswald Moor Centrum (2016) lediglich eine Wasserstandsanhebung empfahl, um Seggenwiesen zu etablieren, ist dies allein in süddeutschen Niedermooren oft nicht erfolgsversprechend, da die Samenbanken der besonders interessanten Sumpf-Segge (*Carex acutiformis*) sehr variabel sind und diese Art oft in der Bodensamenbank fehlt (Leck und Schütz, 2005).

Eigenschaften von *Carex acutiformis*

Als eine Großsegge bildet die Sumpf-Segge (*Carex acutiformis*, EHRH.) monodominante Bestände in Niedermooren und Uferbereichen. Sie ist an Grundwasserstandsschwankungen angepasst und gedeiht am besten bei einem flurnahen Wasserstand knapp unter der Geländeoberfläche (vgl. Tabelle 4.1), der auch aus Klimaschutzgründen der ideale Wasserstand in Niedermooren ist. Es konnte gezeigt werden, dass insbesondere *Carex acutiformis* eine deutliche Treibhausgasenke darstellt. Die Emissionen waren negativ bei -13 t/ha*a (Bockermann, Eickenscheidt und Drösler, 2023, Bockermann, Eickenscheidt und Drösler, 2024).

Carex acutiformis verbreitet sich vegetativ über Rhizome und Ausläufer, aber sie blüht auch von Mai bis Juni und die Samen (botanisch Karyopsen, umhüllt von „Schläuchen“) reifen im Juli ab (Jäger, J., Eckehart, 2011). Die Samen haben ein Tausendkorngewicht von 0,68 - 0,80 g (Jelitto, 2024 und eigene Messung) und sind schwimmfähig. Die ökologischen Zeigerwerte nach Ellenberg sind folgender Tabelle zu entnehmen (Tabelle 4.1).

Tabelle 4.1: Ökologische Zeigerwerte für erwachsene, optimal entwickelte Carex acutiformis-Pflanzen unter Konkurrenz aus Jäger, J., Eckehart (2011)

Zeigerwert	Merkmal	Bereich	Bemerkung
L7	Licht	1 - 9	7 = Halblucht bis Volllicht
Tx	Temperatur	1 – 9	x = indifferent
K3	Kontinentalität	1 - 9	
F9(w)	Feuchtigkeitsstufe	1 – 12 (11=Wasserpflanzen)	w = wechselfeucht
R7	Reaktionszahl	1 – 9 (5= mäßig sauer)	7 = schwach sauer bis schwach basisch
N5	Stickstoffzahl	1 – 9	5 = mäßig stickstoffreich
S0	Salzzahl	0 - 9	0 = nicht salzertragend

Schütz und Rave (1999) konnten nachweisen, dass Samen von *Carex acutiformis* (aus norddeutscher Herkunft) besser in Licht als in Dunkelheit bei Langtagsbedingungen keimen und die Keimrate deutlich ansteigt, wenn die Temperatur 22°C tagsüber und 10°C nachts übersteigt. Bei noch größerer Tag-Nacht-Differenz und höherer Durchschnittstemperatur verbesserte sich die Keimung zusätzlich. Weiterhin wurde von ihnen die Stratifikation zur Brechung der Keimruhe (Dormanz) untersucht, was eine Dunkelkeimung in geringem Umfang ermöglichte und die Keimrate verbesserte.

Hinweis:

Aufgrund der verschieden gearteten Versuche, die in diesem Projektteil durchgeführt wurden, wurde für den vorliegenden Bericht eine Struktur gewählt, in der es statt eines großen Methodenteils bei jedem einzelnen Versuch ein kurzer Methoden- und Ergebnisteil dargestellt wird. Die gemeinsame Diskussion mehrerer Versuche findet jeweils am Ende eines Kapitels statt.

4.1.1 Keimfähigkeit (PSC-HSWT)

4.1.1.1 Saatgutbeschaffung: Material und Methoden (PSC-HSWT)

Das Saatgut für die Keim- und Saatversuche wurde auf der ehemaligen Versuchsfläche von MOORuse in Langenmosen durch händische Sammlung gewonnen, wobei die Fruchtsände samt Stängel gesammelt wurden. Anschließend wurde das Material lose zum Trocknen bei Raumtemperatur ausgebreitet. Nach wenigen Wochen wurde es in einer Standdreschmaschine an der LfL gedroschen und im Windsichter des Modells „Saugluft-Stufensichter Typ 2“ der Firma Baumann Saatzuchtbedarf gereinigt. Die Einstellungen des Windsichters wurden je nach Charge leicht angepasst, um hochqualitatives Saatgut „A“ aus jeder Charge

sicherzustellen. Die Einstellung ist dann optimal, wenn die abgetrennte niedrige Qualität „B“ eine Keimrate von knapp 5% aufweist.

Darüber hinaus fand in 2022 eine Wildsammlung in der Umgebung von Freising am See „Stoibermühle“ statt. Zudem wurden 1,3 kg Saatgut Saatguthändler Jelitto zugekauft, wobei die Herkunft des Saatguts in „Südosteuropa“ (ohne genauere Angaben des Händlers) liegt.

Die Benennung der Chargen erfolgt nach dem Muster: „Jahr – Sammelort (Kürzel) – Aufsteigende Nummer“. Beispiel: „21 LM 1“. Ein Teil des gesammelten Saatguts wurde gekühlt aufbewahrt, ein Teil ungekühlt.

4.1.1.2 Keimversuche: Material und Methoden (PSC-HSWT)

Keimversuche im Keimschrank

Die Keimfähigkeitstests wurden in Anlehnung an die „International Rules for Seed Testing“ (ISTA, 2021) durchgeführt. Jedes Versuchsglied bestand aus 4 x 50 Samen in Petrischalen (ohne Belüftungsnocken). Als wasserspeicherndes Substrat in den Petrischalen wurde sterilisierter (geglühter) Feinsand verwendet auf dem Filterpapier gelegt wurde. Wenn nur Filterpapier oder ein anderes Substrat verwendet wurde, ist dies bei den jeweiligen Varianten vermerkt.

Der verwendete Keimschrank ist ein JUIPO BPC2000H/C. Die Beleuchtung wurde auf 14 h Dauer eingestellt bei 50% der maximalen Beleuchtungsstärke, was einem Photonenfluss im PAR-Bereich von etwa 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ entspricht.

Als Temperatur wurde ein Wechsel zwischen Tag- und Nachttemperatur von 22°C zu 10°C mit einer Stunde Übergang verwendet, in Anlehnung an Schütz und Rave (1999) und Żukowski, Bogdanowicz und Lembicz (2010).

Um die Keimungsgeschwindigkeit zu quantifizieren, wurde eine logistische Wachstumskurve an die normalen Keimlinge eines jeden Keimversuchs gefittet. Anhand der Fitting-Parameter kann T_{50} , die Zeit bis zur Hälfte der finalen Keimrate, bestimmt werden. Da sich die Keimrate asymptotisch sehr langsam ihrem Maximum nähert, liefert diese Methode die höhere Präzision, als die finale Keimrate abzuwarten (vgl. Abbildung 4.1).

Tetrazoliumtests

Ergänzend zu den Keimversuchen wurden Lebensfähigkeitstests in Form von topografischen Tetrazoliumtests durchgeführt. Die Lebensfähigkeit sollte über der Keimrate liegen und zeigt auf, ob ein Teil der ungekeimten Samen in der Samenruhe (Dormanz) liegt. Details zum Verfahren sind dem AOSA Tetrazolium-Handbuch zu entnehmen (Logan-Miller und Peters, 2010). Die Zeit für die Anfärbung betrug stets 24 h oder länger, weil sie bei Raumtemperatur statt bei 30°C durchgeführt wurde.

Vorbehandlungen

Die in Tabelle 4.3 aufgeführten Vorbehandlungen können nach den „International Rules for Seed Testing“ (ISTA, 2021) die Keimrate erhöhen und wurden in Keimversuchen getestet. Der überwiegende Teil der Keimtests wurde mit der Charge 21 LM 3 A durchgeführt, da sich sie die durchschnittlichsten Eigenschaften der fünf Sammlungen von 2021 hatte.

4.1.1.3 Keimversuche: Ergebnisse (PSC-HSWT)

Die Keimung von *Carex acutiformis* hat erst nach 4-5 Wochen ihren finalen Wert erreicht. In Abbildung 4.1 ist der zeitliche Verlauf eines typischen Keimversuchs mit *C. acutiformis*

dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die gefittete Kurve (durchgezogene Linie) am Versuchsende nicht mit den Mittelwerten der Keimrate (Symbol: +) übereinstimmt. Daher wurde zur Bestimmung der Keimrate bei Versuchsende nicht der Fit, sondern (wie üblich) der Mittelwert der vier Wiederholungen herangezogen.

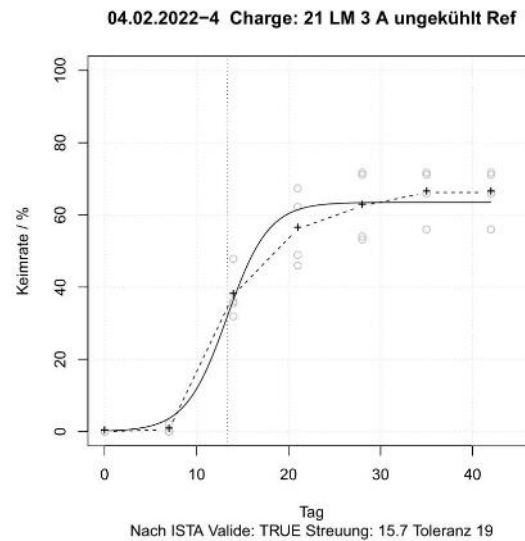


Abbildung 4.1: Typischer Keimverlauf von im Projekt verwendetem *Carex acutiformis*. Die senkrechte gepunktete Linie stellt den Zeitpunkt x_{mid} dar, der T_{50} annähert. Man beachte die lange Zeitskala der Keimung.

Die unbehandelten, selbst gesammelten und gereinigten Saatgutproben aus Langenmosen wiesen Keimraten zwischen 50 und 65% auf. Frühe Sammelzeitpunkte gegen Anfang Juli, wenn die Samen gerade anfangen, braun zu werden, hatten eine höhere Keimfähigkeit als die später gesammelten (Abbildung 4.2). Bei späteren Sammeldaten musste der Windsichter „milder“ eingestellt werden, um überhaupt noch A-Qualität auszufiltern, (siehe Tabelle 4.2).

Tabelle 4.2: Sammelzeitpunkte und Reinigungseinstellungen für Keimexperimente mit *Carex acutiformis*.

Charge	Sammeldatum	Erscheinungsbild im Feld	geschätzt BBCH-Skala	auf Einstellung Windsichter
21 LM 1	06.07.21	Frucht unterseits hellgrün, oberseits leicht bräunlich	81	21 / 10
21 LM 2	13.07.21	Frucht unterseits hellgrün, oberseits leicht bräunlich, Frucht löst sich leicht, Stängel mit Fruchtstand grün	85	21 / 11
21 LM 3	22.07.21	Frucht bräunlich, Stängel mit Fruchtstand hellbraun, trocken	89 / 93 (früchtender Stängel)	19 / 11
21 LM 4	30.07.21	Frucht bräunlich, Stängel mit Fruchtstand hellbraun, trocken	89 / 93 (früchtender Stängel)	19 / 11
21 LM 5	05.08.21	Frucht bräunlich, Stängel mit Fruchtstand hellbraun, trocken	89 / 93 (früchtender Stängel)	19 / 10

Die Ergebnisse der Keimexperimente mit Vorbehandlungen des Saatguts sind gemeinsam in Abbildung 4.3 dargestellt. Es sind die finale Keimrate und die halbe Keimungsgeschwindigkeit (T_{50}) geplottet. Jedes Keimexperiment ist ein Punkt in dieser Grafik.

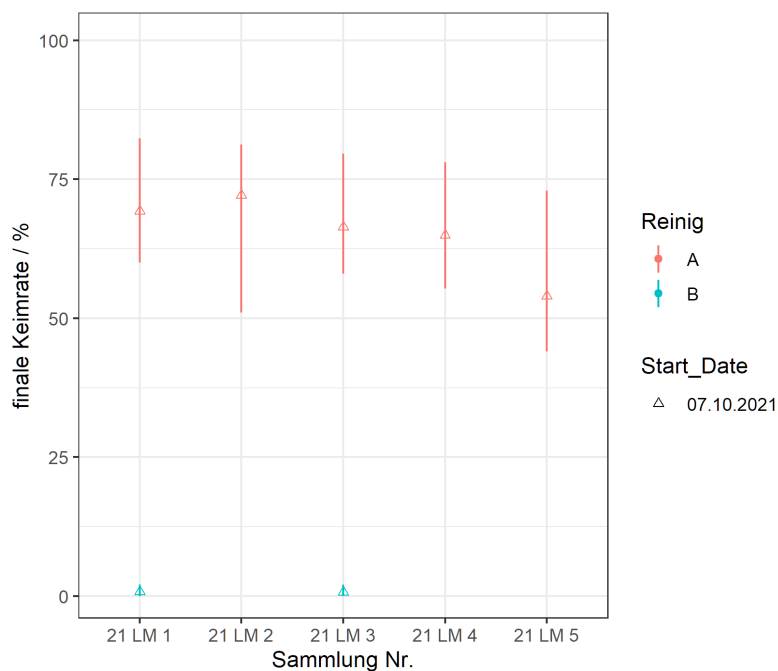


Abbildung 4.2: Keimrate in Abhängigkeit des Sammelzeitpunktes. Die Länge der Striche gibt min- und max- Werte der Wiederholungen wieder (links). Eindruck der zu 50% braunen Samenstände Anfang Juli (rechts).

Tabelle 4.3: Übersicht zu durchgeführten Vorbehandlungen in Keimversuchen

Kürzel	Name	Beschreibung
Ref	Referenz/ Kontrolle	Keine
Behandlungen gegen Dormanz:		Ziel: Brechen der Keimruhe
Strat...	Stratifikation/ Vernalisation 1 Woche bis ...	Kältebehandlung. Für einen bestimmten Zeitraum werden die Samen in feuchten Sand eingebettet und bei 4°C in der Kältekammer gelagert. Die anschließende Trennung erfolgt durch Aufschwemmen und Absieben der Samen
GA [Konz.]	Giberrelinsäure (GA3)	Phytohormonelle Behandlung mit einem Hormon für Wachstum und Streckung. Einweichen für 24 h in einer Lösung des Hormons. Die jeweilige Konzentration (500 - 3000) ist im Kürzel in mg/L angegeben
IES [Konz.]	Indolyl-3-Essigsäure (200 -500 mg/L)	Phytohormonelle Behandlung mit einem Hormon für die Wurzelbildung. IES wird schnell abgebaut. Die jeweilige Konzentration ist im Kürzel in mg/L angegeben
IBA [Konz.]	Indolyl-3-Buttersäure (200 -500)	Phytohormonelle Behandlung mit einem Hormon für die Wurzelbildung. IES wird langsam abgebaut. Die jeweilige Konzentration ist im Kürzel in mg/L angegeben
GA x IES [Konz.]	Kombination von GA3 und Indolyl-3-Essigsäure	Beide oben genannten (antagonistischen) Hormone werden in der Lösung gemischt. Während die Konzentration von GA3 konstant bei 500 mg/L gehalten wird, wird die Konzentration des Mischungspartners variiert.
GA x IBS [Konz.]	Kombination von GA3 und Indolyl-3-Buttersäure	Analog zu GA x IES
KNO ₃	Kaliumnitrat	Einweichen für 24 h in 0,2%-iger Kaliumnitrat-Lösung
Behandlungen gegen Hartschaligkeit:		Ziel: Verbesserung/ Beschleunigung der Wasseraufnahme
Scar1	Skarrifikation	Entfernen der Hüllspelzen (Schlauch) durch Reiben auf Schleifpapier
Scar2	Skarrifikation	Scar1 + Anrauen der Oberfläche des Samenskorns (Karyopse) durch Schwenken in Schleifmittel (Korund)
Scar3	Skarrifikation	Scar1 + Anritzen des Samenskorns (Karyopse)
Acid	Säure-Skarrifikation	Abspülen mit konzentrierter Schwefelsäure
PEG	Polyethylenglykol	Quellen lassen für 24 h in einem osmotischen Medium
Imb [X] [Y]	Imbibition/ Vorquellen X: 48 h bis 1 Woche Y: 24-72 h	Vorquellen für einen Zeitraum X und anschließend kühl stellen für einen Zeitraum Y
Hot	Einweichen in heißem Wasser	Vorquellen für wenige Stunden in Wasser mit 40 °C
Sonstige Behandlungen		
Hypochlor	Hypochlorid	Waschen mit Natriumhypochlorid-Lösung entfernt Keime auf der Oberfläche
Dark	Dunkelheit	Keimung unter Lichtabschluss

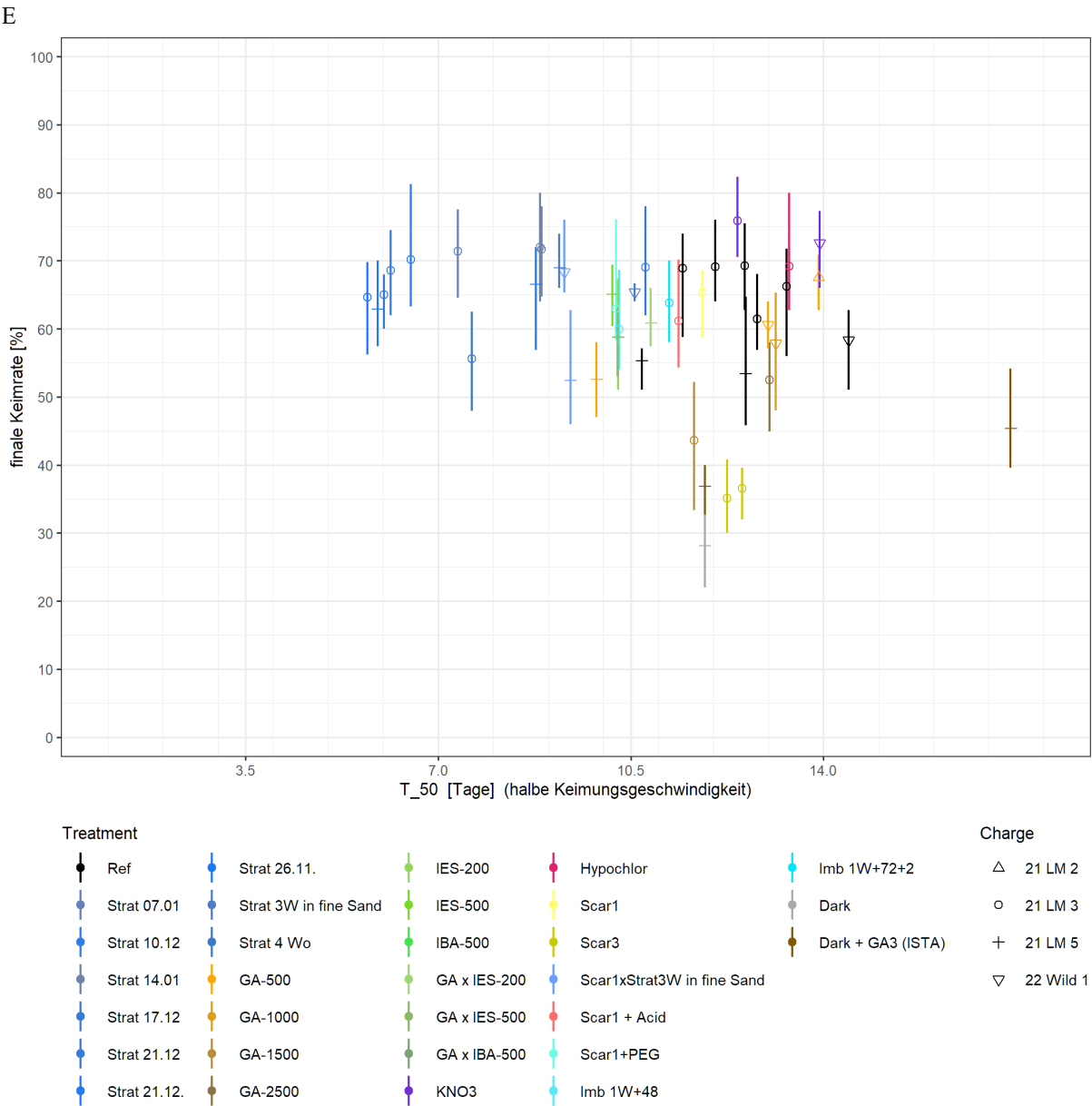


Abbildung 4.3: Finale Keimrate über T50. der nach ISTA-Kriterien (2021) validen Keimtests. Die Kontrolle/ Referenz ist in schwarz dargestellt, die stratifizierten in blau. Die Länge der Striche gibt min- und max- Werte der Wiederholungen wieder. Die verwendeten Kürzel sind in Tabelle 4.3 erläutert. Die attraktivsten Bedingungen sind eine hohe Keimrate und eine schnelle Keimung. D.h. je weiter oben links in diesem Plot eine Vorbehandlung zu finden ist, desto besser.

Zu beobachten ist, dass sich das Cluster von allen stratifizierten Varianten von allen anderen Vorbehandlungen deutlich abhebt. Sie sind immer 5-10 Tage schneller und weisen ausschließlich hohe Keimraten von 60 bis 75% auf. Dies ist detaillierter in Abbildung 4.4 dargestellt. Auch das Vorquellen in Kaliumnitrat führt zu erhöhten Keimraten.

Zu niedrigeren Keimraten führte das Verletzen der Samenschale (Scar3, durch Pilzinfektionen) und die Hormonelle Vorbehandlung über Konzentrationen von 500 mg/L hinaus

(viele abnormale Keimlinge, nicht dargestellt). Antagonistische Hormone zu geben, hat die Zahl der abnormalen Keimlinge kompensiert, aber in der Keimungsgeschwindigkeit und finalen Keimrate keinen Vorteil gegenüber der Stratifikation gebracht. Alle anderen Behandlungen bewegten sich im Mittelfeld und werden daher in diesem Bericht nicht näher erläutert.

Stichprobenartige Tetrazoliumtests von unbehandeltem Saatgut nach den Keimtests haben gezeigt, dass nach dem abgeschlossenen Keimtest noch 1,5 und 10 % der für den Keimtest eingesetzten Samen lebensfähig sind. Dies ist die Größenordnung, in der Dormanz beim unbehandelten Saatgut vorliegt.

Ebenfalls wurde zugekauft Saatgut der Firma Jelitto, dessen Herkunft nach Lieferantangaben in Südosteuropa liegt, getestet. Die unbehandelten Proben wiesen eine Keimfähigkeit (unter diesen Testbedingungen) von 25-35 % auf. Dies ließ sich auf ein Maximum von 50% steigern, bei Samen, denen die Schläuche entfernt wurden oder die angeraut wurden (Vorbehandlungen Skarifikation „Scar1“ und „Scar2“).

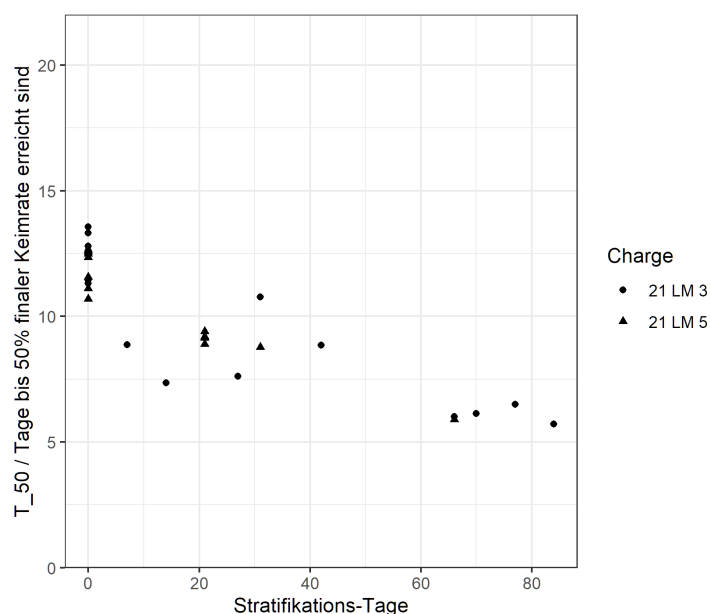


Abbildung 4.4: Keimungsbeschleunigung durch Stratifikation gegenüber unstratifiziertem Saatgut (Stratifikationsstage = 0)

Auch die Lagerfähigkeit des Saatgutes hat einen Einfluss: während die Keimrate des unbehandelten Saatguts über 6 Monate relativ konstant blieb, fiel sie nach 1,5 Jahren um 15%-Punkte ab.

4.1.1.4 Keimversuche: Diskussion (PSC-HSWT)

Die Keimtests mit unbehandeltem Saatgut im Zeitraum eines Jahres nach der Sammlung wiesen keinen großen Anteil mit Dormanz auf (<10%). Daher können die Vorbehandlungen auch die Keimrate nur in diesem Bereich verbessern und es waren keine großen Sprünge in der Keimrate möglich. Um die Keimrate insgesamt zu steigern, bleibt nur die „schärfere“ Aufreinigung als Option, was aber zu Verlusten führen kann, da die Trennschärfe bei der Aufreinigung in der Praxis nie perfekt sein kann.

Dass das Sammeldatum mit der einer notwendigen Veränderung der Windsichter-Einstellungen einhergeht, weist in diesem Fall in dieselbe Richtung: zu späteren Sammelzeitpunkten sind weniger gute Samen an den Samenständen. Im Feld sind bei Sammlungen im August bereits einige Spindeln der Samenstände leer und das Saatgut ist abgefallen.

Grund dafür, dass die hier untersuchten Samen nicht in die Dormanz gefallen sind, könnte eine Unterbrechung des Stoffwechsels durch die sofortige schonende Trocknung bei Raumtemperatur sein. Schütz und Rave (1999) diskutieren auch eine Auslösung von Dormanz durch Dunkelheit, was die hier gesammelten Samen erst in getrocknetem Zustand „erlebt“ haben.

Während durch die Stratifikation nur geringe Verbesserungen in der Keimrate zu erwarten sind, ist die durch Stratifikation erreichte Verbesserung der Keimungsgeschwindigkeit sehr interessant bei dieser langsam keimenden Kultur. Eine Verringerung von T50 lässt sich im Vergleich zu unstratifiziertem Saatgut bereit ab 7 Tagen Stratifikation erkennen und sie wird ausgeprägter ab 90 Tagen Stratifikation, vgl. Abbildung 4.4. Kettenring und Galatowitsch (2007) haben diesen keimungsbeschleunigenden Effekt einer mehrmonatigen Stratifikation bis 6 Monate ebenfalls nachgewiesen.

Erstaunlicherweise haben die hormonellen Vorbehandlungen nicht zu einer beschleunigten Keimung geführt, daher muss hier ein anderer pflanzenphysiologischer Mechanismus vorliegen als bei der Stratifikation.

4.1.1.5 Fazit Keimversuche (PSC-HSWT)

Für die Praxis relevant bleiben nur das Vorquellen („Priming“, Abkürzung „Imb“ in Abbildung 4.3), ggf. in leichter Kaliumnitratlösung und vor allem die Stratifikation / Vernalisation von Saatgut.

4.1.2 Keimungsbedingungen (PSC-HSWT)

4.1.2.1 Gewächshausversuche 23-02, 23-03: Keimbed. in versch. Gewächshäusern (PSC-HSWT)

In unbeheizten Gewächshäusern verschiedenen Typs wurden im Frühjahr Anzuchtplatten (Quickpot 77) mit je 1 Samenkorn pro Zelle ausgebracht und wöchentlich ausgezählt, Details sind in Tabelle 4.4 dargestellt.

Tabelle 4.4: Bedingungen des Vorversuchs (Gewächshaus)

Haus	Typ	Bewässerung	Vorkommnisse
A	Glashaus	Gießbewässerung 1x tägl. bis 2-tägl.	Vertrocknet in Gießpause
C	Folienhaus	Wöchentl. Anstau in Schale bis Oberkante	
		tägl. Anstau in Ebbe-Flut-Becken, 1 cm	
D	Glashaus	tief	Nachkeimung in August

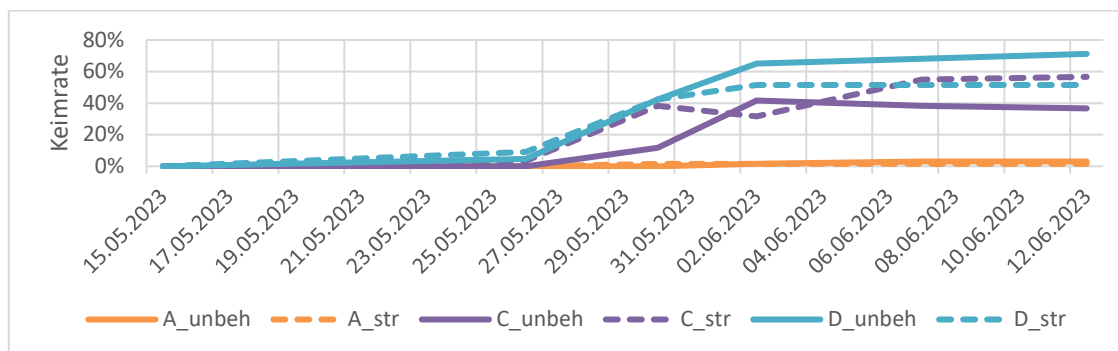


Abbildung 4.5: Verlauf der Keimung in den verschiedenen Gewächshäusern

Während beim ähnlichen Versuchsaufbau im April nur 10% Keimung erreicht wurde, ist die hauptsächliche Keimung an sehr sonnigen und warmen Tagen im Ende Mai und Juni geschehen (siehe Abbildung 4.5). Auch im August hat eine Nachkeimung in Haus D stattgefunden. Eine detaillierte Analyse von Temperaturen, Strahlung und Luftfeuchtigkeit hat noch nicht stattgefunden.

4.1.2.2 Saattiefe (Gewächshausversuch 24-02, Keimversuch) (PSC-HSWT)

Die mögliche Überdeckung (bzw. Ablagetiefe) wurde bei deutlich verschiedenen Bedingungen (s. Tabelle 4.5) überprüft. Die Samen (unbehandelt, 4x 50 St.) befanden sich auf einer konstanten Höhe über dem Topfboden und wurden verschieden stark überdeckt mit dem Torf-Ton-Substrat „Floraton-3“.

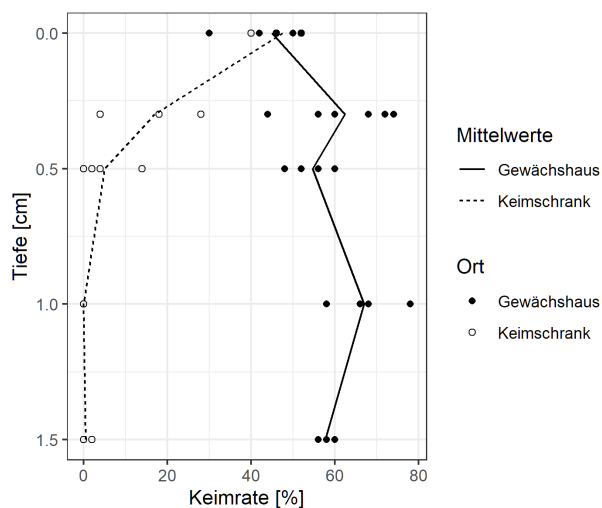


Abbildung 4.6: Keimrate bei verschiedener Ablagetiefe

Tabelle 4.5: Umweltparameter der beiden Standorte (Keimschrank, Gewächshaus, Stichpunktartig bestimmt)

Ort		Keimschrank	Gewächshaus
Licht	tags (PAR) [μmol Photonen/ ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)]	250	2000 (Hochsommer)
Bodentemperatur	tags	22	Max. 31 ± 2
[°C]			
Bewässerung		In Schalen mit konstantem Wasserstand 3 cm unterhalb der Samen	Kurzer Anstau 2x tägl.

Ergebnis

Bei den Bedingungen im Gewächshaus keimte *Carex* in deutlich größeren Tiefen als im Keimschrank.

4.1.2.3 Licht (Keimversuch im Keimschrank) (PSC-HSWT)

Material und Methoden

In einem der Keimexperimente (wie im Kapitel "Keimfähigkeit" beschrieben) wurden unbehandelte und hormonell vorbehandelte Schalen in eine unbeleuchtete Ebene des Keimschranks gestellt.

Ergebnis

Bei Abdunkelung im Keimschrank zeigte sich 30% Keimrate, und mit Behandlung mit 500 mg/L Gibberellinsäure (GA3) 39%. Bei anschließendem Zugang zu Licht im Keimschrank ab Tag 40 erhöhte sich die Keimrate auf 55%, wie bei der Referenz, bzw. beim hormonell vorbehandelten (nur) auf 49 %

4.1.2.4 Diskussion Keimungsbedingungen (PSC-HSWT)

C. acutiformis wird als Lichtkeimer beschrieben (Schütz und Rave, 1999), toleriert aber wie hier zu sehen eine sehr dünne Überdeckung. In das verwendete Substrat dringt Licht nur bis 0,5 cm Tiefe vor. Daher muss eine Dunkelkeimung bei sehr warmem Boden stattgefunden haben. Durch die starke Sonneneinstrahlung durchwärmt sich der (nur feuchte aber nicht wassergesättigte) Boden in größere Tiefen. Wenn der Boden wassergesättigt ist, können so hohe Temperaturen wie an der Oberfläche in ein paar cm Tiefe nicht erreicht werden. Eine Verbesserung der Dunkelkeimung durch Hormone oder Stratifikation liegt nahe, aber konnte noch nicht nachgewiesen werden. Ob die tiefenabhängige Keimung temperaturabhängig ist, müsste in Folgeexperimenten untersucht werden. Dem Parameter der Bodenfeuchte/ Wassergehalt und Bodenluft ist dabei besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

4.1.2.5 Fazit Keimungsbedingungen (PSC-HSWT)

Es konnte gezeigt werden, dass höhere Temperaturen die Keimung befördern, (wie Schütz und Rave (1999) angedeutet haben). Allerdings widersprechen die praktischen Erfahrungen von Żukowski, Bogdanowicz und Lembicz (2010), in dem eine Hauptkeimung im März beschrieben wird. Es kann empfohlen werden, an strahlungsreichen Tagen im späten Frühjahr bis Hochsommer im Gewächshaus flach anzusäen. Mit einer Anstaubewässerung im Ebbe-Flut-Becken wurden positive Erfahrungen gemacht. In Gewächshausexperiment zur

Saattiefe. wurde zudem die Bodenfeuchte konstant hochgehalten, was im Feld schwieriger ist.

4.1.3 Saatgutbildung (PSC-HSWT)

4.1.3.1 Saatgutverfügbarkeit am Markt (PSC-HSWT)

In den Jahren 2021 und 2022 wurden die zwei Firmen, die überhaupt *Carex acutiformis*-Saatgut im Sortiment führen, angefragt, mehrere kg Saatgut zu liefern. Es waren < 10 kg lieferbar.

4.1.3.2 Saatgut-Monitoring 2023-2024 Langenmosen (PSC-HSWT)

Methodik

Im Juli 2023 und Juli 2024 wurden auf 20 1x1 Plots in der bestehenden MOORuse-Fläche in Langenmosen das gesamte *Carex*-Saatgut gesammelt. Je 10 Plots lagen in der einschürigen und zweischürigen Teilfläche. Diese wurden gesiebt und im Windsichter bei denselben Einstellungen gereinigt, anschließend ausgewogen. Eine Untersuchung der Größenverteilung hat noch nicht stattgefunden.

Ergebnis

Das Ergebnis ist in Abbildung 4.7 dargestellt. Auf den zweischürigen Flächen (1 Sommerschnitt, 1 Winterschnitt) hat sich deutlich mehr Saatgut gebildet, dass aber kleinere oder weniger gefüllte Samen (B-Qualität) aufwies.

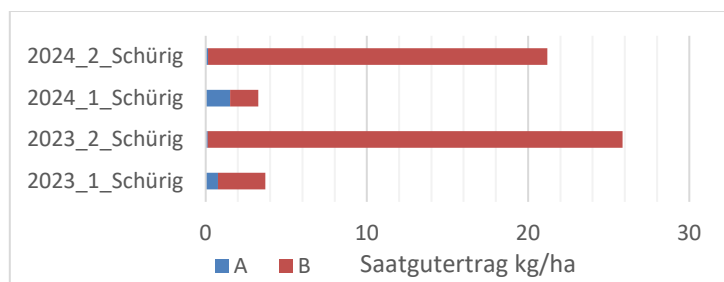


Abbildung 4.7: Saatgutbildung in Langenmosen in Jahr 2023 und 2024

4.1.3.3 Saatgutbildung an verschiedenen Standorten 2024 (PSC-HSWT)

Auf gepflanzten Parzellen des ehemaligen Beikrautmanagement-Versuchs in Karolinenfeld wurden drei Parzellen auf ca. 12 m² komplett abgeerntet, zum Trocknen ausgelegt und anschließend gedroschen und mit Sieben und im Windsichter vorgereinigt. Eine Endreinigung in A und B-Qualität hat noch nicht stattgefunden. Das vorläufige Ergebnis ist in Tabelle 4.6 festgehalten.

Tabelle 4.6: Mittlerer Grundwasserflurabstand (GFA) von 01.03.24 bis 15.07.24 des jeweils zu den Parzellen für die Saatgutbildung nächstgelegenen Pegels auf der Versuchstation Karolinenfeld

GFA Mittel [cm]	ungereinigtes Saatgut [g]
69.8	36.7
34.1	55.2
27.2	80.4

Unter der Annahme, dass Samen von A-Qualität in gleichen Anteilen in allen Proben vorkommen, ergibt sich ein eindeutiger Gradient mit 3 Punkten: je flurnäher der Grundwasserstand, desto mehr Saatgut wird gebildet. Die großen Grundwasserflurabstände in diesem Zeitraum ergeben sich durch das Abstellen der Zusatz-Bewässerung über mehrere Wochen, um eine Befahrung zu ermöglichen.

4.1.3.4 Maschinentest Dreschen (PSC-HSWT)

Methodik

Im Juli 2024 wurde versucht, Carex-Saatgut aus dem Stand zu dreschen. Hierzu wurde ein trockenes Wetterfenster abgewartet, sodass der Wasserstand ausreichend fiel, um mit dem schmalbereiften Parzellenmähdrescher des Typs „Hege 140“ einzelne Parzellen befahren zu können.

Ergebnis

Die Dreschtrommel ist nach wenigen Metern Fahrt in die dicht bestandene Parzelle verstopft (n=3). Die frischen Blätter der Carex-Pflanzen zerbrechen im Dreschkorb nicht. Ein Dreschen von trockenem Material zwei Monate später war jedoch problemlos möglich.

4.1.3.5 Diskussion Saatgutbildung (PSC-HSWT)

Ab Ende Juli fällt das reife Saatgut von den Pflanzen ab, es bleibt daher nur der Juli für die Ernte. Zu dieser Zeit welkt die Blattmasse aber noch nicht ab, sodass die Blätter noch zu zäh und reißfest sind, um in der Dreschtrommel zerschlagen zu werden. Die verwendete Dreschmaschine hatte einen sehr kleinen Durchmesser des Dreschkorbs, was leicht zu Verstopfungen führt. Ein anderes Dreschmaschinenmodell hat auf der MOORuse-Fläche im Freisinger Moos erfolgreich aus dem Stand gedroschen (für Details siehe Eickenscheidt et al. (2023)). Beim Dreschen sollte für das kleine Saatgut von 0,7-1,1 mm Größe ein feiner Dreschkorb mit Gitterweiten von bspw. 1,5 x 4,5 mm benutzt werden, damit nicht zu viel Blattmaterial gesammelt wird. Hierzu heißt es in Eickenscheidt et al. (2019): „Am 18. Juni konnte erstmalig Saatgut von *Carex acutiformis* in den Saatgutgewinnungsstreifen geerntet werden. Insgesamt konnten auf knapp 200 m² 1,5 kg autochthones Saatgut gewonnen werden.“ Dieser Wert liegt in der Größenordnung der in Langenmosen 2023/24 geernteten Saat. Dort bildet sich auf der zweischürigen Fläche kleineres Saatgut als auf der einschürigen Fläche. In der B-Fraktion befindet sich höchstwahrscheinlich noch keimfähiges, aber kleines Saatgut, da die Windsichtereinstellungen für die Vergleichbarkeit der Standorte gleich gelassen wurden, aber normalerweise an neue Saatgutchargen angepasst würden.

Im Freisinger Moos konnten im Jahr 2024 nur minimale Saatgutmengen geerntet werden und am Standort Riedhausen 2023 ebenfalls nicht. Beide Standorte waren in diesen Jahren eher trocken. Mit den vorläufigen Ergebnissen aus Karolinenfeld lässt sich folgern, dass die Menge an gebildetem Saatgut ebenfalls vom Wasserstand abhängig ist. Wie in Żukowski, Bogdanowicz und Lembicz (2010) angedeutet wird, kann die Saatgutbildung vom Alter der Mutterpflanzen und damit vom Bestandesalter abhängen, was hier nicht ausgeschlossen werden kann.

4.1.3.6 Fazit Saatgutbildung (PSC-HSWT)

Wie im Kapitel Keimversuche gezeigt, kann eine frühe Ernte Anfang Juli empfohlen werden. Wegen der scheinbaren Wasserstandsabhängigkeit der Saatgutbildung muss auf Saat-

gutgewinnungsflächen ein Wasserstandsmanagement installiert sein oder die Dreschmaschinen müssen angepasst werden. Eine definitive Aussage über die Menge der Saatgutbildung kann erst nach weiterer Reinigung des Saatguts erfolgen.

4.1.4 Anzucht im Gewächshaus (PSC-HSWT)

4.1.4.1 Bachelorarbeit Jungpflanzenaufzucht (PSC-HSWT)

Um die Düngung und Bewässerung während der Aufzucht von Sämlingen im Gewächshaus zu optimieren, wurde eine Bachelorarbeit im Projekt vergeben, die von Herrn Lohr und Prof. Hertle (HSWT-Institut für Gartenbau Weißenstephan) betreut wurde (Pietsch, 2024). Um gleiche Startvoraussetzungen zu schaffen, wurden die Samen im Keimschrank zum Keimen gebracht und anschließend pikiert. Als Nährlösung wurde ein Mineraldüngergemisch, das auf der Bulk-Zusammensetzung erwachsener *Carex*-Pflanzen basierte, in verschiedenen Düngestufen (siehe Tabelle 4.7) und/ oder mit P-Reduktion gegeben und in den Vorratsbecken der Ebbe-Flut-Tische zyklisiert. Die Bewässerung im Ebbe-Flut-Verfahren fand kurz (ohne Anstau) statt.

Tabelle 4.7: Nährstoffgehalte im Substrat (Grunddüngung) und Düngelösung zum Nachdüngen (aus Pietsch, 2024)

Nährstoffangaben und Parameter der eingesetzten Substrate												
Substrat			pH-Wert	Salzgehalt [g/l]	NH ₄ -N [mg/l]	NO ₃ -N [mg/l]	N _{löslich} [mg/l]	P ₂ O ₅ [mg/l]	K ₂ O [mg/l]			
Weißtorf			5,8	0,90	81	50	131	101	145			
Weißtorf + Carexkompost			5,9	1,35	36	140	176	135	411			
Nährstoffangaben für Nährlösung 0,6 ‰ in mg/l												
NO ₃ -N	NH ₄ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	SO ₄	Ca	Fe	MgO	B	Cu	Mn	Mo	Zn
86,4	3,6	45	117	50	91,75	0,585	0,6	0,06	0,09	0,15	0,003	0,03

„Zusammenfassend wird für die Jungpflanzenanzucht von *Carex acutiformis* eine stete Wasserversorgung mit ein bis zwei Bewässerungsvorgängen pro Tag empfohlen. Zu seltene Bewässerung führt zu Minderwachstum aufgrund von Wassermangel, wohingegen zu häufige Bewässerung dichte, schwer handhabbare Wurzelfilze zur Folge hat. Die mit der Bewässerung zugeführte Nährlösung sollte keine Nährstoffüberschussituation hervorrufen, um möglichst kompakt und kräftig wachsende Pflanzen erwarten zu können. Nährstoffmangel hat bei *C. acutiformis* deutlichen Kümmerwuchs zur Folge, so dass nicht auf eine Nachdüngung verzichtet werden kann. Bei der hier verwendeten Nährstoffzusammensetzung werden mit einer Nährlösungskonzentration von 0,6 ‰ sehr gute Ergebnisse erzielt. Die P-Nachdüngung kann bei regelmäßiger Bewässerung und P-Grunddüngung im Substrat allerdings stark reduziert oder weggelassen werden, da die P-Diffusion im dauerfeuchten Milieu auch bei geringen P-Vorräten funktioniert und die Pflanzen optimal versorgt werden. Hierfür sind torfreduzierte Substrate mit P-reichen Substratausgangsstoffen, wie Komposte, besonders gut geeignet“ (Pietsch, 2024).

4.1.5 Vegetative Vermehrung (PSC-HSWT)

4.1.5.1 Gewächshausversuch 24-01 Rhizomteilung Hormone (PSC-HSWT)

Material und Methoden

Im April 2024 wurden im Freisinger Moos Soden von 20x40 cm Größe entnommen, aus denen Carex-Rhizome freigespült wurden. Die Rhizomstücke wurden nach Länge sortiert und nach Bewurzelungsgrad sortiert (Abbildung 4.8). Anschließend wurden sie frisch angeschnitten und in einer hormonellen Lösung mit Bewurzelungshormonen im Becherglas über Nacht, oder im Quick-Dip Verfahren bei sehr hoher Konzentration für wenige Minuten in die Lösung eingetaucht. Alle Rhizomschnittlinge, die mit demselben Hormon behandelt wurden, wurden in derselben Pflanzschale (nach Bewurzelungsgrad sortiert) abgelegt und mit nährstoffarmem Substrat (Floraton 3) bedeckt. Die Aufstellung der Pflanzschalen erfolgte in einem Folienhaus mit steter Belüftung und Gießbewässerung für 3 Monate bis Juli.



Abbildung 4.8: Pflanzschale mit Rhizomschnittlingen verschiedener Bewurzelungsstufen vor dem Abdecken (links) und Spitzen der Rhizome vor dem Abtrennen für den Versuch „Vegetationspunkt“ (rechts) (Bildrechte: Frank Pannemann (li.) und Stefanie Roß (re.)

Ergebnisse

Bei allen verwendeten Hormonen hat sich jeweils ein Spross aus vier bzw. acht behandelten Rhizom-Mittelstücken entwickelt, die bei Versuchsbeginn bereits in mittleren oder hohen Mengen Feinwurzeln aufwiesen, siehe Tabelle 4.8.

Tabelle 4.8: Ergebnisse der Versuche zur Rhizomstecklingen von Carex acutiformis

Behandlung →	Kontrolle (Wasser)		IES 50 mg/L 24h		IES 5000 mg/L Quickdip		IBS 100 mg/L 24h	
	n	Sprosse	n	Sprosse	n	Sprosse	n	Sprosse
W1 (ohne Feinwurzeln)	4	0	3	0	6	0	4	0
W2 (wenig Feinwurzeln)	3	0	3	0	8	1	4	1
W3 (viele Wurzeln)	4	0	4	1	4	0	4	0
Wurzelstock	2	2	0		0		0	

Diskussion

Um überhaupt eine geringe Chance auf die Bildung eines Ablegers zu haben, müssen die Rhizommittelstücke Feinwurzeln aufweisen. Selbst dann ist eine Vermehrung aus Rhizommittelstücken nicht vielversprechend und mit einem zu großen Ausfallrisiko behaftet. Ein Effekt der hormonellen Behandlung konnte nicht nachgewiesen werden. Ein Zusammenhang mit Durchmesser oder Länge der Rhizomstücke scheint nicht zu bestehen. Ein weiterer Vorversuch mit im Dezember 2022 aus Karolinenfeld entnommenen Rhizomen ohne hormonelle Behandlung hatte das gleiche Resultat.

Methodische Kritik: die Triebe könnten während der Einwirkzeit der Hormone am Ende, das aus der Flüssigkeit herausragte, vertrocknet sein. Man hätte auch Hormone für das Streckungswachstum (Giberelline) verwenden können, denn es ist nicht eindeutig, ob die Bewurzelung das Problem ist, oder die Anregung zur Triebbildung.

4.1.5.2 Gewächshausversuch 24-03 Vegetationspunkt (PSC-HSWT)

Material und Methoden

In einem begleitenden Gewächshaus-Vorversuch zur vegetativen Vermehrung mit Rhizomstücken wurden junge (wenige Wochen alte) Ausläufer von 4 Mutterpflanzen in flachen Pflanzschalen eingegraben und flach mit Erde bedeckt. Die Hälfte wurde mit den Triebspitzen dem Licht ausgesetzt, die andere Hälfte wurde komplett mit Erde (Substrat: Floraton3) bedeckt. Die Bewässerung erfolgte 2x täglich im Ebbe-Flut-Verfahren mit sofortigem Ablauf des Wassers. Laufzeit war 07/2024-09/2024.

Ergebnisse

Von den von der Mutterpflanze getrennten terminalen Rhizomstücken haben nach fünf Wochen bei 7 von 9 Stücken Wurzeln und einen oberirdischen Trieb zwischen 8 und 49 cm Länge gebildet. Dies geschah unabhängig von der Lichtaussetzung der Triebspitze. Die mit der Mutterpflanze verbundenen Rhizomtriebe wurden weitergeschoben, sodass keine klare Identifizierung anhand ihrer Etiketten bis zum Versuchsende möglich war. Alle mit den Mutterpflanzen verbunden Rhizomtriebe haben vollständige Ausläufer gebildet, die neun Wochen nach Versuchsstart ihrerseits wieder mehrere Ausläufer gebildet haben.

Diskussion Rhizomschnittlinge

Eine Vermehrung durch Rhizommittelstücke (Wurzelschnittlinge) ist nicht erfolgsversprechend. Eine Vermehrung Abtrennung von Rhizomendstücken (Terminaltrieben) ist möglich. Mögliche Ursachen hierfür könnten sein, dass Meristemgewebe nur in den Triebspitzen der Rhizome und direkt an der Basis der Sprossachse von Wurzelstöcken vorliegen könnte, jedoch nicht in den Mittelstücken der Rhizome. Evtl. Phytohormone, die hier nicht geprüft wurden, könnten von der Mutterpflanze zu den Triebspitzen transportiert werden, oder sind nur in den jüngeren Triebspitzen vorhanden sein. Das Alter der Rhizomtriebe könnte eine Rolle spielen. Im Gegensatz zu den Rhizommittelstücken aus dem vorangegangenen Versuch handelte es sich hier um junge Triebe (dies wurde nicht systematisch überprüft).

4.1.5.3 Erfahrung Pflanzenteilung (PSC-HSWT)

Im Dezember 2022 wurden aus Karolinenfeld Seggen-Soden entnommen. Diese wurden frostfrei im unbeheizten Gewächshaus gelagert und im Februar von Gärtner-Azubis der

HSWT geteilt und mit „Einheitserde“ getopft. Dies geschah problemlos und in üblicher Geschwindigkeit. Anschließend wurden sie ins Glashaus in Ebbe-Flut Becken mit Anstau gestellt. Beobachtet werden konnte in den folgenden Wochen eine Wuchsgeschwindigkeit, die denen der Mutterpflanzen nahekam und deutlich über derjenigen von Sämlingen liegt.

4.1.5.4 Tastversuch (Feldversuch) 23-3 Rhizomteilung (PSC-HSWT)

Material und Methoden

In einem im Juli 2023 angelegtem kleinen Tastversuch wurden Ballen verschiedener Größe (6 cm Kantenlänge und 4 cm Kantenlänge) in zwei Pflanzabständen (50 cm x 50 cm und 30 cm x 30 cm) mit gesteckten Rhizomstücken und frisch geteilten Pflanzen von ca. 15 cm Größe verglichen, die wurzelnackt gepflanzt wurden. Es erfolgte keine Beikrautbekämpfung oder -unterdrückung.

Ergebnis

Nach einem Jahr (Deckungsgradschätzung im Juli 2024) haben 70 % der geteilten Pflanzen überlebt, stehen aber sehr lückig. Auf der Parzelle mit den gesteckten Rhizomen ist nur eine Ruderalflora vorhanden und die einzelnen vorhandenen Carex-Pflanzen stehen am Rand zur Nachbarparzelle. Die Standardvariante mit dichtem Pflanzabstand und 4-cm-Ballen hat einen vollständig geschlossenen Carex-Bestand gebildet, die größeren Pflanzen mit mehr Ballenvolumen haben dagegen ihre Lücken nicht vollständig geschlossen, vgl. Tabelle 4.9.

Tabelle 4.9: Ergebnisse des Feld-Tastversuchs zur Rhizomteilung

	Bal- len- größe	Indivi- duen	Pflanz- dichte	Individuen	Überle- bensrate	Deckungs- grad Carex	Deckungs- grad andere Arten	Mulch De- ckungsgrad
		gesamt	1/m²	gesamt	%	(0-10)	(0-10)	(0-10)
Zeitpunkt		Start (Juli 2023)		Nach 1 Jahr		Nach 1 Jahr		
Großer Ballen (Pflanzentei- lung) großer Ab- stand	6x6x5 cm	48	4	sehr viele	100%	7	3	0
Kleiner Ballen (Sämling) klei- ner Abstand	4x4x4 cm	133	11	sehr viele	100%	9	1	0
Rhizomsteck- ling	'-	67	11	6	9.0%	0.1	8	2
Pflanzenteilung	'-	67	11	49	73.6%	1	4	4

Schlussfolgerungen

Die Erhöhung des Ballenvolumens von 55 cm³ auf 180 cm³ scheint keine Vorteile zu bringen, wenn gleichzeitig der Standraum vergrößert wird. Es kann allerdings von Vorteil sein, wenn nach Pflanzung direkt eine längere Trockenperiode überstanden werden muss (vgl. Eickenscheidt et al. (2023)). Die Rhizomstecklinge ohne Endstück haben wie im Gewächshausversuch keinen Anwacherfolg und die in der Parzelle gefundenen Individuen können Ausläufer der Nachbarparzelle sein.

Die geteilten Pflanzen waren eher klein und schwach. Wenn die Pflanzenteilung mit größeren Mutterpflanzen durchgeführt würde, wäre die Überlebensrate größer und der Besiedlungseffekt besser. So wurden in MOORuse Carexflächen mit geteilten, aber getopften Pflanzen ohne Ausfälle etabliert (vgl. Eickenscheidt et al. (2023)) Ebenso ist ein Pflanztermin im Frühjahr empfehlenswert, um eine gute Entwicklung während der laufenden Vegetationsperiode zu gewährleisten. Dennoch ist eine Pflanzung frisch geteilter Pflanzen wurzelnackt grundsätzlich möglich und kann mit kleinen Verbesserungen sehr erfolgreich sein.

4.1.5.5 Fazit vegetative Vermehrung und Empfehlung für die Praxis (PSC-HSWT)

Als erfolgreich haben sich die Vermehrungsmethoden „Teilung von Mutterpflanzen“ und „Abtrennen von frischen Rhizomspitzen“ erwiesen. Rhizomschnittlinge (aus Mittelstücken) sind keine Option für die Vermehrung. Das Abtrennen und Setzen von Ausläufer wurde nicht näher untersucht, es ist jedoch offensichtlich möglich.

Grundsätzlich ist der händische Aufwand des Teilens der Pflanzen bzw. das Schneiden von Rhizomspitzen mit anschließender hoher Wuchsgeschwindigkeit (und damit kurzer Standzeit oder gar dem kompletten Verzicht auf das Topfen wegen sofortiger Pflanzung) gegenüber der langen Standzeit im Gewächshaus beim Vorziehen aus Samen (von ca. 8 Wochen) arbeitswirtschaftlich zu kalkulieren, was in diesem Projekt nicht möglich war. Es konnte aber erprobt werden, dass dies alles technisch möglich ist.

4.1.6 Etablierungsversuche (PSC-HSWT)

In MoorBewi wurden eine Reihe von sich ergänzenden Feldversuchen durchgeführt, die in diesem Kapitel in der Reihenfolge in folgender Tabelle 4.10 dargestellt werden.

Tabelle 4.10: Paludikultur-Feldversuche in MoorBewi mit Schwerpunkten

Jahr, laufende Nr., Name	Anlagemethode	Thema
Versuch 22-2 Beikrautmanagement	Beides	Unkrautbekämpfung bei Saat und Pflanzung
Versuch 22-1 Saatzeitpunkt	Saat	Saatzeitpunkt bestimmen
Versuch 23-0 Zeitreihe Feldaufgang	Saat	Saatzeitpunkt bestimmen
Versuch 23-1 Mulchsaat	Saat	Feuchthalten der Saat
Versuch 23-2 Decksaaten	Saat	Unkrautunterdrückung und verbessertes Mikroklima
Tastversuche 24-1, -2, -3 Vorbehandlungen, Decksaaten, Bodenbedeckung	Saat	Ergänzende Versuche zu Laborversuchen und anderen Feldversuchen
Versuch 23-4 Mulchpflanzung	Pflanzung	Unkrautunterdrückung
Tastversuch 23-5 Pflanzzeitpunkt	Pflanzung	Grenzen der Pflanzung
Erfahrungsbericht Maschinentest Mulchpflanzmaschine	Pflanzung	Pflanzung im Nassen

4.1.6.1 Methoden (allgemeiner Teil) (PSC-HSWT)

Die im Projekt durchgeführten Feldversuche fanden am Standort Karolinenfeld der Bayerischen Staatsgüter statt. Die Standortauswahl fiel auf bereits vorhandene flache Senken, die als Becken fungierten. Die Blöcke wurden so angeordnet, dass sie die bereits vorhandenen Gradienten im Grundwasserflurabstand abbilden, um diesen als Faktor in den jeweiligen Versuchen ausnutzen zu können. Bis zur Verschließung einzelner Dränagen durch Schächte im April 2024 gab es keinen Wasserrückhalt. Da der Boden aber im Bereich des degradierten Horizonts sehr dicht ist, sind die Sickerraten des Stauwassers gering (siehe Abschnitt 2.1.1). Der angestrebte Grundwasserstand wurde wegen der fehlenden wasserbaulichen Einrichtungen über eine stete Beregnung realisiert.

In und um die Feldversuche herum wurden Grundwassermessstellen mit Datenloggern (Modell Rugged-Troll der Firma In-Situ Inc., druckbasiert) verteilt. Pro Versuch wurde ein Netz von 5 bis 6 Messstellen im Torfkörper bis zum unterliegenden Seeton (bis 1,20 m unter Flur) errichtet. Zur Interpolation der Grundwasseroberfläche wurde eine 2D-Oberfläche mit dem „Cubic-Spline-Verfahren“ erstellt, da für das geostatistische „Kriging“-Verfahren (siehe Abschnitt 2.1.1) die Zahl der Messstellen nicht ausgereicht hätte. Die Grundwasseroberfläche wurde für jeden Tag interpoliert und an den Orten der Parzellen abgetastet, sodass für jede Parzelle eine komplette Grundwasser-Ganglinie erstellt werden konnte. Wenn im Folgenden „Sommerwasserstände“ genannt werden, ist das hydrologische Sommerhalbjahr von 01.05. bis 31.10. gemeint.

Bodenprobenahmen erfolgten erst nach Versuchsstart, im Umgriff jedes Blocks, außerhalb des Bewurzelungsradius der Seggenpflanzen. Es wurden Mischproben aus dem Oberboden (5-15 cm Tiefe) entnommen, da dies der Frästiefe entspricht und für die Frühphase der Etablierung besonders relevant ist.

Auf den zur Verfügung stehenden Flächen befand sich vorher stets altes Grünland. Ein Zerstören der Grasnarbe erfolgte kurz vor Versuchsbeginn per Fräse (verschiedene Typen) in 15 cm Tiefe. Dies ist ein Kompromiss zwischen ausreichender Zerstörung der Grasnarbe (um ein Wiederanwachsen der alten Grasnarbe zu verhindern) und der Befahrbarkeit (um ein zu tiefes Versinken im lockeren gefrästen Boden zu verhindern). Bei der Anlage aller Feldversuche wurde standardmäßig mit 9 Pflanzen pro m² bepflanzt. Die Vorzucht von Setzlingen erfolgte im Glashaus. Als Anzuchtsubstrat kam auf 5 mm gesiebtes „Floraton-3“ zum Einsatz mit 10% Perliten. Zum Einsatz kam selbst gesammeltes A-Saatgut aus Langenmosen. Bei der Pflanzung waren die vorgezogenen Pflanzen 10-15 cm hoch und hatten einen voll durchwurzelten Ballen von 4 cm Kantenlänge (55 cm³). Größere Setzlinge wurden zur Reduktion von Verdunstungsoberfläche auf ca. 15 cm gekürzt. Die Saatversuche wurden ebenfalls mit einer Mischung von A-Saatgut Langenmosen aus Sammlungen von 2021 und 2022 durchgeführt.

4.1.6.2 Beikrautmanagement (Versuch 22-02) (PSC-HSWT)

Ziel dieses Versuches war es, zu ermitteln, welches Beikrautmanagement eine schnelle und zuverlässige Etablierung von *Carex acutiformis* ermöglicht.

Material und Methoden

Prüfmerkmal dieses Versuchs ist die Erntemenge reinen *Carex*-Materials am Ende des zweiten Versuchsjahres. Dieser Zeitpunkt wurde gewählt, da dies ein noch akzeptabler Etablierungszeitraum ist. Es wurde (wie bei Paludikulturen üblich, Eickenscheidt et al., 2023) eine Winterernte durchgeführt. Nach Bestimmung der Trockenmasse wurden die Proben hierzu händisch nach der Gattung "Carex" und "Sonstiges" sortiert.

Beim Versuchsdesign wurden folgende Faktoren benutzt:

- A: Wasserstufe (nass, trocken. Aus versuchspraktischen Gründen nur als 2 Großblöcke möglich)
- B: Anlage (Pflanzung, Saat, je 6 Mittelblöcke)
- C: Bewirtschaftung (7 Stufen, randomisiert)

Es handelt sich um einen Spaltversuch mit drei Wiederholungen. Die Anordnung ist in folgender Karte dargestellt (Abbildung 4.9). Die betrachteten Bewirtschaftungen (Faktorstufen von C) sind der Tabelle 4.11 zu entnehmen.

Tabelle 4.11: Faktorstufen der Bewirtschaftung im Bewirtschaftungsvergleich (Etablierungsversuche Carex)

Abkürzung	Name	Beschreibung und Durchführung	Zeitpunkte nach Versuchsstart
Null	Kontrolle/ Nullvariante	Es wurde in gefrästen Boden gesät/ gepflanzt, ohne Unkrautbekämpfung	
GL	Grünland	Direktpflanzung in die bestehende, kurzgemähte Grasnarbe bzw. Übersat, nach 4 Wochen ein Pflegeschnitt	wie "Schröpfschnitt"
Schr.	Schröpfschnitt	2-3 Pflegeschnitte, sobald das Beikraut höher ist als die Zielkultur	Saat: Tag 28. alle: Tag 48, Trockener Ort: Tag 83
Hacken	Hacken	mechanische Unkrautbekämpfung, während der Wasserstand nach dem Versuchsstart noch niedrig ist. Zum Einsatz kam ein selbstfahrender Geräteträger der Firma HAK (LTC-1) mit Gänsefußscharen und Sternhacken	Tag 12, Tag 30, Tag 61
Striegeln	Striegeln inkl. Blindstriegeln	mechanische Unkrautbekämpfung, während der Wasserstand nach dem Versuchsstart noch niedrig ist. zum Einsatz kam ein Hatzenbichler Striegel hinter dem Traktor.	Tag 12, Tag 30,
US_Lein	Untersaat Leindotter	mit Leindotter wurde wegen seiner allelopathischen Eigenschaften gewählt. Nach der Pflanzung/Saat von Carex per Kleegeige gestreut. Saatstärke: 4 kg/ha, Pflegeschnitt	wie "Schröpfschnitt"
US_Klee	Untersaat Weißklee	mit Niedrigwachsener Weißklee wurde als Bodendecker gewählt, bis Carex sich durchsetzen würde. Nach der Pflanzung/Saat von Carex per Kleegeige gestreut. Saatstärke: 8 kg/ha Pflegeschnitt	wie "Schröpfschnitt"

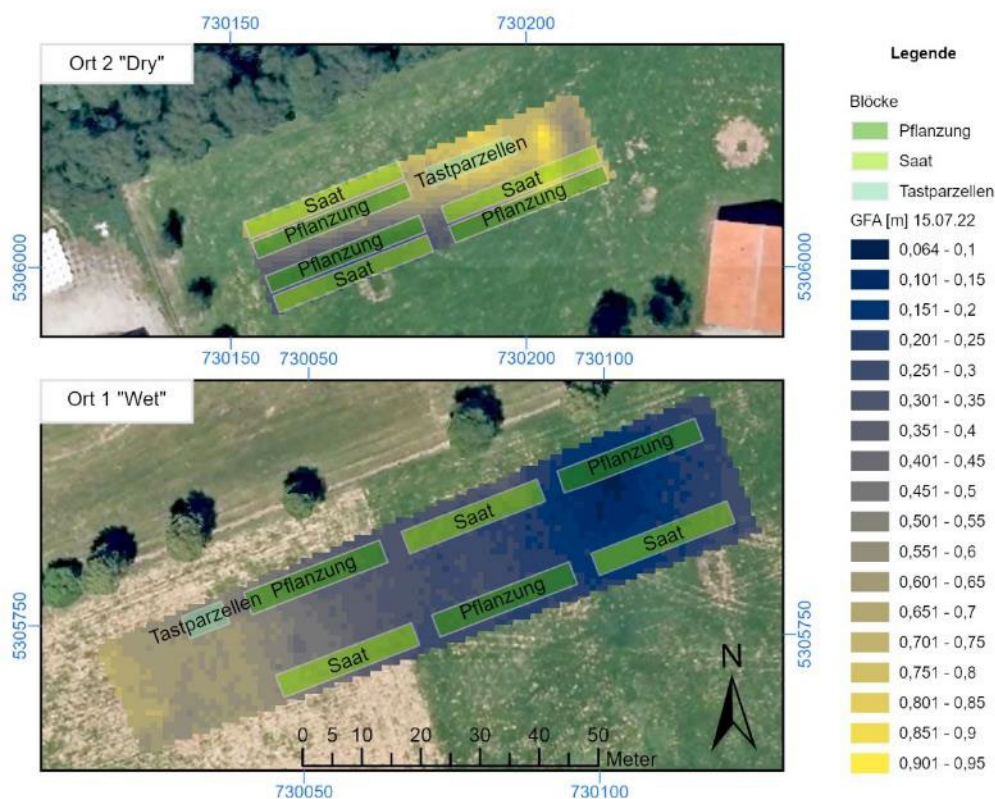


Abbildung 4.9: Räumliche Lage des Beikrautmanagementversuchs 2022 auf dem Versuchsgut Karolinenfeld mit Grundwassergradienten. Einzelparzellen des Faktors C (Bewirtschaftung) sind innerhalb der Blöcke randomisiert. Als Beispieltag für den Grundwasserflurabstand (GFA) wurde der 15.07.2022 gewählt.

Anlage

Die Löcher für eine händische Pflanzung im Quadratverband wurden mit einer Dippelwalze hergestellt. Die Saat von 2,5 kg Carex-A Saatgut erfolgte mit einer Hege Bandkopf-Sämaschine in Drillsaat auf 1 cm Tiefe, 13 cm Reihenabstand, ohne Anwalzen. Wie die Keimtests nahelegen, wurde vier Wochen bei 4°C stratifiziertes Saatgut eingesetzt, dass vor dem Abwiegen von Sand getrennt und kurz rückgetrocknet werden musste.

Bewässerung

Die Bewässerung erfolgte in den ersten Wochen nach der Pflanzung per Güllewerfer, bis die Beregnungsanlage aufgebaut wurde. Täglich wurde bewässert, bis der gewünscht Grundwasserstand eingestellt war, ab dann nach Bedarf in warmen Perioden. Ab dem zweiten Versuchsjahr war die Beregnung nicht mehr direkt auf den Versuch gerichtet, sondern auf den Umgriff.

Versuchsstatistik

Da die Saatparzellen wesentlich geringere Erträge geliefert haben und deren Varianzen entsprechend deutlich kleiner waren als bei den Pflanzparzellen, war keine Varianzhomogenität (Bartlett-Test) über alle Prüfglieder gegeben. Daher werden die beiden Faktorstufen des Faktors B getrennt betrachtet und der Faktor B (Anlage) aus der statistischen Versuchsauswertung herausgezogen. Innerhalb der jeweiligen Faktorenstufen von B sind die Voraussetzungen für eine Varianzanalyse gegeben. Daher lautet das verwendete statistische Modell, das in der Software „R“ (R. Core Team, 2021) ausgewertet wurde: $Y \sim A/C - \text{Error}(\text{Block})$

Analyse der Artenzusammensetzung

Es wurden Deckungsgrade nach Londo (1976) geschätzt. Im ersten Versuchsjahr alle drei Wochen, im zweiten und dritten Versuchsjahr im Mai/Juni und Sept/Okt. Es wurden Artengruppen aufgenommen, um den Aufwand bei der großen Zahl der nötigen Aufnahmen zu reduzieren. Hierbei wurde sich neben der Zielkultur auf schnell auflaufende Problemarten (Ruderalstrategen) und die gesammelte Gruppe der Süßgräser beschränkt, siehe Tabelle 4.12.

Die Analyse der über 800 Vegetationsaufnahmen fand als Ordination in einer Detrended Correspondence Analysis (DCA) statt, um die Beziehungen zwischen den Aufnahmen darzustellen. Ein Bezug zu den Umweltparametern und den Bewirtschaftungsmethoden wird anschließend mit einer Redundanzanalyse (RDA) hergestellt.

Tabelle 4.12: Liste der bei Deckungsgradschätzungen für die Carex-Etablierungsversuche aufgenommenen Arten

deutscher Artname	wissenschaftlicher name	Art-	Begründung für Aufnahme oder Gruppierung
Sumpf-Segge	<i>Carex acutiformis</i>		Zielkultur
Leindotter	<i>Camelina sativa</i>		gezielt als Untersaat verwendet
Weißklee	<i>Trifolium repens</i>		gezielt als Untersaat verwendet
breitblättriger Rohrkolben	<i>Typha latifolia</i>		Andere "Paludikultur"-Art Kann bei sehr nassen Bedingungen (Überstau) teilw. natürlich auftreten
Flatterbinse	<i>Juncus effusus</i>		Problemart bei Nässe und Bodenverdichtung
Hühnerhirse	<i>Echinochloa crus-galli</i>		schnellwüchsiges Ackerunkraut
gemeine Quecke	<i>Elymus repens</i>		Ungras
sonstige Süßgräser	<i>Poaceae [Gruppe]</i>		bei frühen oder späten Aufnahmen schwer unterscheidbar, aus Zeitgründen bei der Aufnahme gruppiert. Sie entsprechen des Gräsern des Grünlandes, das vorher am Versuchsstandort bestanden hat
sonstige Zweikeimblättrige	<i>Dicotyle [Gruppe]</i>		Zweikeimblättrige Unkräuter

Ergebnisse

Wasserstandsmanipulation

Im Etablierungsjahr wurden mittlere Sommerwasserstände von 15,7 – 47,9 cm unter Flur (Wet) und 56,9 - 82,7 cm (Dry) erreicht. Der Median lag bei 9,0 – 46,5 cm (Wet) und 59 - 80 cm (Dry). Die stark unterschiedliche räumliche Verteilung ist in Abbildung 4.10 dargestellt.

Die tiefen Wasserstände des ersten Jahres entsprechen noch nicht den Zielwasserständen von Paludikultur. Dies kann aber auch in der Praxis vorkommen, in Abhängigkeit von der Effizienz des Wassermanagements und der Witterung. Gerade dann kann die Beikrautbekämpfung, die hier untersucht wurde, eine große Rolle spielen. Im gesamten Versuchszeitraum 05/2022 bis 10/2024 lag der Median der Grundwasserflurstände bei 6,2- 45,9 cm (Wet) und 56,5-73,5 cm (Dry). Dauerhaft im Zielwasserstandsbereich ist etwa die Hälfte der „Wet“-Fläche.

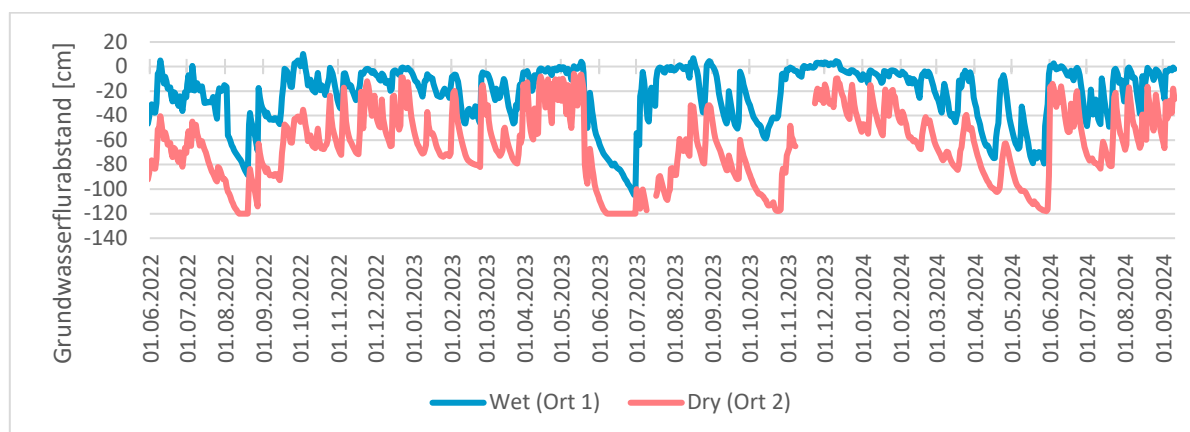


Abbildung 4.10: Ganglinie des Grundwasserflurabstandes (cm) an beispielhaften, zentral in den Standorten gelegenen Pegeln an den beiden Versuchsstandorten.

Ertrag bei der Pflanzung

Bei allen gepflanzten Parzellen hat sich ein von *Carex* dominierter Bestand ausgebildet. Während im 1. Jahr die Ertragsanteile oft bei unter 30% lagen (nicht dargestellt) und vor allem Hühnerhirse (*Echinochlea sp.*) und Quecke sowie andere Ungräser auftraten, hat sich der *Carex*-Anteil im Laufe des 2. Jahres meist auf >80% erhöht. Beim Hacken, Striegeln, der Nullvariante, sowie Leindotter als Untersaat ergeben sich fast keine Unterschiede und alle diese Varianten sind auf einem hohen Ertragsniveau im 2. Jahr (siehe Abbildung 4.11). Weißklee als Untersaat und Schröpfungsschnitte blieben im Ertrag dahinter. Der *Carex*-Anteil hängt stärker vom Wasserstand als von der Bewirtschaftung ab. Es wurde ein signifikanter Einfluss der Wasserstandsklasse (P-Wert: 0.025) und ein signifikanter Einfluss der Interaktion von Wasserstand und Bewirtschaftung festgestellt (P-Wert: 0.0022)

Die Direktpflanzungsvariante ins Grünland GL ist am stärksten vom Wasserstand abhängig. Eine „ANCOVA“ (Kovarianzanalyse des Modells $Y \sim A+C-\text{Error}(\text{Block})$) zeigt einen signifikant von den anderen Varianten abweichenden Einfluss des Grundwasserstandes nur bei der Variante GL (Pflanzen direkt ins Grünland, vgl. Abbildung 4.12), nicht jedoch bei Hacken. Das Hacken konnte nur ab einem Grundwasserflurabstand > 35 cm (im Moment des Hackens) durchgeführt werden und dies war für die Befahrbarkeit bereits grenzwertig. Der umgekehrte Fall tritt bei den Mulchfolien auf (nicht dargestellt, da Tastversuch mit $n=1$) Unter Konkurrenzausschluss kann die Segge auch bei mittleren Wasserständen solide Trockenmasseerträge liefern.

Im dritten Versuchsjahr (siehe Abbildung 4.13) wurden nur noch die Masse der Kontrolle und der Direktpflanzung ins Grünland (GL) bewertet. Diese unterschieden sich nicht mehr und der *Carex*-Bestand hatte sich bei der GL-Variante zu Beginn der Vegetationsperiode vollständig geschlossen.

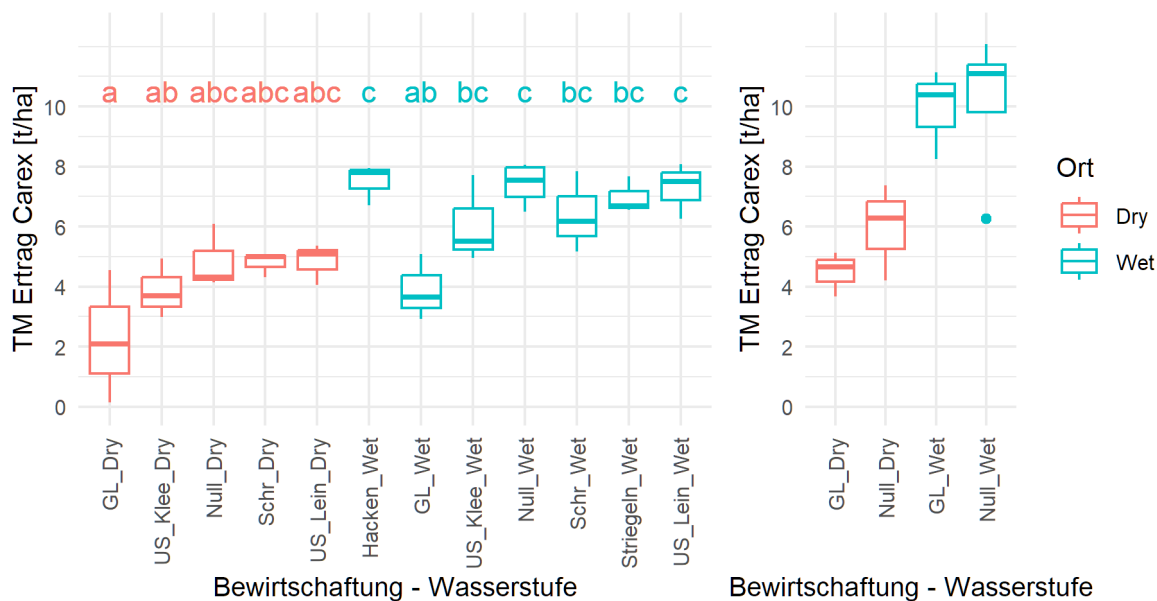


Abbildung 4.11: Carex-Trockenmasse-Ertrag im zweiten Standjahr für alle gepflanzten Versuchsglieder (links) und Tastparzellen (rechts) „Ort“ entspricht dem Faktor A: Wasserstufe Rechts: Jahresertrag des dritten Standjahres. Auch die Direktpflanzungsvariante GL hat sich bei Ertrag (und Bestandesdichte) an die Kontrolle angenähert.

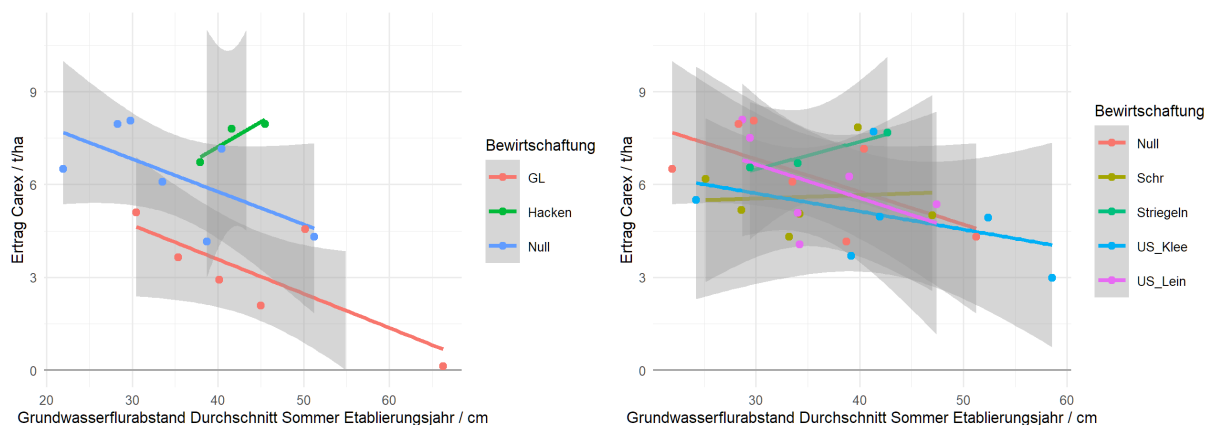


Abbildung 4.12: Ertrag aller gepflanzten Prüfglieder in Abhängigkeit des Grundwasserstandes. Links: Varianten mit auffälligen Unterschieden, rechts: Varianten ohne auffälligen Unterschied

Ertrag bei Saat

Bei der Nullvariante, der Nachsaat ins Grünland und Klee als Untersaat hat sich im zweiten Versuchsjahr gar kein Carex etablieren können. Bei den restlichen Varianten liegen die Deckungsgrade bei 2-10% mit entsprechend geringem Ertrag. Leicht hervor hebt sich hier im zweiten (und dritten) Versuchsjahr die nasse Variante mit Leindotter als Ammensaat. Erwähnenswert ist der Ertrag der Tastparzelle „UFD_Juli“, die mit $3,1 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und 50% Carex-Anteil einen Etablierungserfolg hat. Diese wurde nach einem erneuten Fräsen mit der

Umkehrfräse mit einer Unterfußdüngung mit Diammonphosphat im heißen Juli 2022 angelegt, der tägliche Gewitterschauer hatte.

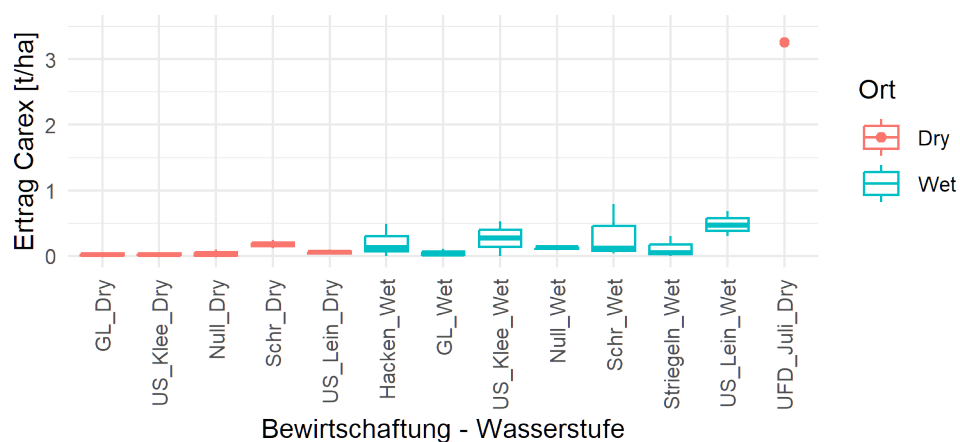


Abbildung 4.13: Carex-Trockenmasse-Ertrag im zweiten Standjahr für alle gesäten Versuchsglieder und Tastparzellen. „Ort“ entspricht dem Faktor A: Wasserstufe

Entwicklung der Deckungsgrade

Ordinationsdiagramm finde eine gemeinsame Betrachtung aller Vegetationsaufnahmen von Pflanzung, Saat und allen Zeiträumen statt (Abbildung 4.14).

Exkurs: Kurze Erläuterung der in der Ökologie gebräuchlichen Ordination:

Im Hintergrund stehen die Artzusammensetzungen der Vegetationsaufnahmen und sie werden anhand ihrer gewichteten Mittelwerte angeordnet. Dabei findet eine Dimensionsreduktion statt. Die mehrdimensionale Grafik wird so rotiert, dass die beiden Achsen mit dem größten Einfluss als x- und y-Achse zu sehen sind. Parzellen mit ähnlichen Artzusammensetzungen liegen dicht beieinander. Die x-Achse erklärt dabei die größte Variabilität in den Daten. Die Achseneinheiten sind Einheiten der Standardabweichung (SE). D.h. eine Art "verschwindet" außerhalb eines Radius von 4 Einheiten um ihr Zentrum, das mit ihrem Namen markiert ist. Innerhalb von 1,0-1,4 SE wird die Hälfte des Arteninventars ausgetauscht (Dorman und Kühn, 2009).



Abbildung 4.14: Biplot der (>800) Vegetationsaufnahmen (Carex-Etablierungsversuche). Jeder Punkt stellt einen Aufnahmezeitpunkt einer Parzelle dar. Nahe beieinanderliegende Punkte bedeuten eine ähnliche Artenzusammensetzung. Die Arten, aus denen sich die Vegetation zusammensetzt, sind als schwarze Punkte dargestellt. Ihre Nähe zueinander weist ebenfalls auf gemeinsames Auftreten hin. Der „Startpunkt“ aller Parzellen im ersten Jahr (rot) liegt nahe des Koordinatenursprungs.

Carex liegt auf der Hauptachse der Ordination. Ruderalen wie Hühnerhirse (*Echinochloa crus-gallii*) sind oben links angeordnet und Süßgräser in der Mitte (sie mischen sich mit allen) und *Elymus repens* am trockenen Extrem. Im ersten Jahr dominieren Ruderalarten/ Störzeiger bei allen Parzellen, v.a. Hühnerhirse (*Echinochloa crus-gallii*) und zu geringen Teilen auch Quecke. Es gibt starke Änderungen in den ersten Wochen.

Im zweiten Jahr konvergiert die Pflanzenartenzusammensetzung zu Grünland (*Poaceae*-mix) oder *Carex*. Die gezielt eingebrachten Untersaaten (Weißklee, *Trifolium repens* und Leindotter, *Camelina sativa*) spielen nur noch eine untergeordnete Rolle nach dem 1. Jahr. Der Anteil an Leindotter blieb stets gering (keine Parzellen-Punkte in der Nähe). Die Parzellen beim Schwerpunkt „*Poaceae*“ sind vor allem die Saatparzellen mit sehr geringem *Carex*-Anteil.

Im dritten Jahr verstärkt sich der Effekt des zweiten Jahres. In manchen Parzellen sind Binsen aufgetaucht und geblieben.

Die gesamte Gradientenlänge der DCA beträgt ca. 2 SE, daher ist ein lineares Modell der Interaktion von Pflanzen und Umweltparametern möglich. D.h. das ökologische Optimum von *Carex acutiformis* wurde noch nicht überschritten und unser Gradient läuft nur in eine Richtung (trocken-feucht-nass, aber nicht ZU nass). Eine weitere Analyse findet also per RDA statt.

Einfluss von Bewirtschaftung und Umweltparametern auf die Artenzusammensetzung bei Pflanzung

Bei der Redundanzanalyse (RDA) handelt es sich um eine multiple Regression der einzelnen Arten an mehrere Umweltparameter mit anschließender Hauptkomponentenanalyse (Dorman und Kühn, 2009). Es handelt sich genauer gesagt um eine tb-RDA, bei der die Vegetationsdaten vorher wurzeltransformiert wurden (Hellinger-Transformation). Da die Ergebnisse sich für Saat und Pflanzung stark unterscheiden, werden sie hier in zwei Analysen getrennt betrachtet.

Exkurs: Kurze Erläuterung zu Biplots:

Die Ergebnisse der RDA werden als sog. Biplots dargestellt, in denen ein Set von Pfeilen die Umweltparameter (und in diesem Fall die Bewirtschaftungen) wiedergibt. Die Länge der Pfeile spiegelt ihre Einflussstärke wider und ihre Richtung zeigt eine Korrelation an. 90° zueinanderstehende Pfeile korrelieren nicht. Wie zuvor bei der DCA werden mehrdimensionale Daten so dargestellt, dass auf x- und y-Achse die meiste Varianz der Daten zu sehen ist. Dazu werden die Arten als Punkte am Schwerpunkt ihres Auftretens in Bezug auf die dargestellten Umweltparameter angezeigt.

Insgesamt erklären die Umweltparameter nur 17,4 % der Varianz in den Daten. In Abbildung 4.15 ist ersichtlich, dass der Grundwasserstand (der GW Pfeil zeigt zu großen Grundwasser-Flur-Abständen hin) starken Einfluss hat. Kalium scheint auch, dies tritt vor allem zusammen mit *Elymus repens* und zweikeimblättrigen Unkräutern auf. Da diese aber auch bei niedrigem Grundwasserstand häufiger auftauchen, der am Standort 2 auftritt, kann die höhere Kaliumkonzentration ein Standorteffekt sein und ist hier vorsichtig zu interpretieren. Für Phosphat gilt das Gleiche, hier scheint es eine bloße Korrelation mit dem Grundwasserstand mit uneindeutiger Kausalität zu geben. Die Behandlung GL (Pflanzen in Grünland) hat den zweitstärksten Einfluss, aber erstmal negativ auf den *Carex*-Anteil. Hacken und Striegeln haben nur einen sehr leichten Effekt in Richtung *Carex*. Schnitte korrelieren mit der „GL“ Bewirtschaftung, können hier daher nicht eindeutig interpretiert werden. Andere Effekte sind untergeordnet (kurze Pfeile von pH, Untersaaten und mech. Unkrautbekämpfung). Das *Carex* Optimum des Grundwasserstandes ist hier bei sehr hohem Wasserstand (gegenüber des GW-Pfeils). Quecke kommt nur bei großem Grundwasser-Flurabstand vor, Hühnerhirse (*Echinochloa sp.*) ist davon unbeeindruckt.

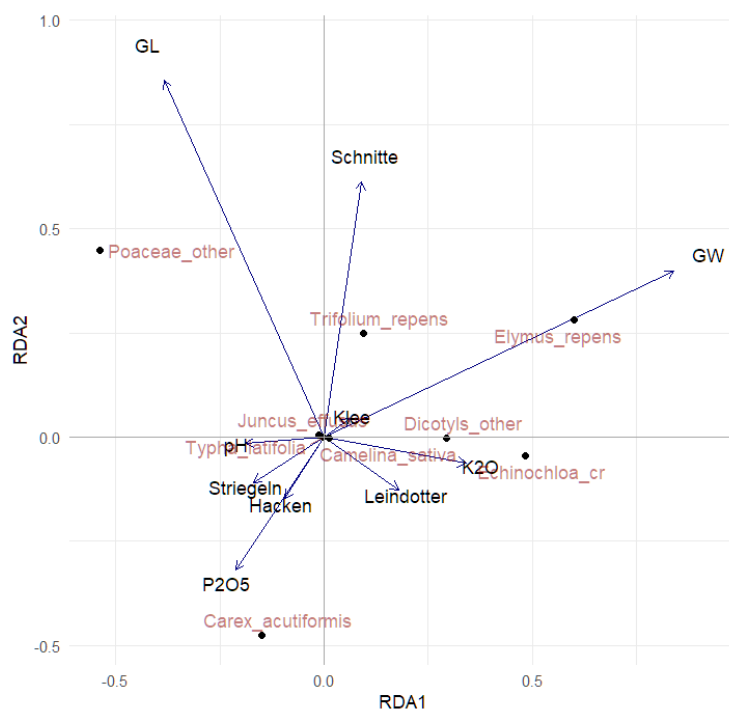


Abbildung 4.15: RDA-Biplot der Pflanzung (*Carex*-Etablierung). Blaue Pfeile stellen die Bewirtschaftung (siehe Tabelle 4.11) und die Umweltparameter dar; Schwarze Punkte stellen den Schwerpunkt einer Art dar.

Einfluss von Bewirtschaftung und Umweltparametern auf die Artenzusammensetzung bei Saat

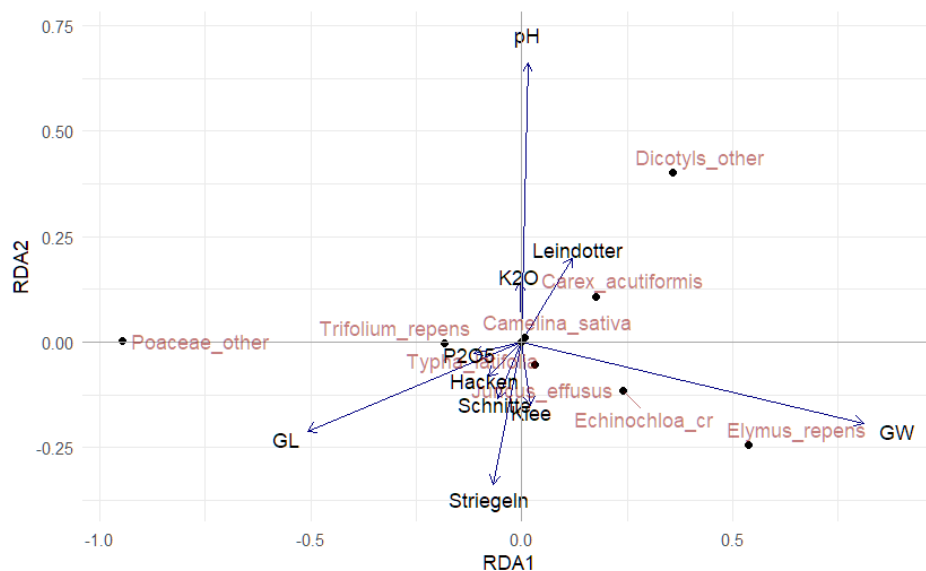


Abbildung 4.16: RDA-Biplot der Saat. Blaue Pfeile stellen die Bewirtschaftung (siehe Tabelle 4.11) und die Umweltparameter dar. Schwarze Punkte stellen den Schwerpunkt einer Art dar.

Nur ca. 17,8% der Varianz wird durch die Umweltvariablen erklärt, d.h. es gibt vor allem exogene, nicht in dieser Analyse betrachtete Faktoren, die die Varianz erklären. Der Grundwasserstand erklärt von den betrachteten Umweltparametern das allermeiste, alle anderen sind nachrangig (RDA-Werte nicht dargestellt; grafische Darstellung in Abbildung 4.16). Bei Saat sind Hacken, Striegeln, mehrfache Schnitte und vor allem Direktsaat ins Grünland kontraproduktiv (Pfeile zeigen weg von *Carex acutiformis*) Leindotter verhält sich indifferent gegenüber allen Parametern, steht aber *Carex* am nächsten. Auffällig ist, dass das Optimum des Vorkommens von *Carex* durch Saat nicht bei Flurabstand 0 cm oder dem GW-Pfeil gegenüber ist wie bei der Pflanzung, sondern bei etwas tieferem Flurabstand liegt. Dies weist darauf hin, dass der Grundwasserstand bei der minimal erfolgreichen Saat nicht gänzlich an der Oberfläche war.

4.1.6.3 Weitere Feldversuche zur Saat (PSC-HSWT)

Hinweis: im Folgenden werden die einzelnen Versuche der Tabelle 4.10 mit kurzem Methoden- und Ergebnisteil beschrieben. Eine gemeinsame Diskussion erfolgt am Ende des Kapitels „Saat.“

Versuch 22-1 Saatzeitpunkt

Parallel zum Beikrautmanagement-Versuch (2022) wurde ein Versuch zu Saatzeitpunkt (Mai, September), Saatstärke (1, 2.5, 7 kg/ ha), sowie dem Saatverfahren (Breitsaat, Drillsaat 1 cm Tiefe) durchgeführt. Da im ersten Jahr keine sichtbare Keimung stattfand, wurde dieser Versuch im Frühjahr des zweiten Jahres aufgegeben. Im dritten Jahr waren aber einzelne Pflanzen dort zu beobachten, wo ein Bewässerungsschlauch verlegt war.

Versuch 23-0 Zeitreihe Feldaufgang

Material und Methoden

Um geeignete Saatzeitpunkte zu ermitteln, wurde 2023 wöchentlich eine Anzuchtplatte (mit je einem Korn pro Zelle) flach vergraben, sodass Anschluss an das Bodenwasser bestand. Als Substrat kam Floraton-3 zum Einsatz und die Saat wurde oberflächlich abgelegt.

Ergebnis

Die höchsten Feldaufgangsraten lagen bei 18% im Mai und Juli 2024. Die geringste Verzögerung zwischen Aufstellen und Auflauf war Ende Mai und Ende Juli 2023 festzustellen (nicht dargestellt). Ein paralleler Keimtest im Keimschrank, in identischen Anzuchtplatten, ergab eine Keimrate von 35% nach 3 Wochen.

Diskussion

Es gab einen plötzlichen Einbruch der Zahl bereits existierender Keimlinge im Juni, das durch drei Gründe erklärt werden kann: 1. Vertrocknung von Keimlingen. Insbesondere der Juni war sehr trocken, sodass selbst die Variante mit Bewässerung eine zu hohe Verdunstung hatte. 2. Verwechslung der noch sehr kleinen Keimlinge mit anderen Süßgräsern, deren Saat insbesondere im Mai heranfliegt. 3. Ausspülen von Keimlingen und Samen: Da die Samen schwimmfähig sind, sind sie sehr anfällig für das Verfrachten durch Wasser bei Überstau. In manchen Platten fehlte bei Versuchsende fast die Hälfte des Substrats, welches ausgespült wurde und auch Keimlinge mit sich gerissen haben kann. Die absoluten Zahlen dieses ergänzenden Versuchs können nur als Orientierung dienen. Eine detailliertere Analyse der Wetterdaten ist zu einem späteren Zeitpunkt möglich.

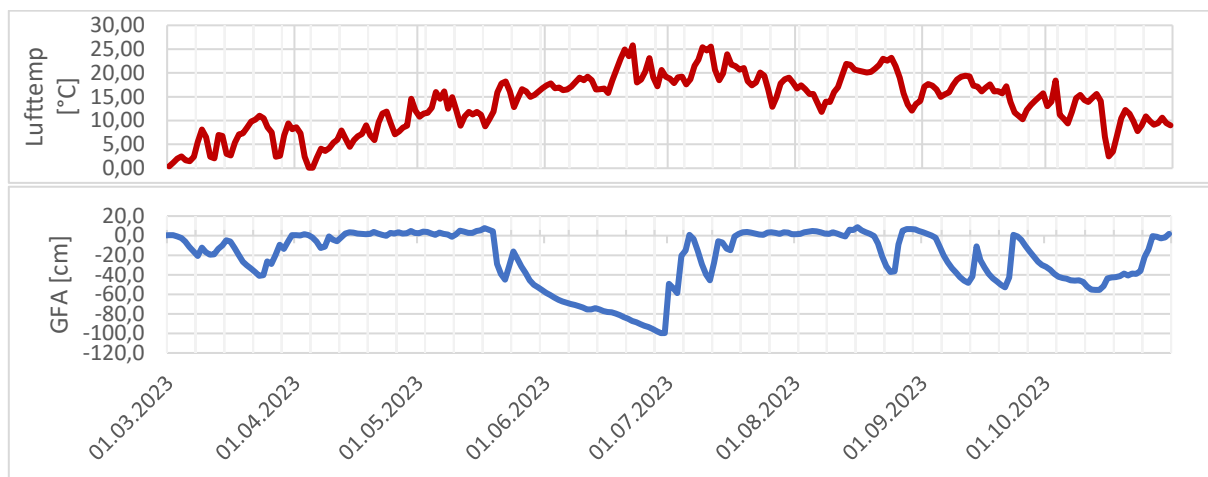


Abbildung 4.17: Ganglinie des Grundwasserflurabstands des nächstgelegenen Pegels C_01 in 2023 und Tagesdurchschnitt der Lufttemperatur in 20 cm Höhe.

Versuch 23-1 Mulchsaat

Zum Feuchthalten der Saat wurden lockere Abdeckungen aus Stroh, Streuwiesenheu sowie Vlies ausgebracht und es wurde in Alginatkugeln eingebettetes Saatgut ausgesät. Nach Versuchsstart blieben die ersten vier Wochen (Juni 2023) jedoch trocken und der Grundwasserstand fiel trotz Bewässerung stark ab (Vgl. Abbildung 4.17). Da im ersten Versuchsjahr keine sichtbare Keimung stattgefunden hat und der Versuch von Hühnerhirse überwuchert wurde, wurde er aufgegeben.

Versuch 23-2 Decksaat

Material und Methoden

Zeitgleich und mit gleicher Saatstärke wie im Mulchsaatversuch wurde als 2-faktorielle Spaltanlage (Grundwasserstand und Decksaat, $n=3$) dieser Versuch angelegt. Als potentielle Decksaat wurden Leindotter (Sorte „Caroline“), Rauhafer („Rhino“), Lieschgras (wie in LfL-M-Mischung) und Einjähriges Weidelgras („Andrea“) in je 2 Saatstärken betrachtet, sowie erneut eine Übersaat ins Grünland.

Ergebnis

Ebenfalls von der Trockenheit wie Versuch 23-0 betroffen (Abbildung 4.17), lief nur Rauhafer zufriedenstellend auf (Deckungsgrad 3-4 nach 7 Wochen) (Abbildung 4.18). Lieschgras und Leindotter verblieben bei Deckungsgraden um 1-2; Weidelgras gedieh auf den trockeneren Blöcken. Gelungen ist es, auf den Blöcken verschiedenen Grundwasser-Flur-Abstände als Gradienten einzustellen.

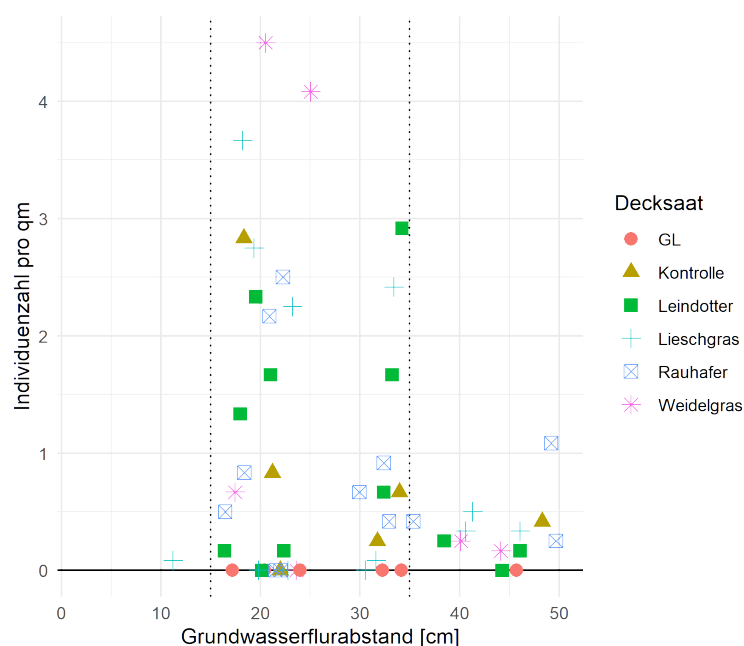


Abbildung 4.18: Individuenzahl im Juli des Folgejahres über mittlerem Grundwasser-Flur-Abstand (Mai-Okt) 2023 beim Decksaaten-Versuch

Es hat allerdings auf einem Block einer bestimmten Grundwasserstufe erhöhte Keimung stattgefunden. Im Bereich eines mittleren Flurabstandes im Sommer zwischen 15 cm und 30 cm unter Flur ist der Etablierungserfolg durch Saat deutlich höher. Da die Grundwasserdaten des Jahres 2024 bei Projektende noch nicht vorlagen, konnte noch keine detailliertere Analyse der Wasserstände durchgeführt werden.

Tastversuche 24-1,2,3 Vorbehandlungen, Decksaaten, Bodenbedeckung

In den Feldversuchen des Jahres 2024 wurden Tastparzellen mit allen relevanten Vorbehandlungen angelegt. Ziel des Versuchs war es, offene Hypothesen zu überprüfen, die sich aus anderen Versuchen gestellt haben. Die Vorbehandlungen umfassten mehrere Decksaaten, Abdeckungen mit Mulchmaterialien, Unterfußdüngung und erfolgreiche Vorbehandlungen aus dem Kapitel „Keimversuche“. Alle Varianten sind 1x mit und 1x ohne Beregnung angelegt worden. Die Versuche sind in unmittelbarer Umgebung der Blöcke anderer Versuche angelegt worden, die aufgrund ihres Grundwasserstandes im Jahr zuvor eine besonders gute Keimung aufwiesen. Ablauf: Fräsen, Anwalzen mit fast leerer Wiesenwalze, (ggf. Unterfußdüngung auf 2 cm Tiefe abgelegt, Saat auf 1 cm tief abgelegt, erneutes Anwalzen).

Ergebnis

Keine der Decksaaten ist zufriedenstellend aufgegangen. Da eine parallele Prüfung der Keimfähigkeit im Keimschrank ausreichende Keimfähigkeiten nachwies, muss die geringe Feldaufgangsrates an äußeren Umständen gelegen haben. Carex-Pflanzen waren vereinzelt zu sehen, aber hatten im Oktober nur Höhen von 2-5 cm, sodass sie von aufwuchernden Süß- und Ungräsern deutlich überdeckt wurden. Daher sind diese Versuche erst im Sommer 2025 auszählbar.

4.1.6.4 Gesamtdiskussion Saat (PSC-HSWT)

Die Saat hat im Beikrautmanagement-Versuch schlecht funktioniert. Da stratifiziertes Saatgut verwendet wurde und die Keimfähigkeit in parallelen Experimenten im Keimschrank

erfolgreich überprüft wurde, kann mit Sicherheit gesagt werden, dass die Keimfähigkeit oder Dormanz nicht die Ursachen für die schlechte Keimung im Feld sind.

Der geringe Feldaufgang 2022 mag an den gemeinsamen (unveränderten) Faktoren Saattbettbereitung (keine ausreichend unkrautfreies Saattbett, hoher Unkrautdruck, Saattiefe von 1 cm) und Witterungsbedingungen liegen. Die anfängliche, relativ lange Bewässerung per Güllestreuer kann zum Fortspülen von vielen Samen geführt haben oder einen zu sehr schwankenden Wasserstand für die schwimmfähigen Samen erzeugt haben, so dass sich frisch gebildete Wurzeln möglicherweise nicht verankert haben. Ebenso war dadurch eine keimhemmende Abkühlung des Oberbodens wahrscheinlich. Ein weiterer möglicher, nicht betrachteter Störfaktor sind mögliche keimhemmende Stoffe im Boden. Beispielsweise sondert Quecke (die auf diesen Flächen aktuell und zuvor vorkam) Exsudate über die Wurzeln ab, die keimhemmend wirken können.

Ein nach Möglichkeit unkrautfreies Saattbett wäre erstrebenswert, lässt sich aber nur schwer herstellen, wenn vorher Grünland auf der Fläche bestand, da hier die Bodensamenbank im Allgemeinen üppig gefüllt ist. Ein tieferes Fräsen (von 30 cm) ermöglicht dies leichter, wäre aber nach starkem Regen nicht mehr zu befahren.

Die flache Ablage bedeutet auch, dass ein Striegeln als Unkrautbehandlung sehr lange nicht in Frage kommt, weil die Seggen sich langsamer entwickeln als andere und flacher abgelegt werden müssen.

Im Sommer des dritten Jahres (von Versuch 2022-02) wurde die Individuendichte der Pflanzparzellen zu Versuchsbeginn erreicht oder überschritten und nun steht den erfolgreichen Saattparzellen ein explosionsartiges Wachstum bevor. Zu den erfolgreichen Varianten der Saat gehören die Schröpfungsschnitt-Varianten mit 10-20% Deckungsgrad und die Leindottervariante im Nassen mit Deckungsgrad von 30% im 3. Versuchsjahr. Auch wenn ihre Deckungsgradanteile zu Spitzenzeiten im Jahr nur bei 7% lagen, hat Leindotter seine Funktion erfüllt und *Carex* gefördert. Die Daten des Decksaaten-Versuchs 2023-02 widersprechen dem nicht. Wegen der insgesamt geringen Feldaufgänge bei *Carex* kann keine Artempfehlungen für Ammensaaten gegeben werden. Leindotter bleibt weiterhin ein Kandidat.

Trotz der Schwächen im Versuchsaufbau des Zeitreihenversuchs kann geschlossen werden, dass eine erfolgreiche Ansaat von *Carex acutiformis* nur zwischen Mai und Juli stattfinden kann. Dies korrespondiert mit dem Temperaturbedarf, der beim Gewächshausversuch dargestellt wurde. Der späte Zeitpunkt der Versuchsanlage der 2024er Versuche mit dem 15.08.24. hat möglicherweise eine Rolle beim Nichtgelingen dieses Versuchs gespielt. Ob dies an der kürzer werdenden Tageslänge (Photoperiode) oder an der Witterung im August 2024 lag, kann aber hier nicht unterschieden werden.

Ein grundsätzliches Problem der Saat ist die extrem langsame Jugendentwicklung von *Carex acutiformis*. Es wird oft überwuchert und gerät in Licht- und Raumkonkurrenz. Die einzig wirklich erfolgreiche Saat (mit zumindest mittlerem *Carex*anteil) im Projekt war eine Tastparzelle mit Diammonphosphat-Unterfußdüngung, die im Juli 2022 auf ein extrem lockeres Saattbett abgelegt wurde. Zusätzlich zur täglichen Gewitterschauern und warmem Wetter erhielt sie Beregnung. Welcher der Faktoren entscheidend war, hätte mit dem noch nicht auswertbaren Tastversuch von 2024 herausgearbeitet werden sollen. Dem Faktor Witterung und Bodenfeuchte im Oberboden ist eine besondere Beachtung zukommen zu lassen.

Stechringproben der 2024er-Versuche kurz nach Versuchsbeginn zeigten bei feldfrischen Proben ein wassergefülltes Porenvolumen von 90-100%, sodass entsprechend wenig Luft im Boden ist. Bei geringer Wasserbewegung im Untergrund und einem hohen Gehalt an

partikulär im Wasser vorliegendem Kohlenstoff, der in Form von Torfpartikeln hier vorliegen muss, ist eine hohe mikrobielle Sauerstoffzehrung im Rest der Bodenluft anzunehmen. Das Anwalzen nach der Saat hat hier die Situation verschlimmert und kann nicht empfohlen werden. Das Anwalzen vor der Saat ist hiervon nicht berührt und stellt einen wichtigen Schritt dar, um einen kapillaren Bodenschluss und eine konstante Ablagetiefe der Saat zu gewährleisten.

Dies beides in Kombination weist darauf hin, dass den Samen in der Ablagetiefe von 1 cm zu wenig Sauerstoff zum Keimen zur Verfügung stand. Bei den trockeneren Bedingungen des Juni 2023 wäre diese Ablagetiefe aber von Vorteil gewesen, da dann die obersten Millimeter des Bodens komplett ausgetrocknet sind. Zur richtigen Ablagetiefe lässt sich also schlussfolgern, dass eine oberflächliche Ablage mit sehr dünner Überdeckung bis maximal 0,5 cm Tiefe empfohlen werden kann. Bei der Anlage ist auf die langfristig prognostizierte Witterung zu achten und bei längerfristig zu erwartender Trockenheit entsprechend tiefer zu säen.

Ein Überstau der Flächen, auch nur sehr flacher, sollte verhindert werden, da die Samen sonst fortschwimmen können. Eine weitere Herausforderung sind die hohen nötigen Keimtemperaturen. Denn wenn der Wasserstand mit 10 cm unter Flur korrekt eingestellt ist, findet eine Temperaturpufferung der Bodentemperatur durch den hohen Wassergehalt statt. Beim Decksaaen-Versuch hat sich gezeigt, dass ein idealer durchschnittlicher Sommer-Wasserstand (in warmen Jahren) bei 20 ± 5 cm liegt. Eine regelmäßige Beregnung scheint vorteilhaft zu sein, dies konnte wegen des nassen Jahres 2024 aber nicht mit Daten belegt werden.

Insbesondere eine Saat bei bereits zum Saatzeitpunkt nassen/feuchten Bedingungen kann daher eine Lösung sein (bspw. per Drohne wäre dies möglich, in Kombination mit oberflächlicher Ablage).

Es lässt sich die Aussage treffen, dass mit ausreichend Zeit (> 3 Jahre) und dem passenden, flurnahen Wassertand eine Etablierung per Saat bereits jetzt möglich wäre. Dem entgegen spricht zurzeit nur der hohe Bedarf an Saatgut, der am Markt 2024 nicht gedeckt werden könnte.

4.1.6.5 Weitere Pflanzversuche (PSC-HSWT)

Hinweis: im Folgenden werden die einzelnen Versuche der Tabelle Tabelle 4.10 mit kurzem Methoden- und Ergebnisteil beschrieben. Eine gemeinsame Diskussion erfolgt am Ende des Kapitels „Pflanzung“

Versuch 23-4 Mulchpflanzung

Material und Methoden

Dieser Versuch ergänzt den Beikrautmanagement-Versuch um die nötigen Wiederholungen ($n=3$) der Bewirtschaftung "Mulchfolie", die vorher nur als Tastversuch vorlag (nun randomisierter Blockversuch). Um eine Alternative zur Mulchfolie zu finden, wurden drei weitere biologische Mulchmaterialien zur Unkrautunterdrückung ausgebracht. Stroh und Streuwiesenheu in 7 cm Stärke (lose liegend), Grassilage in 3 cm Stärke. In der praktischen Versuchsanlage wurde gefräst, dann der Mulch ausgebracht und anschließend maschinell in die Mulchschicht hinein gepflanzt. Die Pflanzung war nur möglich mit einer mulchpflanzfähigen Maschine. Eingesetzt wurde ein "Mulchtec Planter" der Firma "live2give". Die Folienvariante wurde händisch gepflanzt. Zur Evaluierung wurden Deckungsgradschätzungen

durchgeführt und die Trockenmasseerträge der Winter/Herbsternte im 1. und 2. Standjahr gemessen.

Ergebnis

Die Unkrautunterdrückung im ersten Jahr war bei allen Varianten erfolgreich (Deckungsanteil meist 5%, max.20%), vgl. Abbildung 4.19) Während sie bei der Folie vollständig war, war sie beim biologischen Mulch immer noch relativ gut.

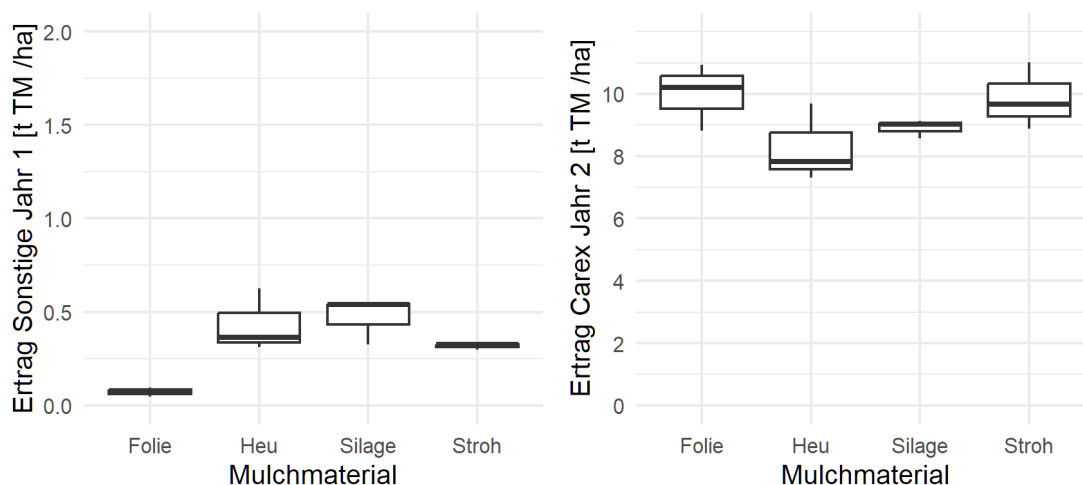


Abbildung 4.19: Unkrautmenge im 1. Jahr (links) und Ertrag im 2. Jahr (rechts), verschiedene Skalen.

Es haben sich im zweiten Versuchsjahr Unterschiede zwischen den Varianten ergeben. Heu lieferte geringere Erträge als Silage und Stroh. Alle Erträge liegen in der gleichen Größenordnung von 7-11 t TM / (ha*a) wie sie von einem geschlossenen Carex-Bestand erwartet werden können (vgl. Eickenscheidt et al., 2023). Stroh liegt auf demselben Niveau wie die zuvor eingesetzte Folie, was durchaus positiv ist, weil dadurch die Folie durch Stroh ersetzt werden kann.

Tastversuch 23-5 Pflanzzeitpunkt

Die Frage nach den Grenzen des Möglichen bei den Pflanzzeitpunkten wurde beim Tastversuch zur Herbstpflanzung versucht einzugrenzen.

Material und Methoden

An zwei Standorten (nass, trocken) wurde in zwei Pflanzdichten (9 und 5 /m²) und zwei Ballengrößen (4 und 2 cm Kantenlänge) im September und April direkt ins Grünland gepflanzt.

Ergebnis

Nur die Pflanzungen am nassen Standort sind mit geringen Ausfällen durchgekommen. Der Besiedlungserfolg gegen die Konkurrenz war bei 4cm-Ballen deutlich besser. Gegenüber der Vergleichspflanzung aus dem Juli blieben die spät und früh gesetzten Pflanzen aber deutlich zurück.

Erfahrungsbericht Maschinentest Mulchpflanzmaschine

Im September 2024 wurde eine Testpflanzung mit einer Kombination einer Mulchpflanzmaschine (Modell Mulchtec Planter) an einem Raupentraktor (Modell Yanmar CT 1335) bei hohem Wasserstand durchgeführt. Personaleinsatz 1 Traktorfahrer, 3 Pflanze, 2 Hilfspersonen (Abbildung 4.20).



Abbildung 4.20: Eindruck der Direktpflanzung ins Grünland

Ergebnis

Mit dem Raupentraktor konnten eine für Pflanze freundliche Fahrgeschwindigkeiten unter 1 km/h realisiert werden und der Bodendruck des gesamten Gespanns betrug 235 g/cm², ohne Personen. Die nach der Pflanzung per Scherflügel-Sonde gemessenen Scherfestigkeitswerte der Grasnarbe hatten geringe Werte von 21 - 45 kPa, eine Befahrung war hier problemlos möglich und die Gummiketten hinterließen keine Narbenschäden. Es konnte unter leichtem Überstau gepflanzt werden. Der Überstau muss weniger betragen als die Ballenhöhe, sonst schwimmen die Setzlinge auf und haben nicht ausreichend Kontakt mit dem Schlitz.

4.1.6.6 Gesamtdiskussion Pflanzung (PSC-HSWT)

Diskussion Beikrautmanagementversuch -Teilbetrachtung Pflanzung:

Insgesamt lagen die Erntemenge im 2. und 3. Jahr im Rahmen dessen, was im MOORuse-Projekt ermittelt wurde (7-11 t/ha TM). Da sich die in 30 cm Abstand gepflanzten Bestände binnen 12 Monaten geschlossen haben, kann auf eine laterale Ausbreitungsgeschwindigkeit von 30 cm pro Jahr oder mehr geschlossen werden. Insgesamt haben viele Varianten bereits im Laufe des zweiten Jahres ihre volle Bestandesdichte mit >90% Carex-Deckung erreicht. Dies ist ein Fortschritt gegenüber dem MOORuse-Projekt, wo es teilweise 24 Monate bis zum Bestandesschluss dauerte (Eickenscheidt et al., 2023).

Hacken und Striegeln funktioniert offensichtlich bei trockenen Bedingungen besser, weil dies das Wiederanwachsen des ausgerissenen Unkrauts verhindert. Einschränkend ist zu sagen, dass wegen steigenden Grundwasserständen nicht oft genug gestriegelt werden konnte, als dass ein starker Effekt dagewesen wäre. Da dies durchaus praxisnahe Bedingungen sind, ist ein Striegeln nicht zu empfehlen. Das gute Abschneiden der Null-Bewirtschaftungsvari-

ante (Kontrolle) zeigt, dass mechanische Unkrautbekämpfungsmethoden für eine erfolgreiche Etablierung nicht notwendig sind (bei der geprüften Pflanzdichte von 9 /m²). Sie können jedoch den Bestand bei niedrigen Wasserständen in der Etablierungsphase unterstützen und sorgen später für einen reineren Bestand als bei der Nullvariante (siehe Abbildung 4.21)

Aus Abbildung 4.21 und den Deckungsgradschätzungen lässt sich ablesen, dass Unkraut in Carex-Beständen vor allem dann auftritt, wenn der Grundwasserstand nicht hoch genug ist. Durch die starke Konkurrenz bei der GL-Variante kann die Segge nur in ihrem ökologischen Optimum (flurnaher Wasserstand) gedeihen. Eine Pflanzung allein, sogar direkt ins Grünland, ist ausreichend, damit sich Sumpf-Seggen im Laufe des 2. Standjahr durchzusetzen. Ein hoher Ertrag hängt davon ab, dass der Grundwasser-Flur-Abstand dauerhaft flurnah (< 25 cm) ist.

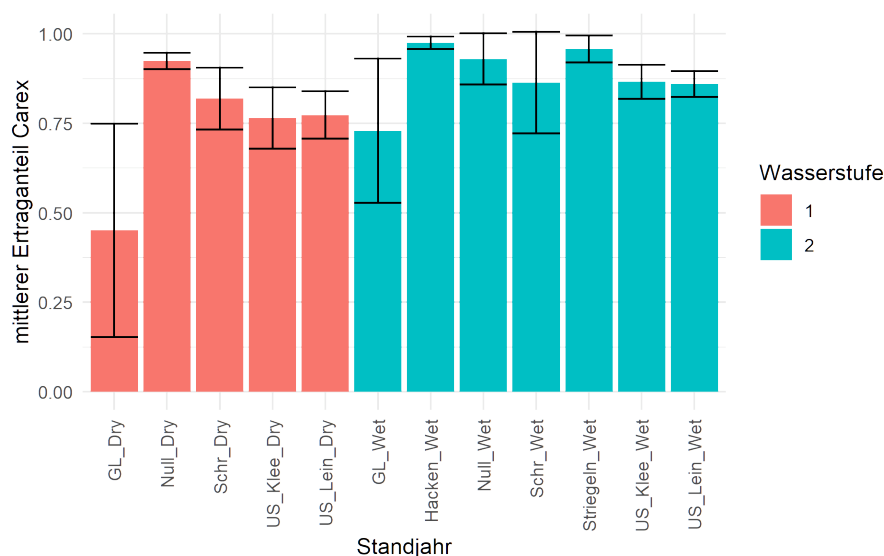


Abbildung 4.21: Ertragsanteil von Carex in der Trockenmasse des zweiten Etablierungsjahres mit Standardabweichung. Zu beachten sind vor allem die Varianten Hacken und Striegeln.

Schnellste Etablierung

Die überwiegende Zahl der Varianten schließt ihren Bestand erst in ihrer zweiten Vegetationsperiode. Hervorzuheben sind dagegen alle Varianten mit kompletter Unkrautunterdrückung durch (Mulch-) Auflagen.

Die Tastparzellen mit biologisch abbaubarer Mulchfolie hatten im Vergleich zu allen anderen Varianten des Beikrautmanagementversuchs die mit Abstand größte Biomasse schon im ersten Jahr (ca. 5 t/ha TM gegenüber 7 t/ha im Durchschnitt des nassen Standorts). Beim im folgenden Jahr (2023) gestarteten Mulchpflanzversuch wurde im ersten Jahr jedoch nur eine Biomasse von 1,1 t/ha TM gebildet. Der Pflanzzeitpunkt im Mulchpflanzversuch war mit Mitte Juli aber wesentlich später als beim vorangegangenen Tastversuch mit Mulchfolien (Ende Mai). Daher ist es naheliegend, wenn auch vermengt mit dem Effekt der Witterung verschiedener Jahre, dass der Pflanzzeitpunkt hier den größeren Einfluss haben müsste. Die Gründe für die leichten Ertragsunterschiede beim Mulchversuch zwischen den Varianten im zweiten Jahr konnten bei Abschluss des Berichts noch nicht analysiert werden.

Die sehr erfolgreiche Etablierung mit Stroh als Mulchauflage lässt aufgrund der geringen Zahlen an Beikräutern die Schlussfolgerung zu, dass *Carex*-Pflanzen hier ohne Konkurrenz eine grundsätzlich bessere Etablierungschance haben.

Somit könnte bei Strohabdeckung von den bisher genutzten 5 bis 9 Pflanzen/m² deutlich reduziert werden, was die Etablierungskosten senken würde. Wie das Hacken und die Folie im Beikrautmanagementversuch gezeigt haben, kann *Carex* sich ohne Konkurrenz auch unter „mittleren“ Wasserstandsbedingungen mit Grundwasser-Flurabständen unterhalb ihres ökologischen Optimums etablieren.

Einfachste Etablierung

Für alle oben genannten Abläufe bei der Etablierung in Dauergrünland ist es Voraussetzung, ein gefrästes Saatbett zu haben. Dessen Herstellung ist jedoch daran geknüpft, einen fräsfähigen, nicht schmierenden Boden zu haben. Dafür muss der Wasserstand für die Flächenvorbereitung niedrig sein. Wenn anschließend schnell (binnen 1-2 Wochen) der Wasserstand angehoben werden muss (vgl. Eickenscheidt, Krimmer und Drösler, 2023), müssen bauliche Einrichtungen zur Wasserstandregelung vorhanden sein und zusätzlich muss es eine trockene Wetterperiode geben. Bei der zuverlässigen Wiedervernässung nur durch Drainageentfernung ist der Wasserstand nicht regelbar. Daher wäre man in allen Abläufen umso wetterabhängiger. Um zeitlich und vom Wasserstand unabhängig arbeiten zu können, spielt es eine wichtige Rolle, direkt pflanzen zu können: die Direktpflanzung ins Grünland ohne Bodenbearbeitung. Die untersuchte Methode bezieht sich auf eine Pflanzung mit 9/m². Es ist ein langsamerer Bestandschluss zu erwarten, wenn man die Pflanzdichte verringert.

4.1.7 Gesamtfazit und Empfehlungen für die Praxis für die Etablierung der Sumpf-Segge (PSC-HSWT)

In einem Filterprozess von möglichen Vorbehandlungen in Keimversuchen, Gewächshausversuchen und Feldversuchen wurde in diesem Projektteil umfangreich angeschaut, welche Behandlungen und Anbaumethoden für *Carex acutiformis* (Sumpf-Seggen) vielversprechend sind.

In der Anzucht konnte gezeigt werden, dass eine Saat in unbeheizten Gewächshäusern im Sommer problemlos möglich ist und mit welchen Nährstoff- und Wassergaben (2x tägl.) die Kulturführung im Gewächshaus funktioniert. Es können bei Saat oder vegetativer Vermehrung im Gewächshaus mehrere Wege gegangen werden, die betriebswirtschaftlich betrachtet werden müssten.

Saat im Freiland ist nur stark eingeschränkt empfehlenswert. Der Grund ist vor allem die Saatgutverfügbarkeit bzw. der Saatgutbedarf pro Hektar und die oft sehr schlechte Feldaufgangsrate. Es sollte wegen der erhöhten und schnelleren Keimung in jedem Fall statifiziertes Saatgut verwendet werden. Technisch funktioniert sie bei Einhalten der passenden Wasserstände, wobei hohe Temperaturen an der Bodenoberfläche und stets hohe Bodenfeuchte entscheidend sind. Äußere Bedingungen haben hier die Saat oft erschwert. Aus den im Projekt durchgeführten Feldversuchen kann gefolgert werden, dass eine Saat nur von Mai bis Juli empfohlen werden kann. Es konnte gezeigt werden, dass die Umweltbedingungen gut eingestellt sein müssen, um *Carex acutiformis* erfolgreich säen zu können. Bei dem zeitlichen Ablauf „zuerst bei Trockenheit säen oder pflanzen, dann Vernässen“ gibt es ein großes Risiko, dass die Etablierung nicht gelingt oder schlecht gelingt, weil die Wasserstände in der Praxis oft nicht schnell genug steigen.

Eine Pflanzung von *Carex acutiformis* ist momentan zu bevorzugen, da diese im Saatguteinsatz um Größenordnungen effizienter ist als die Saat im Freiland. Empfehlenswert sind

eine Bodenbearbeitung durch Fräsen und Abdeckung mit Stroh mit anschließender Pflanzung ins Stroh. Dies sorgt für eine sehr schnelle Etablierung binnen einer Vegetationsperiode. Dabei lässt sich voraussichtlich die Pflanzdichte gegenüber den bisherigen Versuchen reduzieren. Ebenfalls empfehlenswert sind Bodenbearbeitung, Pflanzung und Hacken, wenn es trocken ist oder reiner Bestand benötigt wird. Dies ist allerdings sehr arbeitsaufwendig. Eine Direktpflanzung in Grünland ohne Bodenbearbeitung kann empfohlen werden, wenn man mehr Zeit hat und Mischbestände zwei Jahre lang verwerten kann, aber dafür ist dieses Verfahren sehr einfach und zeitlich flexibel und man kann als wesentlichen Vorteil auf den Umbruch der Grasnarbe verzichten. Essentiell dafür ist ein gut eingestellter Wasserstand. Eine erfolgreiche Pflanzung ist theoretisch auch mit Ablegern, wurzelnackten geteilten Pflanzen, oder Spitzen von Rhizomen möglich, dies wurde aber noch nicht im Exaktversuch getestet.

4.2 Ernte von Anbau-Paludikulturen (LfL, ARGE, DMZV)

Es wurden während der Projektzeit zwei Paludikulturflächen von zwei Betrieben in Bayern betreut.

PB 6 (Paludikulturstandort Langenmosen im Altbayerischen Donaumoos, Abschnitt 1.4.4)

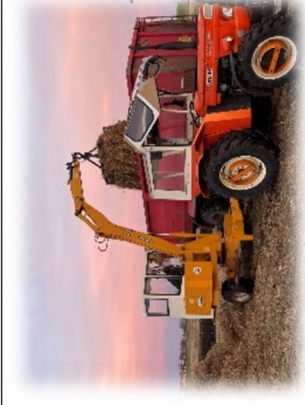
Der Betrieb wurde von 2022 – 2023 bei der Ernte von Wiesengras, Rohrkolben, *Carex* und Rohrglanzgras begleitet. Die Ernte von dieser Paludikulturfläche konnte im Jahr 2022 bei der Winterernte vom 21.02.-24.02.2022 betreut werden, der Sommerschnitt konnte aufgrund der zu kurzfristigen Mitteilung des Schnitttermins nicht betreut werden. Der folgende Winterschnitt am 28.11.-29.11.2022 konnte wieder begleitet werden, allerdings konnte wegen der schlechten Wetterbedingungen keine Wiegung mittels der mobilen Achslastwaage durchgeführt werden. Im Jahr 2023 konnte der Sommerschnitt vom 14.07-22.07.2023 mitbetreut werden, der Winterschnitt konnte nicht begleitet werden. Im Folgenden sind die verschiedenen Verfahrenstechniken die zur Ernte des Paludimaterials bei diesen Schnitten eingesetzt wurden, abgebildet (siehe Tabelle 4.13).

Im November 2024 fand eine weitere Ernte von *Carex*, Rohrkolben und Rohrglanzgras mit Vorführung für Landwirte, organisiert durch den DMZV, statt. Dabei wurde marktverfügbare Spezialtechnik (Softtrak der Firma Wellink) vorgeführt (Abbildung 4.22). Die Biomasse wird in einem Arbeitsgang ohne Überfährung geerntet, gehäckselt und geladen und am Feldrand auf ein größeres Transportfahrzeug umgeladen.



Abbildung 4.22: Erfolgreiche Erntevorführung von Seggen und Rohrglanzgras mit Spezialtechnik im November 2024 (<https://www.youtube.com/watch?v=SIIVijeA2LQ>)

Tabelle 4.13: Verfahrensschritte der Paludikulturente im Altbayerischen Donaumoos

 Mähen	 Schwaden	 Bergen	 Abtransport
Traktor mit Gitterrädern und Doppelmesser ▪ Kleine, leichte Traktoren zur Gewichtsreduzierung ▪ Gitterräder erhöhen die Tragfähigkeit (nicht straßentauglich) ▪ Viel Rüst- und Wartungszeiten ▪ Doppelmesser zum besonders schonenden Mähen, hoher Wartungsaufwand	Traktor mit Gitterrädern und Kreiselchwader ▪ Kleine, leichte Traktoren zur Gewichtsreduzierung ▪ Gitterräder erhöhen die Tragfähigkeit (nicht straßentauglich) ▪ Viel Rüstzeiten für die Gitterräder ▪ Kreiselchwader kaum Rüst – und Wartungszeiten	Standardtraktor mit Zwillingbereifung und Ladewagen ▪ Standardtraktor mit Zwillingbereifung vorne und hinten mit einem leichten Ladewagen mit Pickup (straßentauglich) ▪ Relativ geringer Bodendruck ▪ Kaum Rüst- und Wartungszeiten	Verladen des Materials mit einem Kran in eine Mulde und Abtransport mit einem Standardtraktor ▪ Einsatz vor allem bei sehr nassen Flächen ▪ Enorm zeitaufwändig ▪ Zusätzlicher Arbeitsaufwand durchs erneute Auf- und Abladen des Ernteguts

PB 1.6 (Paludikulturfläche Riedhausen im Schwäbischen Donumoos, Abschnitt 1.4.5)

Der Betrieb wurde von 2021 – 2023 bei der Ernte von Carex und Rohrglanzgras ganzjährig begleitet. Auf der Versuchsfläche wurde in den verschiedenen Versuchsjahren jeweils ein Sommerschnitt und ein Winterschnitt durchgeführt und hierbei verschiedene Verfahrenstechniken eingesetzt und getestet. Festzustellen war, dass durch die recht trockenen Versuchsjahre der Wasserstand keine großen Probleme darstellte, sondern eher das Paludimaterial. Die Verfahren kamen nicht alle mit dem teilweise sehr langen Rohrglanzgras zurecht, vor allem beim einschürigen Bestand. Mit einem Scheiben- oder Trommelmähwerk war es nicht möglich Paludikulturflächen zu mähen, da sich das Material um die Trommeln wickelt. Allerdings hatte auch die Moorspezialtechnik mit einem Brielmaier Einachsmäher mit dem robusten Carex oder Rohrglanzgras Probleme. Am geeignetesten verhielt sich hier der Einsatz von einem Doppelmessermähwerk (siehe Abbildung 4.23).

Durchgesetzt hat sich bei der Bewirtschaftung dieser Flächen bei einem Einsatz ohne Spezialmaschinen ein Zweischnitt-Regime mit Doppelmessermähwerk und ein auf die große Erntemenge angepasster Schwad, d. h. es kann nur ein Einkreiselschwader eingesetzt werden. In den Sommermonaten (1.Schnitt) konnte das Erntegut auf der Fläche wie Heu getrocknet und gepresst werden. Die Nutzung des 2. Schnitts (Oktober) erwies sich als herausfordernder. Bisher konnte nur die Ernte aus einem Jahr verwertet werden (Ladewagen-Trocknungswerk-Pellets). Die Silage- und Trocknungsversuche sind bis dato leider nicht gelungen. Im Oktober/November 2024 wurden Heulageballen erzeugt. Herkömmliche Trocknungswerke weigerten sich, die Paludikulturen anzunehmen, da sie bereits am 31.10. schließen und wegen Kapazitätsengpässen das „schwierige“ Material nicht verarbeiten möchten.



Abbildung 4.23: Brielmaier Einachsmäher mit umwickeltem Erntegut (links), mitte: verstopftes Trommelmähwerk (mitte), Traktor mit Doppelmesser (rechts)

Die im schwäbischen Donaumoos eingesetzten verschiedenen Verfahrenstechniken sind in Tabelle 4.14 dargestellt. Bildlich sind hierbei allerdings nur einige der Techniken visualisiert.

Tabelle 4.14: Verfahrensschritte der Paludikulturente im schwäbischen Donaumoos

 Mähen	 Schwaden	 Bergen	 Abtransport
Standardtraktor mit Doppelmesser - Standardtraktoren im Einsatz bedingt durch die trockenen Sommer (straßentauglich) - Viel Rüst- und Wartungszeiten für das Doppelmessermähwerk - Doppelmesser zum besonders schonenden Mähen	Standardtraktor mit Kreiseischwader - Standardtraktor mit leichtem Einkreiseischwader (straßentauglich) - Kreiseischwader kaum Rüst – und Wartungszeiten	Standardtraktor mit Rundballen/Quaderballenpresse oder Ladewagen - Standardtraktor mit Rund/-Quaderballenpresse (straßentauglich) - Relativ hoher Bodendruck - Kaum Rüst- und Wartungszeiten - Teilweise Probleme mit der Pick-up der Presse mit dem Erntematerial	Verladen des Materials mit einem Traktor mit Ballenzange und Abtransport mit einem Standardtraktor - Standardtraktor mit einer Ballenzange (straßentauglich) - Zusätzlicher Arbeitsaufwand durch das Transportieren und Verladen des Ernteguts - Möglichkeit zur Silierung der Ballen → Kosten und zeitaufwändig

Festzuhalten bleibt, dass ebenso wie bei der Nassgrünlandbewirtschaftung auf den Praxisbetrieben, auch bei der Paludikulturernte die Praxisbetriebe unterschiedliche Verfahrenstechniken eingesetzt haben und es bis dato noch keine ideale Verfahrenstechnik für die nasse Moorbewirtschaftung gibt. Da die Witterung variiert, ist eine situationsabhängige Anpassung der Bewirtschaftungsstrategien notwendig, um die spezifischen Herausforderungen jeder Fläche zu meistern.

4.2.1 Fazit Landtechnik Paludikulturen (LfL)

Festzuhalten bleibt, dass ebenso wie bei der Nassgrünlandbewirtschaftung auf den Praxisbetrieben, auch bei der Paludikulturernte der Praxisbetriebe unterschiedliche Verfahrenstechniken eingesetzt wurden und es bis dato noch keine ideale Verfahrenstechnik für diese Art der nassen Moorbewirtschaftung gibt. Als nicht geeignet erwiesen sich alle Standardtechniken mit rotierenden Elementen (Scheibenmäherwerk, Schwader, Pick-up), da sich das lange und fasrige Material an den rotierenden Elementen wickelte und zum Verstopfen/Stillstand der Maschinen führte.

Die Landtechnik Paludikulturen wird aktuell bundesweit in mehreren parallelen Projekten weiterentwickelt und erprobt. Es ist geeignete Spezialtechnik für die Ernte marktverfügbar. So meisterte die in 2024 im Altbayerischen Donaumoos getestete Spezialtechnik die Ernte hervorragend, auch bei sehr hohen Beständen, langen Gräsern und Bereichen, in denen das Material ins Lager gegangen war. Sie meisterte die sehr nassen Bedingungen ebenfalls problemlos. Teilweise erkennbare Spuren und Unebenheiten stammen aus früheren Ernten.

4.3 Verwertungsmöglichkeiten für Paludikulturen (DMZV, ARGE)

Für die Vermarktung von Paludibiomasse gibt es immer noch keine Abnehmer. Für jeden einzelnen Landwirt stellt sich vor der Entscheidung zur Wiedervernässung von Moorflächen daher die wichtige Frage, welchen Beitrag diese Flächen in Zukunft zur Sicherung seines Betriebs leisten können. Die aus der jährlichen Ernte anfallende Paludibiomasse braucht einen Absatzmarkt und eine sinnvolle Verwertung, mit der ein Landwirt idealerweise auch Wertschätzung erfährt. Der Aufbau von Wertschöpfungsketten erfordert daher die Bildung eines Netzwerks zwischen zukünftigen Marktpartnern. Dies mit dem Ziel, innovative produktionstechnische Lösungen für neue nässeangepasste Paludikulturen und produktives Nassgrünland auf Moorböden zu finden. Für einen Durchbruch von Verwertungsoptionen in der Praxis fehlen bisher u.a. Spezifikationen der Herstelleranforderungen, Kontakte zwischen Erzeugern und Verarbeitern sowie betriebswirtschaftliche Grunddaten. Nach Erarbeitung dieser Produktanforderungen (Qualitätsparameter) und Lösungsansätzen für die Hemmnisse soll eine Analyse mit anschließender Strategieentwicklung für die Vermarktung erfolgen. Mit der Identifizierung von Absatzmärkten und Wertschöpfung wird eine entscheidende Hürde überwunden, damit Landwirte auf eine moorverträgliche Nutzung umstellen. Der Fokus liegt dabei ausdrücklich auch auf regional spezifischen Vermarktungswegen sowie der Akquise von Landwirten und Unternehmen. Als Meilensteine gelten die Identifizierung aller relevanten Stakeholder, die Identifizierung der Produktanforderungen und Hemmnissen sowie eine Zielgruppenanalyse und Vermarktungsstrategie.

4.3.1 Methodik (DMZV)

Als Grundlage für die Netzbildung und Vermarktungsbemühungen diene die Auswertung vorangegangener Studien (bspw. Integriertes Entwicklungsprogramm Donaumoos Band 3-5, 1995) und aktueller Projekte (bspw. MOORuse; Paludipellets) zum Thema Ver-

wertung von Paludibiomasse sowie umfangreiche Recherchearbeiten. Die Rechercheergebnisse wurden mit Ergebnissen anderer Moorprojekte und Machbarkeitsstudien (bspw. Systain Consulting GmbH, 2023) abgeglichen und durch Diskussion in Expertengremien abgesichert. So ergab sich ein Portfolio an vielversprechenden Verwertungslösungsansätzen. Die identifizierten Firmen wurden einzeln von den jeweiligen Projektpartnern mit ausreichend Biomasse für die Laboranalysen bzw. Verarbeitungstests versorgt und direkt mit Forschungs- und Entwicklungsleistungen beauftragt. Die jeweiligen Ergebnisberichte sind diesem Bericht beigelegt. Nach den ersten Tests wurden die Ergebnisse analysiert und priorisiert. Mit den realistischeren Verwertungsoptionen wurden erneut Aufträge an interessierte Unternehmen vergeben, um weitere Tests durchführen zu können. Aus einigen Themen wurden von Projektpartnern eigenständige Forschungs- und Entwicklungsprojekte entwickelt und in Zusammenarbeit mit der Industrie durchgeführt. Zur Vertiefung wurden Workshops und Netzwerktreffen organisiert. Es fanden Erntevorfürungen, Feldtage und Sachvorträge statt. Die Projektpartner stellten sich fortlaufend auf Messen vor und bauten das Verarbeiternetzwerk kontinuierlich durch Akquisemaßnahmen aus. Es wurden zur Netzwerkbildung dauerhaft alle bekannten öffentlichkeitswirksamen Kanäle wie Internet, Radio, Print und Fernsehen zur Erweiterung des Netzwerks intensiv bespielt.

4.3.2 Überblick und Wertung der Verwertungsoptionen – Paludiverwertungsmatrix (DMZV)

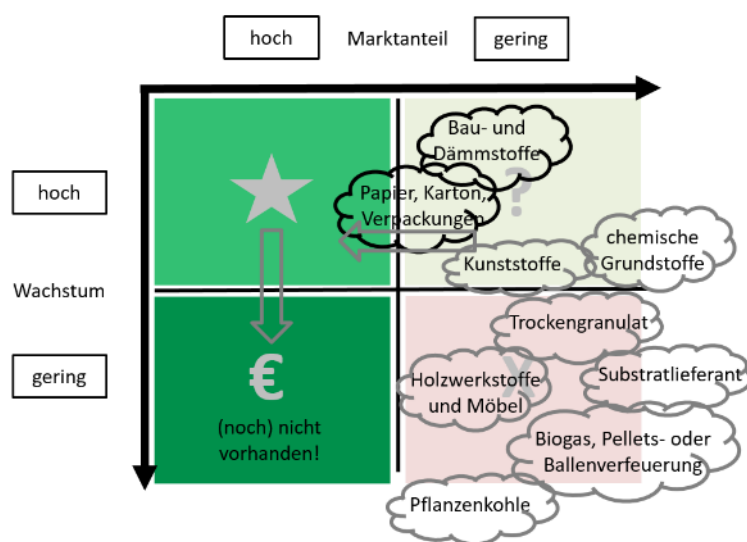


Abbildung 4.24: Adaptierte Wachstums-Marktanteil-Matrix (Boston Consulting Group, 2024) für Paludiprodukte und -bereiche (Erläuterung siehe Fließtext)

Die Wachstums-Marktanteil-Matrix (Abbildung 4.24) wird von Unternehmen dazu genutzt, um ihr Produktportfolio zu analysieren und ihre Ressourcen entsprechend zu priorisieren. Produkte sollten sich aus Fragezeichen (?) zu Stars (★) und dann zu Goldeseln (€) entwickeln. Produkte im Quadranten Ballast (X) sollten keine weiteren Ressourcen binden, um Verluste zu minimieren. Für Paludiprodukte bzw. Paludiproduktbereiche ergibt sich gemäß DMZV folgende Einteilung: Im sogenannten Fragezeichen-Quadranten finden sich aktuell vier Produktbereiche. An der Schwelle zum Star befinden sich Papier-, Karton- und Verpa-

ckungsprodukte. Hier bestehen schon industrielle Prozesse und großmechanische Produktionen wurden bereits erfolgreich durchgeführt. Produkte aus nachwachsenden, regionalen Rohstoffen finden in der Branche immer mehr Beachtung. Bau- und Dämmstoffe sind aufgrund von Eignung und des zu erwartenden Bedarfs in der Baubranche der aktuell größte Hoffnungsträger. Allerdings befinden sich alle relevanten Produkte noch in einem Prototypstadium und müssen zuerst noch weiterentwickelt werden. Es bedarf größerer Investitionen in Infrastruktur und Vermarktung. Chemische Grundstoffe (bspw. Hydroxymethylfurfural, Phenole, etc.) werden gerade erst getestet, spielen aber in der Bioökonomie der Zukunft eine wichtige Rolle. Erste Preisschätzungen sind vielversprechend. Mit Pflanzenfasern verstärkte Kunststoffe können schon heute seriell hergestellt werden und bieten unzählige Anwendungsbeispiele. Es besteht daher zumindest eine realistische Chance, dass sich diese Produkte schnell weiterentwickeln. Einen richtigen „Star“ gibt es noch nicht. Einen „Goldesel“ gibt es auch noch nicht. Dabei wäre es wichtig, dass möglichst bald ein Produzent eines Paludiprodukts regelmäßig große Mengen (> 100 ha) Paludibiomasse abnimmt. Im „Ballast“-Quadranten befinden sich weitere interessante Paludiprodukte. Ihre Machbarkeit ist fast immer nachgewiesen, allerdings stehen teils große Herausforderungen oder Hemmnisse im Weg und machen einen kurzfristigen Durchbruch aktuell unwahrscheinlich. Es sollten daher zunächst alle verfügbaren Ressourcen auf andere Bereiche konzentriert werden, bevor diese Themen weiter intensiv bearbeitet werden.

Für eine Interpretation der Matrix ist zu berücksichtigen, dass sich Paludiprodukte und deren Wertschöpfungsketten grundsätzlich noch im Aufbau befinden und sich daher dynamisch entwickeln. Einzelne Produkte bzw. Produktbereiche haben großes Potenzial, bspw. Papier- und Bauprodukte, und sollten schnell mit Investitionen unterstützt werden. Ganz unabhängig davon befinden sich viele der beteiligten Branchen und Unternehmen in einem Transformationsprozess und gehen einer Zeit großer struktureller Veränderungen entgegen. Bioökonomie, Kreislaufwirtschaft, Dekarbonisierung und Nachhaltigkeit sind nur einige Themen, welche Geschäftsmodelle neu formen und dabei auch eine ganze Reihe neu designeder Produkte hervorbringen werden. Mittendrin suchen Paludiprodukte ihren Platz. Deren Wachstum und Marktanteil sind daher nur abzuschätzen und lassen sich aktuell nur auf Basis vergleichbarer Produkte in der Branche seriös bewerten. Die Analyse zeigt vor allem eindrücklich, dass für die Etablierung der ersten Paludiwertschöpfungskette die Anstrengungen konzentriert werden sollten. So könnte der erste „Star“ bzw. der erste „Goldesel“ entwickelt werden. Weniger vielversprechende Produktbereiche sollten dafür zurückgestellt werden.

4.3.3 Kulturauswahl und Besonderheiten bei der Ernte (DMZV)

4.3.3.1 Auswahl der Paludikulturen für Testversuche (DMZV)

Als Substrate kamen die Paludikulturen Rohrglanzgras (*Phalaris*), Seggen (*Carex*) und Schilf (*Phragmites*) sowie inhomogener Nasswiesenschnitt bzw. Altgras oder Streu genannt zum Einsatz. Ein paar wenige Versuche wurden mit Rohrkolben (*Typha*) durchgeführt. Allerdings wurde Rohrkolben zwecks geringerer Aussichten auf eine baldige und nachhaltige Biomasseverfügbarkeit nicht priorisiert. Hintergrund dazu sind der höhere Nährstoff- und Wasserbedarf, der Pioniercharakter der Pflanze (konkurrenzschwächer als z.B. Schilf) sowie sehr spezielle Anforderungen seitens der Industrie an das Erntegut (zum Beispiel der Verwendung einzelner selektierter Pflanzenteile).

Die Ernte der Dauerkulturbestände erfolgte meist im ersten Schnitt Ende Juli bzw. Anfang August. Ein zweiter Schnitt wurde zusätzlich im Zeitraum von November bis Februar,

durchgeführt. Auf Teilflächen wurden aber auch nur ein einziger sehr später Schnitt im Herbst/Winter genommen. Zurückgegriffen wurde bei den Ernten insbesondere auf im Jahr 2018 im Rahmen des MOORuse-Projekts angelegten Projektflächen im bayerischen und schwäbischen Donaumoos, auf denen Rohrglanzgras, Seggen und Rohrkolben in Reinkultur (nahe 100%) wachsen. Details hierzu können Eickenscheidt et al. (2023) entnommen werden. Schilf wurde aus regionalen natürlichen Beständen entnommen. Nasswiesenschnitt kam aus langjährig extensiv bewirtschaftetem Grünland auf Moorböden im bayerischen Donaumoos. Die Ernte erfolgte mit unterschiedlicher angepasster landwirtschaftlicher Technik (siehe Abschnitt 4.2).

Die Analyse der ersten Testergebnisse wurde für eine Priorisierung der weiterhin eingesetzten Paludikulturen in den Versuchen genutzt. Für die weiterführenden Testproduktionen im Rahmen der Forschung & Entwicklung spielte neben den technischen und qualitativen Ergebnissen insbesondere auch die (zukünftige) Verfügbarkeit der ausgewählten Kulturen eine wichtige Rolle. Neben guten Testergebnissen rückte Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*) in den Fokus, da es vergleichsweise gut mit schwankenden Grundwasserständen zurechtkommt, je nach Standort mit konventioneller Erntetechnik gemäht und zu Ballen gepresst werden kann und zudem ertragreich ist. All diese Faktoren flossen in die Entscheidung von Verarbeitern und sonstigen am Projekt beteiligten Akteuren mit ein, große Bemühungen in die Vorreiterrolle in der Verarbeitung von Rohrglanzgras als wichtigster Stellvertreter von Paludikulturen zu stecken. Seggen (*Carex*) und Schilf (*Phragmites australis*) erzielten je nach Produkt ganz unterschiedliche Ergebnisse. Bei Mischbeständen und insbesondere Altgras bestand überwiegend keines großen industriellen Interesses.

Während derzeit also mit wenigen Ausnahmen für die zahlenmäßig am meisten vorhandenen Pflanzenbestände auf nassen Moorböden (extensive Nasswiesen bzw. Altgras) kein besonderes Interesse seitens der Verarbeiter besteht, wäre aktuell der Paludibiomassebedarf mit reinem Rohrglanzgras für die Auslastung einer Produktionsstätte für Papier und Verpackungen oder Bauplatten gerade einmal zu 0,5-2% gedeckt. Die Situation verschärft sich dadurch, dass der Aufbau solcher Paludiflächen durch Wiedervernässungsmaßnahmen und anhängige Wasserrechtsverfahren sowie der mehrjährigen Etablierungsphase der Kulturen mit großer zeitlicher Verzögerung eintritt (zwei bis drei Jahre bis Vollertrag). Die positiven Testergebnisse aus den Pilotversuchen und Projekten in der Verarbeitung sowie die fertigen Prototypen und ersten großmechanischen Versuche kann man auch so interpretieren, dass sich das viel zitierte „Henne-Ei-Dilemma“ langsam aufzulösen beginnt. Die Projektierung von Produktionsstätten und die vollständige Implementierung der Wertschöpfungsketten wird sicher noch einige Zeit in Anspruch nehmen, aber es sollte dringend vermieden werden, dass eine Lieferlücke durch die Landwirtschaft entsteht. Dies würde sicher dazu führen, dass Investitionen zurückgehalten und die Verarbeitung von Paludibiomasse insgesamt einen großen Rückschlag erleiden würde.

Um das Paludibiomassepotenzial aufzuzeigen, soll ein theoretisches Rechenbeispiel herangezogen werden. Zur Erreichung der nationalen Klimaziele müssen in den nächsten 10 Jahren pro Jahr ca. 55.000 ha Moorflächen wiedervernässt werden (Universität Greifswald, 2021). Dies würde bedeuten, dass bei einem Ertrag von 10t TM/ha im Jahr 2034 theoretisch ca. 5,5 Mio. t TM Paludibiomasse zur Verfügung stünden. Zur Verarbeitung dieser Biomasse würden mehrere Tausend aktuell diskutierte Aufbereitungsanlagen für die Papier- und Baubranche benötigt werden, was einem Investitionsvolumen in Aufbereitungstechnologie von ca. 5-7 Mrd. € entspräche. Dabei ist besonders positiv hervorzuheben, dass in den meisten Fällen in diesen Anlagen zunächst Stroh oder andere nachwachsende Rohstoffe eingesetzt werden könnten, bevor die Anlagen zu einem späteren Zeitpunkt auch voll mit

Paludibiomasse ausgelastet werden könnten. Die Anteile an Paludibiomasse könnten so sukzessive gesteigert werden und müssten nicht schon von Beginn an in ausreichender Menge zur Verfügung stehen.

4.3.3.2 Ernte und Aufbereitungsnotwendigkeit von Paludibiomasse (DMZV, ARGE)

Für einen kontinuierlichen industriellen Verarbeitungsprozess rund um das Jahr ist es zwingend notwendig, dass die Landwirtschaft lieferfähig ist. Eine Ernte der Paludikulturen ist aber nur in eingeschränkten Zeiträumen im Jahr durchführbar. Expertengespräche, Versuche mit frischer Biomasse und Umfragen unter Industriepartnern bestätigen, dass die Lieferfähigkeit nur mit einem lagerfähigen Rohstoff sichergestellt werden kann. Die Paludibiomasse muss also nach der Ernte zunächst lagerfähig gemacht werden.

Aktuell scheint es am realistischsten, während einer Erntekampagne ein lagerfähiges Rohmaterial für den Jahresbedarf herzustellen. Die Ernte von Paludibiomasse zu Heuballen (große Quaderballen, am besten bereits auf ca. 10 cm geschnitten und mit Naturschnüren gebunden) auf der Fläche kann unter idealen Witterungs- und Grundwasserstandsbedingungen nur wenige Monate oder sogar nur einige Wochen im Sommer zuverlässig durchgeführt werden. Eine solide Winterernte bei Minusgraden mit gefrorenen Böden und trockener Witterung ist in unseren Breiten aktuell nicht verlässlich planbar. Im Hochsommer können dagegen weite Teile der mit Paludikulturen bewirtschafteten Moorflächen noch mit angepasster konventioneller Landtechnik gut befahren, die Ernte auf der Fläche getrocknet und direkt gepresst werden (Tabelle 4.15 #12). Dieses Vorgehen ist der Landwirtschaft aus der Heuernte bestens bekannt und die Prozesse sind optimiert. Die Ernte kann somit zuverlässig und kosteneffizient durchgeführt werden. Standort- und witterungsabhängig musste allerdings auch im Sommer das Erntegut auf einigen Moorflächen teils aufwendig auf andere Flächen zum Trocknen, Wenden, Schwaden und Pressen gebracht werden.

Aus Gründen des Klimaschutzes, des Naturschutzes und für den Erhalt der Ertragssicherheit, wird in der Regel eine einmalige Ernte im Herbst/Winter als vorteilhaft angesehen (Eickenscheidt et al., 2023). Eine solche Mahd verändert aber die Erntesituation deutlich. Die Grundwasserstände sind in dieser Zeit meist höher als im Sommer und damit ist die Befahrbarkeit und die Möglichkeit der Trocknung auf der Fläche schlechter. Kurzum, mit voranschreitendem Jahr wird die Ernte immer anspruchsvoller. Hinzu kommen Schneelasten, welche die Halme zusätzlich auf den Boden drücken können und eine Verpilzung des Materials fördern. So kann bspw. verunreinigte/verpilzte Biomasse für die meisten Verwertungsschienen nicht mehr herangezogen werden. Um sicherzustellen, dass die Ernte unter nassen Bedingungen gelingt, muss das Material mit Spezialtechnik möglichst trocken direkt während des Mähens aufgenommen werden. Nur so kann garantiert werden, dass die Biomasse gar nicht mehr mit Wasser und Verunreinigungen des Moorbodens in Berührung kommt. Eine sichere Lagerung dieser spät im Jahr eingebrachten Ernte ist allerdings nur nach einer Trocknung sichergestellt. Ist die Restfeuchte der Biomasse zu hoch (teilweise bis zu 80%), ist eine Vortrocknung der losen Biomasse vor dem Pressen zu Ballen alternativlos.

Grundsätzlich könnte man statt Heuballen auch ein Halbfertigerzeugnis als Rohstoff einlagern. Dies könnten bspw. zu Pellets gepresste Paludizellstofffasern sein. Eine direkte erntefrische Verarbeitung der gesamten Ernte ist aufgrund von Kapazitätsengpässen allerdings nur schwer vorstellbar. Lange Transportwege oder kurze Verarbeitungsverzögerungen von wenigen Stunden/Tagen können bei frischer Biomasse zudem bereits zu einer großen Herausforderung werden. In der frisch verladenen Biomasse setzt bspw. bereits nach kurzer Zeit der Rottungsprozess ein und macht das Material unbrauchbar. Selbst wenn man sich in

einem Gedankenexperiment vorstellt, dass täglich von Mitte/Ende August bis Ende Februar/Anfang März frische Paludibiomasse geerntet und direkt verarbeitet wird (was einem maximalen Erntezeitraum entspräche), muss neben einer Erntelücke von fast einem halben Jahr, der nicht zu unterschätzende Einfluss des Erntezeitpunkts auf die Qualität der Biomasse bedacht werden.

Grundsätzlich steht die Qualität der Biomasse in Abhängigkeit zum Erntezeitpunkt. Für eine stoffliche Nutzung, insbesondere für die Pflanzenfasernutzung, nimmt pauschal die Qualität zunächst mit dem Alter der Pflanze zu (verholzte Pflanzen ohne viele zusätzliche Nährstoffe wie Proteine eignen sich nach den ersten Erfahrungen besser). Eine spätere Ernte im Jahr, könnte folglich für derartige Verarbeitungsschienen zuträglich sein. Für eine Nutzung als Futter (Pferdeheu ausgenommen) und zur Energiegewinnung aus Biogas werden wiederum junge Pflanzen mit hohen Energiegehalten benötigt. So entsteht ein Interessenskonflikt zwischen einer angestrebten frühen Ernte aus Gründen der Befahrbarkeit und Trocknung zu Heu auf der Fläche, und den Qualitätswünschen der Industrie sowie weiteren Stakeholdern im Natur- und Klimaschutz. Die folgende Abbildung 4.25 verdeutlicht, wie im Laufe des Jahres der Aufwand zur Herstellung von „Heuballen“ zunimmt und gleichzeitig die Qualität des Rohstoffs an erster Stelle enormen Einfluss auf die gesamte Wertschöpfungskette hat.

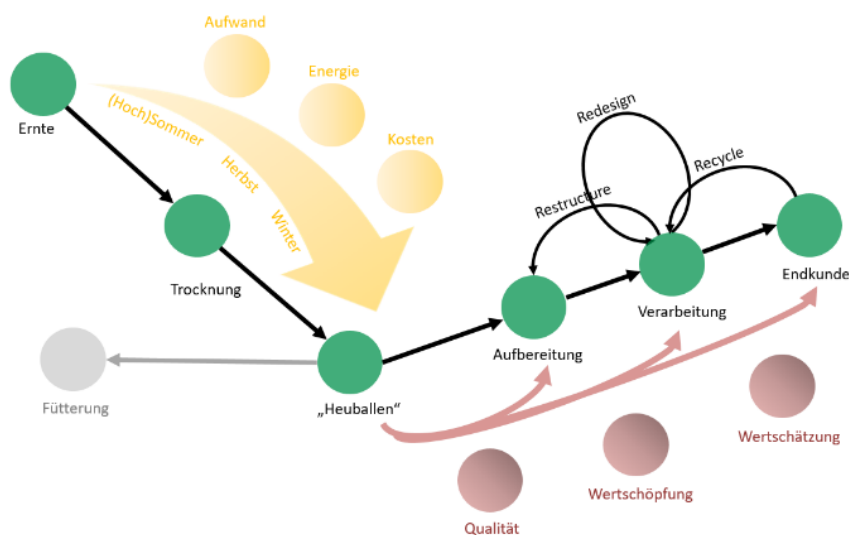


Abbildung 4.25: Darstellung der Einflussgrößen und Stellschrauben auf Qualität und Einsatz von Paludibiomasse

Experimente wurden auch mit Heutrocknungswagen und Trocknungsböden durchgeführt. Die getesteten Methoden führten immer zu einem erhöhten Zeit-, Energie- und Kosteneinsatz. Klassische Trocknungsanlagen kündigen üblicherweise ihre Gas- und Stromverträge im Oktober und nehmen die Trocknung erst wieder ab dem Frühjahr auf. Fraglich ist zudem, nach wie vielen Stunden oder Tagen eine gasbeschickte Trocknung die Klimaeinsparungen aus der Moorwiedervernässung ins Gegenteil wenden würde und insgesamt unwirtschaftlich macht. Eine weitere Herausforderung ist, dass möglichst mit mäßigen Temperaturen um die 100 Grad Celsius oder weniger schonend getrocknet wird, damit die Biomasse nicht zu spröde und trocken wird. Auch ein mit Abwärme aus einer Biogasanlage beschickter Trocknungsboden wurde analog zu Körnermais oder Holzhackschnitzel mit gehäckseltem Material aus einer Ernte Ende November getestet. Teilweise hatte das Material bei Eingang 80% Restfeuchte und musste 10 Tage verweilen und mehrfach gewendet werden, bevor es ausreichend getrocknet war. Für weniger feuchtes Eingangsmaterial könnte diese Methode

allerdings ein vielsprechender Trocknungsansatz sein. Die Trocknungskammern haben allerdings eingeschränkte Kapazitäten. So ist es selbst bei stark ausgebauter Infrastruktur nur schwer vorstellbar, dass sehr große Flächen zeitgleich auf diesem Weg getrocknet werden können. Die Abwärme wird zudem für Nahwärmenetze priorisiert. Weitere Versuche mit Heulage und Silage führten im Sinne der Weiterverarbeitungsqualität zu keinem Erfolg. Eine klassische Ballentrocknung wurde nicht getestet, da Experten dieses Verfahren zumindest für derart nasses/feuchtes Eingangsmaterial weitestgehend von vornherein ablehnten. Das Erntegut wurde u.a. auch zu einer kostenintensiven Pelletierung gebracht. Dieser Verarbeitungsschritt sollte aufgrund hoher Kosten ebenfalls vermieden werden.

Eine Erntekampagne hätte zur Folge, dass große Flächen „schnell“ geerntet und für das Erntegut große Lager aufgebaut werden müssten. Zumindest im Bereich Spezialerntetechnik ist die für eine großflächige Ernte erforderliche landwirtschaftliche Technik für wiedervernässte Moorflächen noch nicht komplett ausgereift. Außerdem muss die Lagerlogistik noch optimiert werden. Gelagerte Ballen müssen vor Schimmelbefall, Verunreinigungen und Ungeziefer geschützt werden. Während des Transports müssen Witterungsschäden vermieden werden. Lagerkosten sind in der weiteren Betrachtung genauso wie Transportkosten kostentechnisch zu berücksichtigen. Letztlich muss es deswegen zukünftig ausreichend regionale und dezentrale Auf- und Weiterverarbeitungsmöglichkeiten geben.

Für einige Verarbeiter ist nicht nur ein lagerfähiger, sondern auch ein dosierbarer Rohstoff zwingend erforderlich. Nur so kann das neuartige Rohmaterial ohne große Umbauten oder Störungen in bestehende Produktionsprozesse einbezogen werden. Beim Aufbau der Wertschöpfungskette muss daher überlegt werden, wo und wann diese Aufbereitung angesiedelt wird. Eine Möglichkeit wäre, dass der Landwirt dafür Infrastruktur aufbaut und auf dem Betrieb oder in Form einer Genossenschaft die Aufbereitung des Materials bewerkstelligt. Dies könnte man sich analog zu Prozessen der Pelletierung vorstellen. Denkbar wäre auch, dass die Aufbereitung von Experten übernommen wird, die sich auf diesen Wertschöpfungsteil konzentrieren, vielleicht am ehesten vergleichbar mit einer Mühle oder einem Schlachthof. Die Verarbeiter der Halbfertigerzeugnisse könnten die Aufbereitung des Rohmaterials natürlich auch selbst übernehmen. Zur Zerkleinerung der Ballen wurden verschiedene mechanischen Anlagen getestet. Neben dem vergleichsweise hohem Materialverschleiß und dem hohen Energieeinsatz erschwerte die enorme Staubentwicklung den „Mühlen“ die Arbeit. Eine Zerkleinerung von Paludikulturen ist zwar möglich, im Vergleich zu Miscanthus oder Stroh allerdings aufwendiger.

4.3.4 Wertschöpfung und Vermarktung (DMZV)

4.3.4.1 Aufbau von Paludi-Wertschöpfungsketten (DMZV)

Der Aufbau und die Implementierung von Paludi-Wertschöpfungsketten sind je nach Produkt unterschiedlich weit vorangeschritten. Dies wird u.a. auch stark von regionalen Unterschieden wie bspw. ortsansässigen Firmen beeinflusst. Während für alle Produktbereiche die wesentlichen Akteure entlang der Wertschöpfungskette identifiziert sind, muss bedacht werden, dass die Umsetzung oder Realisierung losgelöst davon bewertet werden sollte. Beispielsweise sind für Kunststoffe oder Pflanzenkohle die Wertschöpfungsketten sehr weit entwickelt bzw. vorhanden, eine Umsetzung allerdings überhaupt nicht absehbar. Für andere Produkte wie Baustoffe ist die Wertschöpfungskette zwar noch nicht so gut ausgebildet, trotzdem ist eine Realisierung aufgrund vorhandener Partner, vorherrschender Dynamik und Nachfrage wahrscheinlich. Grundsätzlich müssen die meisten Wertschöpfungsketten noch Belastungsproben bestehen und Prozesse weiter optimiert werden. Am Beispiel der

Papier-, Karton- und Verpackungsbranche im bayerischen Donaumoos soll veranschaulicht werden, wie weit die einzelnen Akteure integriert sind und welche zentralen Herausforderungen jeweils noch gelöst werden müssen (Abbildung 4.26). In der Case Study fällt auf, dass die technologische Bereitschaft (Technology Readiness Level = TRL) zur Implementierung einiger Akteure schon sehr weit ist (>90%), eine regionale Umsetzung aber nicht vorhanden ist. Eine regionale Projektierung einer Aufbereitungsanlage der Biomasse zu Pflanzenfasern bzw. Zellstoff ist, vor allem finanziell, noch völlig unklar.

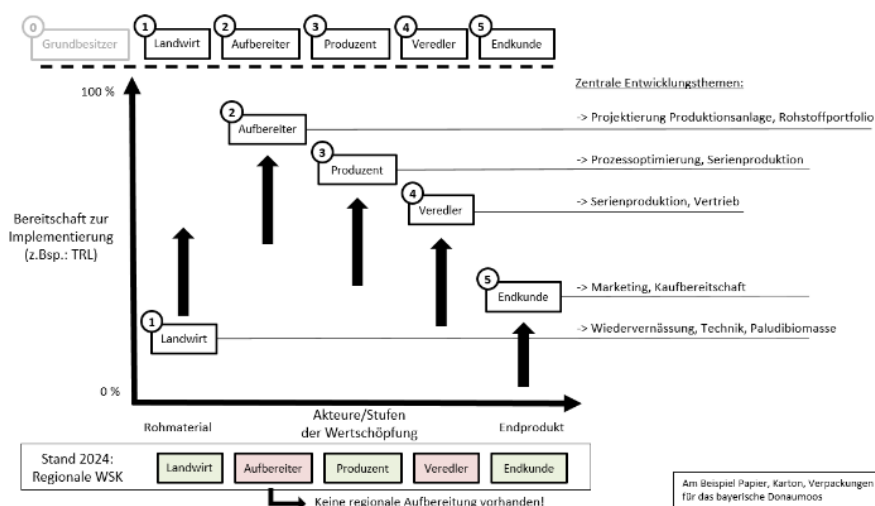


Abbildung 4.26: Fallbeispiel - Status quo der regionalen Wertschöpfungskette für die Papierbranche im bayerischen Donaumoos

In den vergangenen Jahren wurden in diesem und in anderen Projekten Themen rund um die Verwertung von Paludibiomasse parallel entwickelt. Dies führte zu einer Vielfalt an Paludiproduktprototypen. Für fast all diese Produkte ist die technische Machbarkeit nachgewiesen. Erreicht wurden diese Meilensteine und Erfolge mit recht überschaubaren Forschungsbudgets (zwischen 100 Tsd. € oder Budgets deutlich unter 1 Mio. €). Der Einsatz der Paludibiomasse bewegte sich dabei zwischen 10 kg bis zu max. 1-5 t TM. Nach mehreren Jahren der Forschung und Entwicklung wird deutlich, dass mit diesen finanziellen und landwirtschaftlichen Ressourcen eine Entwicklung bis zur Serienproduktion oder Markteinführung kaum möglich ist. Eine nähere Betrachtung der Wertschöpfungsketten zeigt, dass für einen Durchbruch in der Praxis Investitionen in Millionenhöhe und die Verfügbarkeit mehrerer Tausend Tonnen Biomasse notwendig sein werden. Das folgende Schaubild (Abb. 4) veranschaulicht schemenhaft den Prozess bis zur Markteinführung oder Serienproduktion.

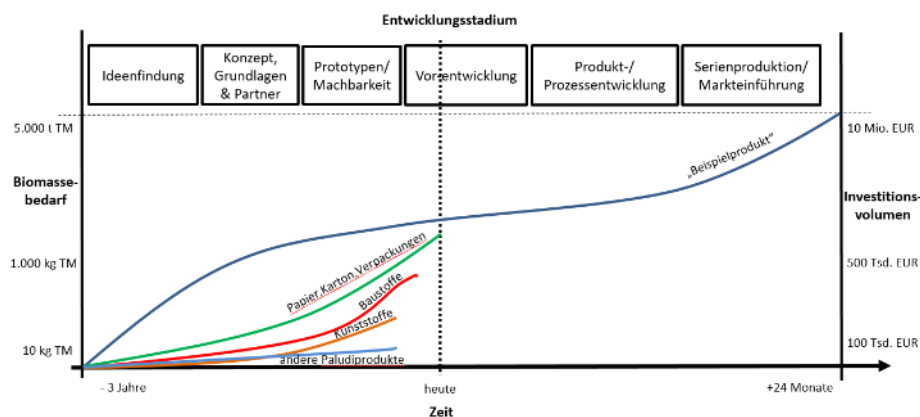


Abbildung 4.27: Schemenhafte Darstellung des Biomasse- und Investitionsbedarf eines Produkts bis zur Markteinführung

4.3.4.2 Einkommensstruktur und Vermarktung (DMZV)

Für die Landwirtschaft sollte sich zukünftig eine dreiteilige Einkommensstruktur aus Paludikulturen ergeben: zum einen Förderprogramme mit bis zu 2.200 € je Hektar/Jahr (bspw. Moorbauernprogramm). Zusätzlich kann der Landwirt aus der Vermarktung von Paludibiomasse Einnahmen generieren. Der Strohpreis schwankt üblicherweise zwischen 80 – 120 €/t. Paludikulturen müssten perspektivisch deutlich höhere Preise erzielen, um den erhöhten Erntekosten gerecht zu werden. Für eine wirtschaftliche Tragfähigkeit wären Vermarktungserlöse von rund 200 €/t zielführend. Positiv sollten sich geringere Ernteschwankungen durch erhöhte Resilienz und konstant hohe Biomasseerträge (ca. 7-10 t TM/ha) auf den Preis auswirken. Als dritte Säule kann zukünftig die Vermarktung von CO₂-Zertifikaten über das Einsparungspotenzial auf der Fläche und über das gespeicherte CO₂ in der Biomasse angesehen werden. Seit 2002 existiert basierend auf dem Kyoto-Protokoll ein in der EU und auch weltweit akzeptierter Emissionshandel mit CO₂-Zertifikaten. An einer einheitlichen Lösung zur Ermittlung und Vermarktung von Moorzertifikaten durch Wiedervernässungsmaßnahmen wird gearbeitet. Letztlich kann man beispielhafte Einnahmen in Höhe von insgesamt 5.300 € je Jahr und Hektar errechnen (2.200 € aus Förderung + 2.100 € aus Zertifikathandel (30 t CO₂ x 70 €; Pawlik (2024)) + 1.000 € aus Heuvermarktung (10 t TM * 100 €; Zinke (2024))). Einmalige Kosten für Wiedervernässung und Ansaat sind dabei nicht berücksichtigt. Laufende Ernte-, Transport- und sonstige Kosten sind hier noch abzuziehen. Dem gegenüber steht bspw. ein durchschnittlicher Deckungsbeitrag aus einer Fruchtfolge von Stärke- oder Speisekartoffel mit Körnermais und Triticale in Höhe von 1.000 bis 5.000 €/Jahr/Hektar. Es sollte sich also ein auskömmlicher Deckungsbeitrag für Paludikulturanbau ergeben, der auch die Risiken bzgl. Beerntung und Vermarktung berücksichtigt. Während die Einnahmen aus der Vermarktung der Biomasse anfänglich womöglich gering zu sein scheinen oder sogar noch mit Investitionen in Technik, etc. verbunden sind, sollte bei einer Beurteilung nicht übersehen werden, dass die Verwertung sehr langfristig Erträge erwirtschaften kann, während Förderprogramme stets für einen bestimmten Zeitraum beantragt werden können (KULAP in der Regel 5 Jahre, bei M16 (Paludikultur-Anbau) sogar 12 Jahre) und die CO₂-Einsparungsmodelle auch nur für die nächsten max. 50 Jahre berechnet sind.

Schaut man sich das Interesse der Industrie an Paludikulturen an, so kann man zusammenfassen, dass Paludikulturen weder technisch, noch qualitativ, noch preislich besonders interessant sind, wenn man sie mit konventionellen Produkten oder Rohstoffen vergleicht. Natürlich findet man für die Biomasse auch Vorteile, aber sie stehen in der Regel nicht im

Vordergrund bei den Bemühungen und dem Interesse an den Kulturen. Überzeugend finden die Unternehmen hingegen die Regionalität, die Transparenz und vor allem das enorme Treibhausgaseinsparpotenzial der Moore selbst. Nach Ansicht der Unternehmer lassen sich aus den regionalen Mooren und „Klimarettern“ ein überzeugendes Verkaufsargument und eine positive Vermarktungsgeschichte kreieren. Da bisher ausschließlich das in der Biomasse gebundene CO₂ im Produkt angerechnet werden darf, haben die Hersteller weiterhin größtes Interesse daran, auch an den in der Moorfläche durch Wiedervernässung und Paludikulturanbau entstandenen enormen CO₂-Einsparungen beteiligt zu werden. So könnten Unternehmen ihre eigene Klimabilanz deutlich aufbessern, die Mehrkosten im Herstellungsprozess decken oder das Produkt am Markt durch Einnahmen aus dem Zertifikatehandel quersubventionieren. Dieser Effekt wird sich verstärken, wenn die allgemeine CO₂-Besteuerung weiter voranschreitet. Regulatorisch wäre es daher sehr interessant, wenn nicht sogar notwendig, den Herstellern den Zugang zu den CO₂-Einsparungen aus der Fläche zu ermöglichen. Hier besteht mit Sicherheit ein sehr großer Hebel, um das Thema Paludiprodukte entscheidend voranzubringen und am Markt zu etablieren.

4.3.4.3 Koordinierte Vermarktungsbemühungen (DMZV)

In den vergangenen zwei bis drei Jahren ist es mit vereinten Kräften gelungen, das Thema Moorschutz auf ein komplett neues Aufmerksamkeitsniveau zu heben. Das führte erfreulicherweise dazu, dass inzwischen eine ganze Reihe an Verwertungsthemen bearbeitet werden. Dazu kommt eine ganze Reihe an kleinen und großen Organisationen und Unternehmen, die mit Paludikulturen experimentieren und die Integration in ihre Produktionsprozesse prüfen. Da jedoch in vielen Bereichen noch grundlegende Forschungsfragen und Wissenslücken vorhanden sind, die dringend geschlossen werden müssen, ist die Aufbruchsstimmung und erhöhte Aktivität in diesem Feld zu begrüßen und grundsätzlich zu unterstützen. Trotzdem scheint der Zeitpunkt gekommen, um bei allen am Thema Moor beteiligten Akteuren dafür zu werben, ein gemeinsames strategisches Vorgehen im Bereich der Verwertung von Paludibiomasse zu erreichen. Die immer noch überschaubaren finanziellen und personellen Ressourcen erfordern zudem eine Konzentration auf die erfolgversprechendsten Produkte. Nachdem die technische Machbarkeit in vielen Produktbereichen grundsätzlich nachgewiesen wurde, geht es nun darum, die besten Anwendungsfälle rasch weiterzuentwickeln, die Produkte auf den Markt zu bringen und dort nachhaltig zu etablieren. Nur wenn Jahr für Jahr signifikante Mengen an Moorbiomasse verarbeitet werden, werden die Pioniere in der Landwirtschaft für ihren Mut belohnt und finden Nachahmer.

Die klimaschützende Aufgabe des Moorbodenschutzes ist viel zu wichtig, als dass die Entwicklung dieser Produkte dem Zufall überlassen werden sollte bzw. darf. Will man die hochgesteckten Klimaziele erreichen, bedarf es in den nächsten 10-15 Jahren für hunderttausende Hektar wiedervernässter Moorfläche einer kontinuierlichen Verwertung. Die Verwertung dieser riesigen Biomasse gelingt nur, wenn in der Produktentwicklung Fehler vermieden und äußerst langfristig geplant wird. Am Markt zeigen sich allerdings leider inzwischen auch einige „Trittbrettfahrer“, die das Thema Moorschutz und Paludikulturen als nächsten Nachhaltigkeitshype und Marketingcoup identifiziert haben. Schnell mit ein paar Halmen oder Fasern ein Pseudopaludiprodukt gebastelt und mit großem Werbebudget vermarktet, steht dahinter schon die nächste austauschbare Geschichte bereit. Auf diesem Weg kann es leicht passieren, dass die zu Recht überzeugenden Argumente für Paludiprodukte schnell abgedroschen sind und womöglich mit Merchandise und Wegwerfprodukten minderer Qualität verbunden oder sogar als Greenwashing empfunden werden. Über Pseudoprodukte werden aber nie langfristig relevante Mengen an Paludikulturen zu auskömmlichen Erzeugerpreisen vermarktet werden können. Zudem verschlechtern sie die Chancen

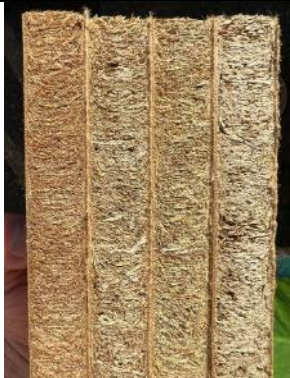
auf relevante Marktanteile und Erträge für zukünftige nachhaltig entwickelte Paludiprodukte erheblich.

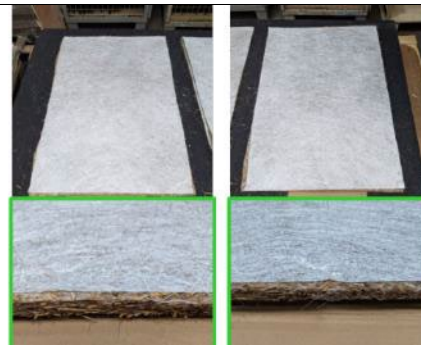
Diese Entwicklung sollte unbedingt vermieden werden. Wenn Unternehmen Investitionen im Millionenbereich in den Aufbau von Wertschöpfungsketten, Produktionsanpassungen und Produktentwicklung zur Serienreife tätigen sollen, muss auch dafür gesorgt werden, dass der Erfolg dieser Vorhaben unterwegs nicht mit „Eintagsfliegen“ torpediert oder gar ganz zu Nichte gemacht wird. Dies ist kein Aufruf zur Exklusivität oder zum Protektionismus, sondern vielmehr das Werben für einen verantwortungsvollen Umgang mit diesem Thema. Funktioniert eine Wertschöpfungskette, so können viele daran teilhaben, misslingt hingegen dieses schwierige Unterfangen, verlieren nicht nur ein paar Unternehmen, sondern wir als Gesellschaft einen außergewöhnlich pragmatischen Weg, Klimaschutz zu betreiben.

Eine Lösung wäre daher, über eine starke Koordination der Rohstoffe, bspw. in Form eines nationalen Paludirohstoffmarktplatzes, derartige „Auswüchse“ zu vermeiden. Eine gute Lösung könnte auch der Aufbau einer vertrauenswürdigen Paludimarke sein. Dies würde Hand in Hand gehen mit der Festlegung von gewissen Mindeststandards. Diese Standards könnten wie folgt aussehen: Ein Mindestanteil von Paludikulturen müsste im Produkt enthalten sein, verwendete Paludikulturen müssten nachweislich von wiedervernässten Moorflächen stammen, auf denen tatsächlich Klimaschutz entsteht, Paludiprodukte sollten nachhaltig gestaltet und zumindest recycelbar sein, Unternehmen sollten sich verpflichten, auskömmliche Erzeugerpreise für die Paludibiomasse an die Landwirtschaft zu zahlen.

Zur Gestaltung einer neuen Marke ist es wichtig, frühzeitig zu verstehen, welche Merkmale das Produkt besonders ausmachen. Für Paludiprodukte wurde Gestaltungsfacetten der Markenpositionierung für Paludiprodukte nach Homburg (2020) beschrieben. Der Markenkern („Wer bin ich“) lautet: ich bin das Produkt mit dem größten Klimaeffekt auf der Fläche. Der Markennutzen („Was biete ich an“) bietet Klimaleistungen, Bioökonomie, Imagegewinn und die Erfüllung gesetzlicher Normen an. Die Markenpersönlichkeit („Wie bin ich“) ist regional, nachhaltig, natürlich, innovativ, authentisch, recyclingfähig. Es zeigt sich, dass besonders die Klimaleistungen ein zentrales Thema sind und in Zukunft besonders herausgearbeitet werden sollten. Weitere Facetten zielen ebenfalls auf klimabezogene Themen wie Bioökonomie oder die Einhaltung gesetzlicher Normen, bspw. klimaneutrales Bauen, ab.

Tabelle 4.15: Impressionen von Paludiprodukten, Prototypen und Testproduktionen

 Möbelplatten aus der Machbarkeitsstudie (#1)	 Trockenbauplatten beidseitig mit Karton kaschiert (#2)	 Testproduktion im Durchlaufverfahren (#3)
---	---	--

 Rohrglanzgrasfasernach der Auffaserung (#4)	 Testblättern aus Paludifasern (#5)	 Trockengepresste Freiformteile und Papierbögen (#6)
 Extrudierte faserverstärkte Kunststoffpfosten (#7)	 Faserverstärkte Spritzgusschalen (#8)	 Pflanzenkohleproben (#9)
 Leichtbauteilprototypen (#10)	 Verwobene Fasermatte (#11)	 Rohrglanzgrasernte im Hochsommer (#12)

4.3.5 Untersuchte Verwertungsbereiche und einzelne Paludiprodukte (inkl. Machbarkeitsstudie) (DMZV, ARGE)

Aus Klimaschutzsicht sind stoffliche Nutzungen der energetischen Nutzung und der Kompostierung vorzuziehen, da der Kohlenstoff länger im Produkt gebunden und somit der Atmosphäre entzogen wird (der Klimaschutzeffekt auf der Fläche zur Erzeugung der Biomasse entsteht natürlich unabhängig von der jeweiligen Verwertung). Im Rahmen des Projekts wurden vor allem stoffliche Verwertungsschienen erforscht (siehe Tabelle 4.15). Zu energetischen Ansätzen finden sich detaillierte Informationen in begleitenden Moorprojekten, z. B. MOORuse, KaPaGas, Paludipellets.

4.3.5.1 Paludifasern und Holzzellstoffersatz (DMZV, ARGE)

Die Herstellung von Pflanzenfasern ist ein sehr interessanter Verarbeitungsschritt im Bereich der Verwertung von Moorkulturen, da die Fasern in einer Vielzahl von Branchen und Produkten Anwendung finden können. Pflanzenfasern für die Papier- und Verpackungsindustrie können beispielsweise aus Rohrglanzgras und Schilf hergestellt werden. Pflanzenfasern können aber auch in der Kunststoffverarbeitung, im Baubereich, im Textilbereich, im Trockengranulat oder als Möbelplatte eingesetzt werden. Grundsätzlich lässt sich auch aus Altgras eine Faser gewinnen. Im Vergleich mit den oben genannten Kulturen oder Holzzellstoff weisen Fasern aus Altgras jedoch eine deutlich schlechtere Qualität auf. Aktuell zeichnet sich ab, dass die Prozesse in der Papierindustrie am zuverlässigsten mit einer möglichst homogenen, reinen Biomasse arbeiten. Die Produkthanforderungen an die Landwirtschaft wären daher ein möglichst homogenes, reines Paludierntematerial zur Verfügung zu stellen. Die Paludibiomasse sollte dafür zu lagerfähigen Heuballen aufbereitet und eingelagert werden, so dass die Auffaserungsanlage ganzjährig beliefert werden kann.

Im Rahmen des Projekts wurden zur Fasergewinnung aus Paludikulturen zwei chemiefreie Verfahren getestet. Dabei handelt es sich um die mechanische Auffaserung mittels eines Doppelschneckenextruders sowie um ein Dampfdruckaufschlussverfahren. Die Verfahren unterscheiden sich vor allem in der Faserausbeute, die zwischen 50 und 95% variiert, der Faserqualität, den Kosten der Technologie sowie dem Energieaufwand, der zur Fasergewinnung betrieben werden muss.

Die Pflanzenfasern (Tabelle 4.15 #4) können für rein optische Einsatzzwecke verwendet werden, das heißt: Sie werden in die für den Endkunden sichtbare Deckschicht eingemischt, um damit im Vergleich zu blütenweiß gebleichten Papieren und Verpackungen einen nachhaltigeren Eindruck zu erwecken. Pflanzenfasern aus Schilf und Rohrglanzgras hingegen können darüber hinaus jedoch eine so hohe Qualität erreichen, dass sie als Füllstoff oder sogar anteilig als Ersatzzellstoff für Holzzellstoff in die Papier- oder Kartonagenproduktion (Tabelle 4.15 #4) eingebracht werden können, ohne dass die Qualität darunter leidet. Die Produkte grenzen sich hier klar von Graspapier ab. Die Belastung des Prozesswassers in der Papierproduktion lag in den durchgeführten Tests innerhalb der zulässigen Grenzwerte. Aktuell wird daran gearbeitet, die Rohfaser noch enzymatisch (Fraunhofer IGB, 2024, Verified Market reports, 2023) weiterzuentwickeln, um noch mehr Bindevermögen zu erzeugen. Als Einsatzbereiche kommen Kartonagen, Wellpappenrohre oder Sonderpapiere in Frage. Daraus lassen sich sehr viele weitere Produkte herstellen wie bspw. Faltschachteln, Versandtaschen- oder Kartons, etc.. Zudem könnte der Einsatz der Fasern in Molding-Prozessen realisiert werden. Darunter versteht man ein in der Verpackungsbranche bewährtes Verfahren der Abformung oder auch Nachbildung körperlicher Gegenstände mit Hilfe von flüssigen, aber bald erstarrenden Substanzen (Abguss) (WDR, 2021). Ein Einsatz im klassischen Faserguss in Form von tiefgezogenen Freiformteilen konnte in einem ersten Versuch nachgewiesen werden. Erfolgreich getestet wurde erstmalig auch ein Einsatz in innovativen Trockenpressanlagen, die Freiformteile zu Verpackungen formen, ohne dabei Wasser im Prozess mitzuführen (Tabelle 4.15 #6). Im Molding-Bereich wären Produkte vom Blumentopf bis zur Essschale denkbar.

Eine Preisbildung für die Fasern konnte bisher nicht näher konkretisiert werden und wird sich voraussichtlich zunächst an den marktüblichen Preisen für Altpapiersorten orientieren. Hier spricht man von Preisen von 100 €/t aufwärts. Sollte es gelingen, extrem hochwertige Fasern herzustellen, könnten diese auch als Frischfasern zu Preisen deutlich über 1000 €/t verkauft werden. Industrieanlagen getesteter Technologien würden erst ab einem Mindestabsatz von ca. 5.000 t/a wirtschaftlich interessant, daher würde eine Verarbeitung erst

vollumfänglich ab einem Volumen von mehreren Hundert Hektar funktionieren. Interessant ist dabei, dass die Auffaserer zur Auslastung auch mit anderen nachwachsenden Rohstoffen wie Stroh arbeiten könnten.

Als Verkaufsargument sind für diese Branchen folgende Punkte aufzuführen: Dekarbonisierung der CO₂-lastigen Papierproduktion und ein zunehmender Rohstoffmangel an Altpapier sowie die daraus resultierende Suche nach alternativen regionalen Faserquellen. Im Laufe des Projekts wurden aufbauend auf den ersten Erfahrungen vom Projektpartner Donaumoos-Zweckverband zwei separate Forschungs- und Entwicklungsprojekte zu diesem Thema gestartet. Die Wertschöpfungskette könnte nach aktuellem Kenntnisstand wie folgt aussehen: Ernte zu „Heuballen“, Lieferung an Auffaserungsstätte, Faserherstellung, Transport zur Papier- oder Verpackungsfabrik, Verarbeitung zu Rohprodukt, Aufbereitung zu fertigem Endprodukt, Lieferung an Kunde. Das im Laufe des Projekts in dieser Branche aufgebaute Netzwerk erstreckt sich über Kontakte zu Auffaserungsbetrieben, Papierfabriken und Verpackungsspezialisten.

4.3.5.2 Bauprodukte inkl. Machbarkeitsstudie Möbelplatten (DMZV, ARGE, LfL)

Die Baubranche verbraucht immense Massen an Rohstoffen und produziert dadurch einen erheblichen Anteil der Gesamtkohlendioxidemissionen Deutschlands sowie weltweit (ca. 40% der CO₂-Emissionen weltweit (Rat für Nachhaltige Entwicklung, 2023) sind der Baubranche zuzuordnen). Viele moderne Baustoffe beinhalten fossile Roh- bzw. Kunststoffe, wie zum Beispiel Dämmprodukte aus Polystyrol. Das Ziel, klimaneutral zu bauen, sollte daher die Baubranche in Bewegung und die Suche nach alternativen, klimaneutralen oder sogar klimapositiven Bauprodukten in Gang setzen. Über diesen Hebel werden paludibasierte, klimaneutrale Bauprodukte für die am Bau beteiligten Unternehmen höchst interessant. Zum einen können Produkte mit negativem CO₂-Abdruck durch Paludibaustoffe ersetzt und somit Emissionen und fossile Rohstoffe eingespart werden, zum anderen ist es möglich, durch diese Produkte sogar zusätzlich CO₂ zu speichern. Dies gelingt schon alleine dadurch, dass der im Erntegut gespeicherte Kohlenstoff im Bauprodukt verbleibt. So wird aus einer Gipstrennwand mit schlechter Klimabilanz eine Kohlenstoffschenke, die aktiv zur Klimaneutralität des Gebäudes beiträgt.

Im Laufe des Projekts wurden verschiedene Baustoffe auf die Einsatzmöglichkeit von Paludimaterial untersucht. Eines der vielversprechendsten Verfahren nutzt eine Strangpresstechnologie, um das halmgutartige Erntegut mit Wärme und Druck zu einem Kern zu verdichten, der mit zwei Kartonagen beplankt wird (Tabelle 4.15 #2). Diese Einfachheit des Prozesses ist bemerkenswert und das Produkt ist enorm vielseitig einsetzbar. Diese Art von Platten findet Verwendung im Innenausbau bzw. Trockenbau und kann damit eine im Wohnungs- und Gewerbebau vielfach eingesetzte Gipskartonplatte ersetzen. Die Produktion dieser Art von Platten wurde nicht neu erfunden, sondern auf die Anforderungen von Moorkulturen angepasst. Es gibt international eine laufende Produktion mit klassischem Getreidestroh. Diese Strohbauplatten werden bereits in einzelnen Bauprojekten verbaut. Erste Testproduktionen an diesen herkömmlichen Maschinen zeigten, dass auch Paludierntematerial anstelle von Getreidestroh eingesetzt werden kann. Ergänzend zu den ersten, im Rahmen des Projektes MoorBewi erhaltenen Versuchsergebnissen wurde zur Erprobung der Bauplatten ein erstes separates Forschungs- und Entwicklungsprojekt vom DMZV durchgeführt. Hierbei ging es darum, Musterplatten auf einer neu konzipierten und hinsichtlich der Moorkulturen angepassten Pilotanlage herzustellen und deren Qualität in einem Prüflabor zu bestätigen. Allerdings konnte dieses Kurzprojekt nicht alle Ziele erreichen. Prüfwerte

für händisch hergestellte Muster übertrafen zwar die erforderlichen bautechnischen Grenzwerte für mechanische Anforderungen der Zugfestigkeit an Strangpressplatten nach EN 14755 sowie für die Biegefestigkeit nach der schwachen Richtung, eine angepasste maschinelle Herstellung konnte allerdings nicht erfolgen, da die Produktionsanlage nicht fertiggestellt werden konnte.

Für die Herstellung der Paludibauplatten werden gepresste Heuballen benötigt. Ansprüche an die Homogenität des Materials sind für diese Technologie nicht entscheidend. Es zeigte sich allerdings, dass Rohrglanzgras, Seggen und Streuwiesengras bessere Ergebnisse erzielen als bspw. Schilf, das sich vermutlich aufgrund der röhrenartigen Halme nicht so gut verdichten ließ. Es wäre denkbar, solch eine Produktionsanlage an einem größeren landwirtschaftlichen Betrieb anzugliedern. Das Investitionsvolumen für eine solche Anlage könnte je nach Ausführung im unteren sechsstelligen Bereich liegen oder bis zu 2 Mio. € betragen. Benötigt wird für eine solche Anlage eine Rohstoffmenge von mind. ca. 800 – 1000 t/a. Preislich können die Rohbauplatten nach ersten Berechnungen mit vertretbaren Aufschlägen zu den marktbeherrschenden Gipsplatten angeboten werden.

Die Wertschöpfungskette könnte nach aktuellem Kenntnisstand wie folgt aussehen: Ernte zu „Heuballen“, optionale Lieferung an Zerkleinerungsbetrieb, Lieferung an Plattenpressanlage, Herstellung der Platten, Zustellung zum Bauprojekt. Das im Laufe des Projekts in dieser Branche aufgebaute Netzwerk erstreckt sich daher über Kontakte zu Plattenherstellern, Zerkleinerungsanlage und Bauunternehmen aller Art und Größe.

Untersucht wurde außerdem, ob sich in einem Flachbettpressverfahren aus trockenen 2-4 cm großen Paludistücken auch Grobspanplatten (OSB-Platte) herstellen lassen. Die ersten Testproduktionen zeigten, dass die Produktion mit Paludimaterial ähnlich gut funktioniert wie mit Stroh. Überprüft wurden zudem die Weiterentwicklungsmöglichkeiten mit einem vom Fraunhofer Institut entwickeltem Aufschäumungsverfahren zur Herstellung von Dämmplatten. Die ersten Tests dazu wurden von der ARGE Schwäbisches Donaumoos in Kooperation mit Akteuren und Landwirten aus dem Ostallgäu durchgeführt. Diese vielversprechende Verwertungsschiene endete leider zunächst damit, dass das patentierte und gegen Lizenz erhältliche Verfahren jetzt von einem Unternehmen mit starkem Fokus auf Restholz weiterentwickelt wird und andere Rohstoffe zunächst keine Rolle mehr spielen. Untersucht wurde auch die Herstellung von Bauplatten auf Maschinen im Durchlaufverfahren (Tabelle 4.15 #3). Hierbei wird das Material zuerst erhitzt und dann punktuell gepresst. Leider verlief dieser Versuch erfolglos, da im Rahmen des vorhandenen Setups aus Temperatur und Druck keine formstabile Bauplatte erzeugt werden konnte.

Für die Baubranche lässt sich festhalten, dass es eine ganze Reihe an teilweise sehr weit entwickelten Lösungen für die Verwertung von halmgutartigen nachwachsenden Rohstoffen und Paludikulturen gibt. Für Rohrkolben gibt es sogar einen komplett ausgereiften Baustoff in Kooperation mit dem Fraunhofer Institut und auch die traditionelle Reetdacheindeckung mit Schilf ist nach wie vor ein (kleiner) Absatzmarkt. Letztlich fehlt es aber für die meisten Prototypen an der ganz praktischen Umsetzung durch die Baubranche. Dafür bräuchte es die Konzentration auf ein Produkt, dass gezielt durch Investitionen in Entwicklung und Forschung, die baustofflich relevanten Zulassungen und den Aufbau einer Produktionsanlage als erstes innovatives Paludibaustoffprodukt auf den Markt gebracht wird. Viele Akteure wie Generalunternehmer, Projektentwickler und Wohnungsbaugenossenchaften haben das Thema Nachhaltigkeit und Klimaneutralität als wegweisend identifiziert und auf der Agenda. Trotzdem wird als Grund für die Zurückhaltung oft genannt, dass die große Nachfrage nach entsprechenden Bauprodukten noch nicht vorhanden ist. Dieses Ar-

gument ist zumindest so lange nicht stichhaltig, bis den Kunden echte Alternativen zur Kaufentscheidung angeboten werden. Rein wirtschaftlich verwundert die Zurückhaltung der Baubranche ebenfalls, sind Paludibaustoffe sicherlich mit die kosteneffizienteste Lösung zur Erreichung der Klimaziele.

Vertiefung: Im Fokus steht die Verknüpfung von Produkt- und Geschäftsmodellentwicklung am Beispiel einer im Rahmen des Projekts separat beauftragten Machbarkeitsstudie zur Erreichung der Marktreife von Möbelplatten aus Nasskulturaufwuchs.

Wenn die Entwicklung eines neuen Produkts abgeschlossen ist, stellt die Markteinführung eine Herausforderung dar. Aus diesem Grund wurde im Rahmen von MoorBewi eine Machbarkeitsstudie beauftragt, die am Beispiel einer bereits entwickelten Möbelplatte aus Nasskulturen (Tabelle 4.15 #1) die Schritte zur Erreichung der Marktreife aufzeigen sollte. Mit der Ausarbeitung der insgesamt vier Arbeitspakete der Machbarkeitsstudie wurde die Firma Moor and More aus Greifswald beauftragt.

Arbeitspaket 1: Zusammenstellung der Standortfaktoren für die Möbelplattenproduktion aus Nasskulturaufwuchs in einem Entscheidungsinstrument zur Bestimmung des Standortpotenzials

Für die maschinelle Herstellung von Produkten aus Nasskulturen stellt sich die Frage welcher Standort aus Wirtschaftlichkeits- und Klimaschutzperspektive am geeignetsten für eine Produktionsstätte wäre. Die Rohstoffverfügbarkeit, als wichtigster Standortfaktor, ist je nach Art der Einbringung (Heu, Silage, Frischschnitt, etc.) und Konservierung Schwankungen im Jahresverlauf ausgesetzt. Für Möbelplatten eignen sich besonders Nasswiesenaufwüchse ggf. ergänzt durch Paludikultureinbestände von Seggen, Rohrglanzgras und Schilf. Zur konkreten Standortbestimmung wurde ein Entscheidungsinstrument unter Einbeziehung der genannten Standortfaktoren aufgebaut. Es berechnet aus flächenbezogenen und bereits hinterlegten Daten die verfügbare Biomasse in Tonnen Trockenmasse pro Jahr für einen definierbaren Umkreis. Daher ist im Vorfeld eine Aufbereitung von Geodaten in einem Geoinformationssystem u. a. für die Berechnung der Entfernungen notwendig (Verteilung der Moorflächen, Nutzung, Vernässungsgrad, etc.). Das Entscheidungsinstrument kann unter <https://moorwertrechner.de/> eingesehen und für die Standortsuche einer Produktionsstätte genutzt werden, indem diese Ergebnisse für verschiedene moorreiche Standorte miteinander verglichen werden.

Arbeitspaket 2: Prüfung der Extrahierbarkeit von Nährstoffen aus Nasskulturaufwuchs für die Möbelplattenproduktion

Für die Möbelplattenherstellung steht, wie für viele andere stoffliche Verwertungsschienen auch, die Nutzung der Fasern aus dem Nasskulturaufwuchs im Vordergrund. Das Pflanzenrohmaterial enthält jedoch noch verschiedene andere Inhaltsstoffe, wie etwa Zucker und Nitrate, die extrahiert werden könnten. Die Extraktion von Nährstoffen aus dem Nasskulturaufwuchs könnte die Haltbarkeit der Möbelplatten erhöhen und gleichzeitig Möglichkeiten für eine gewinnbringende Sekundärnutzung eröffnen.

In dem Arbeitspaket wurde die technische Machbarkeit der Faser- und Nährstofftrennung untersucht. Als Rohmaterial wurde Heu aus Seggen, Rohrglanzgras und von Streuwiesen sowie Heulage aus Rohrglanzgras untersucht. Die Extruderderivate aus der ein- und zweifachen Extraktion wurden auf ihre Verwertbarkeit in einer Biogasanlage nach der Methodik von BASERGA (1998) untersucht und die Qualität der aus dem Fasermaterial hergestellten Möbelplatte gegenübergestellt. Die Methanerträge der flüssigen Proben reichten von 9-20 NL kg⁻¹ Feuchtmasse (FM). Eine Einspeisung in den Betrieb einer Biogasanlage, würde

sich damit jedoch nur bei unmittelbarer Nähe der Biogasanlage zur Produktionsstätte lohnen. Aus allen Faseroptionen ließen sich zwar Möbelplatten pressen, allerdings war die Bindekraft der Faser aus der Zweifachextraktion deutlich herabgesetzt. Es wird davon ausgegangen, dass durch die zweite Extraktion viele Nanofasern und sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe ausgewaschen werden, die eine nicht zu unterschätzende Rolle bei der Bindekraft der Fasermischungen spielen. Weiterhin wurde die Biegefestigkeit der Platten untersucht, die für die Einfachextraktion bei 4,75 N/mm² und für die Zweifachextraktion bei 4,25 N/mm² lag. Im Vergleich zu konventionellen MDF-Platten (15-23 N/mm²) geringe Werte, die ohne Bindemittel nur durch dickere Platten zwischen 15-25 mm kompensiert werden könnten.

Arbeitspaket 3: Konzeption einer Produktionsstätte für Möbelplatten aus Nasskulturaufwuchs

Bei bisher bekannten Beispielen von produzierten Möbelplatten aus Nasskulturaufwuchs erfolgte die Herstellung pilotweise und manuell. Die manuelle Herstellung der Nasswiesengräsmöbelplatten ist jedoch zu aufwendig, um das Produkt in die Marktreife zu führen. Die Herstellung muss daher automatisiert werden, wozu die Entwicklung einer entsprechenden Produktionsstätte nötig ist.

Der Fokus dieses Arbeitspaketes lag auf der Entwicklung eines automatisierten Anlagen-Konzepts zur Produktion von Möbelplatten aus Nasskulturaufwuchs idealerweise ohne zusätzliche Bindemittel. Dazu wurden zunächst die Auffaserungsverfahren, wie bspw. Extruder, Refiner, Trockenauffaserung und Expansionsauffaserung, nähergehend auf ihre Eignung untersucht. Die Erkenntnisse über die Verarbeitung von Holzfasern lassen sich dabei nicht ohne Weiteres übertragen, da Holz andere Anteile an Cellulose, Hemicellulose, Lignin und Silikaten aufweist. Die Auswertung ergab, dass sich das Extruderauffaserungsverfahren am besten für eine Produktionsstätte in der Pilotphase eignen würde. Darauf aufbauend wurde ein Inline-Prozess konzeptioniert, der den gesamten Prozess der Herstellung einer Möbelplatte von der Anlieferung des Rohmaterials bis hin zum Endprodukt abbildet. Die Prozessschritte sind bis auf die Heißpresse bekannte Technologien und können als einzelne Geräte oder Anlagen von bekannten Herstellern erworben werden. Für eine Pilotanlage mit einer Fläche von 875 m² wurde ein minimaler durchschnittlicher Materialdurchsatz von 0,45 Tonnen Nasswiesenheu pro Stunde geplant, was 237,5 m² einer 18 mm dicken Platte entspricht. Hinsichtlich des Energiebedarfs wurde eine Spitzenlast von 953 KW, wenn alle Anlagenteile und Gebäudekomponenten unter Volllast laufen, ermittelt. Der Personalbedarf für eine Pilotanlage wurde mit 4 Personen (Geschäftsführung/Marketing, Warenhandling, Fasertechnologie, Plattenherstellungslinie) beziffert.

Arbeitspaket 4: Analyse der ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeit der Möbelplattenproduktion aus Nasskulturaufwuchs

Nur ein wirtschaftlich rentables Produkt wird sich langfristig auf dem Markt halten können, weswegen eine Wirtschaftlichkeitsanalyse für die Möbelplattenproduktion durchgeführt wurde. Dabei wurden zunächst die Investitionskosten (Errichtung des Gebäudes, Produktionsstrecke, etc.) errechnet. Insgesamt ergaben sich dabei Kosten von ca. 22.675.000 €. Der kritischste Punkt in der Kostenbetrachtung ist die Anschaffung einer Heißpresse, die nach aktueller Angebotslage mit ca. 10.000.000 € zu Buche schlägt. Die Amortisation variiert dabei in verschiedenen errechneten Szenarien zwischen 3 und 9 Jahren. Bei Annahme einer 100-prozentigen Finanzierung durch ein Bankdarlehen, ohne Investorenkapital oder Förderungen, ergab sich ein Mindestverkaufspreis von 37,51 € pro m² Möbelplatte bei Vollauslastung über drei Jahre. Die Vermarktung kann vermutlich nicht als Möbelplatte über den

Großhandel, sondern vielmehr in Kooperation mit mittleren oder großen Möbelherstellern realisiert werden.

Ein Herausstellungsmerkmal für Möbelplatten aus Nasskulturen wäre ein sehr klimafreundlicher Product Carbon Footprint (PCF), der auf Basis der Vorgaben der DIN EN ISO 14067 errechnet wurde. Der PCF bietet eine standardisierte Methode, um die Treibhausgas-Emissionen verschiedener Produkte zu vergleichen, in diesem Fall eine Möbelplatte aus Rohrglanzgras mit einer konventionellen MDF-Platte. Vor allem durch das hohe Reduktionspotenzial durch Wiedervernässung von Moorflächen, welches hier voll angerechnet wurde, können durch die Produktion von 1 m³ Möbelplatte aus Nasskulturen über den gesamten Lebenszyklus (Cradle-to-Grave) 2.246 kg CO₂ eingespart werden. Der PCF einer vergleichbaren MDF-Platte liegt bei ca. 500 kg CO₂ (Cradle-to-Gate) (Forum Nachhaltiges Bauen, 2024).

4.3.5.3 Faserverstärkte Kunststoffe (DMZV, ARGE)

Faserverstärkte Kunststoffe bieten die Möglichkeit, Biomasse langfristig in Produkten zu binden und zusätzlich fossile Rohstoffe zu ersetzen und einzusparen. Künstlich hergestelltes Polypropylen (PP), Polyethylen (PE) oder Polylactide (PLA) können zu hohen Anteilen mit Naturfasergranulat, das ebenfalls durch Polymerisation hergestellt wird, in einzelnen Produkten ersetzt werden. Rezepturen mit bis zu 70% Moorfaseranteil wurden erfolgreich getestet. Industriefähige und seriell einsatzfähige Rezepturen laufen aktuell aber nur mit bis zu 20% Faseranteil. Nur in dieser Konstellation konnte der Restfeuchtegehalt innerhalb der verarbeitbaren Grenzwerte gehalten und keinerlei Druckschwankungen beobachtet werden. Die Compoundierungs- und Kunststoffverarbeitungsversuche wurden auch mit Bio-PP durchgeführt. Ganz allgemein wurden die Prüfkörper mit höherem Faseranteil immer steifer.

Die angewandten industriegängigen Verfahren sind zum einen die klassische Extrusion (Techpilot, 2024a) und zum anderen das Spritzgussverfahren (Techpilot, 2024b). Für die ersten Versuche wurde pelletierte Biomasse an den Verarbeiter gesendet. Für den Prozess war besonders wichtig, dass das Rohmaterial dosierfähig war. Aus dem daraus hergestellten Granulat konnte in verschiedenen Rezepturen nachgewiesen werden, dass daraus belastbare Produkte hergestellt werden können. Mit Spritzguss wurden zur Veranschaulichung Essschalen (Tabelle 4.15 #8) und im Extrusionsverfahren schwere dickwandige Pfosten hergestellt (Tabelle 4.15 #7). Die Tests zeigten allerdings auch erheblichen Forschungs- und Entwicklungsbedarf, bspw. eine Reduzierung der Staubentwicklung beim Mahlen der Pellets, um eine stichhaltige Aussage über die Wertschöpfungsmöglichkeiten in diesem Bereich tätigen zu können.

Anstelle der anfangs untersuchten Pellets wurden in der zweiten Testreihe Heuballen zur Aufbereitung an einen Aufbereitungsbetrieb geliefert. Es gelang einem auf Miscanthus spezialisierten Betrieb die Moorkulturen entsprechend den Anforderungen der Kunststoffverarbeitung zu zerkleinern, so dass der geplante Schritt einer weiteren Pelletierung ausgelassen werden konnte und das dosierfähige Material direkt in die Kunststoffverarbeitung bzw. Compoundierung einfließen konnte. Die energieaufwendige und teure Pelletierung zu umgehen, ist als großer Erfolg und wichtiger Schritt zu betrachten, um die Wirtschaftlichkeit dieser Verwertungsschiene sicherzustellen.

Im Schwäbischen Donaumoos wurden im Herbst 2022 7,6 t Pellets aus Rohrglanzgras und Seggenmaterial hergestellt. Aus einer Teilmenge fertigte die Firma Naftex aus Wiesmoor

(eine Firma die zu Biofibres, Landshut gehört) in einem Extrusionsverfahren 640 Zaunpfosten (10x10x200 cm). Der größte Teil dieser wie Holzpfosten eingesetzten Pfosten wurde in Weideprojekten der ARGE Donaumoos im Naturschutzgebiet Leipheim verwendet und dort auf Eignung getestet. Da es sich um einen Langzeittest, mindestens 5 Jahre handelt, liegen noch keine weiteren Ergebnisse vor. Um wirtschaftlich konkurrenzfähig zu sein, müssten noch einige Optimierungen vorgenommen werden. Solange kein Mehrwert aus der Paludikultur entsteht, ist der Einsatz ein „nice to have“, die Produktvorteile müssen sich erst im Praxistest ergeben.

Die Wertschöpfungskette könnte nach aktuellem Kenntnisstand wie folgt aussehen: Ernte zu „Heuballen“, Lieferung an Zerkleinerungsbetrieb, Lieferung an Kunststoffgranulathersteller, Lieferung Granulat an Kunststoffverarbeiter, Produkte an Kunde. Das im Laufe des Projekts in dieser Branche aufgebaute Netzwerk erstreckt sich daher über Kontakte zu Rohmaterialaufbereitern, Kunststoffherstellern und Endkunden im Bereich Landwirtschaft am Beispiel der „Weidepfosten“.

Die Anforderung an das landwirtschaftliche Erntegut würden sich an einem „Heuballen“ oder dem zerkleinerten, dosierfähigen Rohmaterial orientieren. Die Verarbeitung zu Granulat und Kunststoffprodukten kann bei spezialisierten Unternehmen im In- und Ausland erfolgen. Hier würde es sich anbieten, auf bestehende Strukturen zurückzugreifen und zunächst keinen neuen Standort aufzubauen. Die Mengen stehen in direktem Bezug zur Rezeptur und zum Produkt. Eine Mengenabschätzung ist stark produkt- und kundenabhängig.

4.3.5.4 Faserverbundstoffe für Leichtbauteile in der Automobilindustrie (DMZV)

In der Automobilindustrie, welche durch zahlreiche Gesetze, Vorschriften und Normen reglementiert wird, rückt die Reduktion der Treibhausgasemissionen zunehmend in den Fokus. Mit dem Ziel vollständig klimaneutrale Mobilität zu erreichen, optimiert die Automobilindustrie alle Wertschöpfungsstufen und ihrer Umweltauswirkungen. In diesem Zusammenhang wurde mit einem Automobilzulieferer in Bayern ein erster erfolgreicher Test zur Herstellung eines ersten Leichtbauteilprototyps gestartet. An einzelnen Testtagen konnten Fasermatten auf Basis von Streuwiesengras und Seggen hergestellt werden. Seggen, die keine Knoten in ihren Blättern haben, konnten gut verwoben werden. Die aus den Matten (Tabelle 4.15 #10) hergestellten Platinen mit einem Gräseranteil von bis zu 80% konnten anschließend auf einer Musterbauanlage zu Sandwichplatten mit Glasfaserdeckschichten und Polyurethan-Sprühaufrag weiterverarbeitet werden (Tabelle 4.15 #11). Um eine Einschätzung möglicher Anwendungsbereiche für die so erzeugten Sandwichplatten zu erhalten, wurden diese mithilfe bestehender Versuchswerkzeuge zu Automobil-Formteilen verpresst. Optisch und haptisch konnten die erzeugten Formteile die ersten Kriterien für eine Substitution bestehender Serien-Bauteile erfüllen. Dies lässt eine in hohem Maße wahrscheinliche Übertragbarkeit auf eine Serienfertigung im industriellen Maßstab erwarten. Interessant wäre diese Verwertungsschiene auch deshalb, da Streuwiesengras von Moorflächen sofort verfügbar wäre und zusätzlich Interesse an bisher im Paludikulturbereich weniger beachteten Seggen ergeben würde. Der geschätzte Rohstoffbedarf für das untersuchte Bauteil läge bei ca. 100 t/a.

Die Wertschöpfungskette könnte nach aktuellem Kenntnisstand wie folgt aussehen: Ernte zu „Heuballen“, Lieferung an Aufbereitungsbetrieb, Herstellung von Faserverbundmatten, Lieferung an Leichtbauteilefertiger, Lieferung an Autobauer, Produkte an Kunde. Das im Laufe des Projekts in dieser Branche aufgebaute Netzwerk erstreckt sich daher über Kontakte zu Rohmaterialaufbereitern und Leichtbauteilbauern.

4.3.5.5 Pflanzenkohle (DMZV)

Eine interessante Verwertung von Biomasse ist die Verarbeitung zu Pflanzenkohle. Der Kohlenstoff bleibt auf diese Art und Weise gebunden und damit der Atmosphäre über längere Zeiträume entzogen. Die Pflanzenkohle selbst findet überraschend viele Anwendungsbereiche. Vom Bodenverbesserer über Tierfuttermittel bis hin zum Industriezuschlag für Autoreifen oder als Aktivkohle für Medizin oder Filtertechnologie eingesetzt, stellt Pflanzenkohle ein vielseitiges und gefragtes Rohmaterial dar.

Im Rahmen des Projekts wurde Paludikulturbiomasse in einer Pilotanlage einer Pflanzenkohlefirma aus Baden-Württemberg pyrolysiert. Getestet wurden Seggen, Rohrglanzgras und Altgras. Die Kohleproben (Tabelle 4.15 #9) wurden anschließend in ein Labor der Firma Eurofins zur Erstanalyse geschickt. Die Ergebnisse bieten ein erstes Schlaglicht auf die Besonderheiten im Umgang mit Paludibiomasse. Nach EBC-Vorgaben wurden vereinzelt hohe Schwermetallgehalte für Arsen und Nickel festgestellt. Hier müssten bspw. in weiteren Überprüfungen standortbezogene Einzelfälle ausgeschlossen werden. Den Nährstoffgehalt betreffend konnte bspw. ein erhöhter Phosphorwert festgestellt werden, der bei entsprechendem Einsatz zu berücksichtigen wäre. Ein Einsatz in der Industrie scheint vor allem wegen des niedrigen Kohlenstoffgehaltes schwierig. Denkbar wäre allerdings eine Beimischung von Seggen und Altgras zu Holzhackschnitzeln, um aus der daraus hergestellten Pflanzenkohle in den Bereich einer niedrigen Futterverwertung zu kommen (European Biochar Certificate, 2020). Allerdings müsste dafür die Bereitstellung der Paludibiomasse in Form von Pellets von max. 40 €/t realisiert werden. Dies ist aktuell nicht darstellbar. Weitere Untersuchungen wurden an dieser Stelle daher zurückgestellt.

Im bayerischen Donaumoos wurde zudem parallel über die Machbarkeitsstudie CO₂-regio (Galdirs, 2023) eine Potenzialanalyse für Pflanzenkohle durchgeführt. Diese bescheinigte einer Pyrolyseanlage ausreichend Potenzial in der Region. Während investorenseitig großes Interesse daran herrschte, eine Pyrolyseanlage nach Bayern bzw. in die Region bayerisches Donaumoos, zu bekommen, scheiterten die Gespräche vor allem daran, einen passenden Standort zu finden. Die Betreiber der Anlage rechnen mit Verkäufen aus der Pflanzenkohle und den daraus generierten CO₂-Zertifikaten. Um wirtschaftlich arbeiten zu können, muss aber auch die als Nebenprodukt aus dem Pyrolyseprozess anfallende Abwärme ganzjährig einen Abnehmer finden. Diese Anforderung stellte sich als äußerst schwierig heraus. Während im Winter Stadtwerke und andere Abnehmer Interesse hätten, findet sich für das Sommerhalbjahr kein passender Partner. Um noch mehr Wertschöpfung zu generieren, experimentieren einige Anlagenbauer mit der parallelen Herstellung von Pflanzenkohle, Pyrolyseölen, Synthesegasen und Plattformchemikalien. Womöglich kann dieses Zusammenspiel am Ende für einen Durchbruch sorgen.

Die Wertschöpfungskette könnte nach aktuellem Kenntnisstand wie folgt aussehen: Ernte zu „Heuballen“, Lieferung an Pelletierungswerk, Lieferung an Pyrolyseanlage, Verkauf von Abwärme, Pflanzenkohle und Zertifikaten. Das im Laufe des Projekts in dieser Branche aufgebaute Netzwerk erstreckt sich daher über Kontakte zu Pyrolyseanlagenbauern, Investoren, Abwärme- und Pflanzenkohlekunden.

4.3.5.6 Einstreu (DMZV, ARGE)

Die in 2022 im Rahmen von MoorBewi produzierten Pellets wurden auch versuchsweise als Einstreu für Pferdeboxen getestet. Vorteile waren die Staubbefreiheit und eine enorme Saugkraft, aber auch ein gutes Abtrocknungsverhalten, so dass die sich aus diesem Material bildende Matratze immer wieder genutzt werden konnte. Die Probanden waren von dem

Material begeistert, wirtschaftlich können diese Pellets mit einem qualitativ hochwertigem Holzspäneinstreu mithalten.

4.3.5.7 Faserverstärker Mörtelbeton (DMZV)

Beton bzw. die Herstellung von Beton und seinen Bestandteilen ist mit einer der größten Verursacher von Treibhausgasen. Trotzdem wird Beton nach wie vor in fast allen Bauprojekten eingesetzt. In einigen Fällen werden dem Beton zur Steigerung der Qualität Fasern beigemischt. Diese Fasern sorgen in der Regel vor allem dafür, dass der Beton weniger Risse bekommt, eine erhöhte Biegezugfestigkeit erhält und im Brandfall belastbarer und stabiler ist. Als Fasern werden dafür meist Kunststofffasern aus Polypropylen oder Polyethylen eingesetzt. Aus diesem Gemisch entsteht dabei ein Verbundstoff, der ein Recyceln des Betons fast unmöglich macht. Im Rahmen des Projekts wurde daher untersucht, ob Mikrofasern aus Paludikulturen stellenweise als Ersatz für Kunststofffasern in Gipsmörteln eingesetzt werden können. Die Ergebnisse des ersten Versuchsaufbaus zeigten, dass weder mit den eingesetzten Paludifasern noch mit den Kunststofffasern signifikante Einflüsse auf die Druck- und Biegefestigkeit festgestellt waren. Dies lag vermutlich daran, dass es sich bei den eingesetzten Fasern um Mikrofasern im Bereich von 5-10 mm handelte. Positiv genannt werden kann, dass Pflanzenfasern im Unterschied zu hydrophoben Kunststofffasern keine Luftporen im Mörtel einführen können. Empfohlen wurde, den Versuch mit Makrofasern mit einer Länge von mehreren Zentimetern und einer Dicke von einem Quadratmillimeter zu wiederholen.

4.3.5.8 Substrate (DMZV)

Ein wesentlicher Treiber für die Trockenlegung von Mooren und den Torfabbau ist die Verwertung des Torfs in Form von Substraten, also zum Einsatz in Aufzucht- oder Blumenerden in der Gartenbauwirtschaft. Bis heute werden vor allem im Baltikum, aber auch noch in Deutschland große Mengen Torf abgebaut. Während Privatpersonen im Baumarkt inzwischen viele torffreie Produkte angeboten bekommen, setzen Industriezweige wie Profianzuchtbetriebe und Gärtnereien, aber bspw. auch Pilzfarmen nach wie vor sehr große Mengen Torf ein. Immer wieder beschäftigen sich daher Substrathersteller und Forschungseinrichtungen damit, alternative Rohstoffe zu finden, um ihren Torfbedarf zu reduzieren.

Im Rahmen des Projekts wurde mit einem Substratersteller ein Test mit Rohrkolben geplant. Leider verdarb das geerntete Rohrkolbenmaterial während der Lagerung noch bevor es in einem spezialisierten Auffaserungsbetrieb verarbeitet werden konnte. Ein neuer Anlauf konnte im Rahmen des Projekts leider nicht mehr genommen werden. Neben den potenziell großen Mengen, die in diese Verwertung fließen könnten, ist vor allem deutlich geworden, dass alternative Rohstoffe im Profigeschäft nur dann eine Chance haben, wenn sich die Qualität des Produkts im Verarbeitungsprozess, während der Auslieferung/dem Verkauf an den Kunden und beim Kunden vor Ort im Produkt nicht verändert. Dies ist gerade für Aufzuchtbetriebe enorm wichtig, damit die Keimlinge punktgenau mit den richtigen Nährstoffen versorgt werden und ausgepflanzt werden können. Wenn man der Argumentation der systemrelevanten Branche folgt, kann nur so die Nahrungsmittelversorgung sichergestellt werden. Nach wie vor unklar ist, ob die „neuen“ Kulturen diese hohen Anforderungen erfüllen würden. Hochmoorpaludikulturen, also angepflanzte Torfmoose, die nach ca. 5 Jahren immer wieder geerntet werden können, könnten vielleicht eine Lösung darstellen. An diesem Thema wird bspw. im Projekt MOOSland weitergeforscht.

Die Wertschöpfungskette konnte im Rahmen des Projekts nicht vollständig erarbeitet werden. Das im Laufe des Projekts in dieser Branche aufgebaute Netzwerk erstreckt sich über Kontakte zu Substrathersteller und Biomasseaufbereitern.

4.3.5.9 Lebensmittel, Gewürze und Heilkräuter (DMZV, ARGE)

Bisher wird auf vielen trockengelegten Niedermoorflächen ein Beitrag zur Nahrungsmittelproduktion in Form von Getreide, Kartoffeln oder Mais geleistet. Diese Kulturen gedeihen auf stark wiedervernässten Moorflächen nicht mehr. Im Rahmen des Projekts wurde daher die Option geprüft, ob über andere Kulturen, die besser an nasse Bedingungen angepasst sind, auch in Zukunft auf diesen Flächen Nahrungsmittel produziert werden können. Aus den Recherchen ergaben sich ein paar wenige potenziell interessante Kulturen (Engelwurz, Baldrian, Faulbaumrinde, Fasernesseln) für die sich jedoch meist schnell herauskristallisierte, dass der Markt dafür so klein ist, dass bereits Wildsammlungen die komplette Nachfrage bedienen können. Dies betraf beispielsweise Faulbaumrinde. An dieser Stelle wurden die weiteren Untersuchungen eingestellt, da es darum geht, große Flächen wiederzuvernäsen und den Aufwuchs daraus zu vermarkten.

Der Anbau von Brennesseln oder Pfefferminze wurde noch näher untersucht. Die Recherche ergab, dass der Anbau der dafür geeigneten Sumpfbrennnesselart auf Niedermoorböden nur schwer möglich sein wird. Ein klassisches Mähen funktioniert bei der zu erwartenden schlechten Verwurzelung im Moorboden nicht. Die maschinelle Ernte der ganzen Pflanzen samt Wurzeln würde durch eingesammelten vermulmten Boden für erhebliche Verunreinigungen sorgen und die Weiterverarbeitung der Brennesselblätter zu Kräutern praktisch unmöglich macht.

Eine Wertschöpfungskette konnte in diesem Bereich nicht vollständig erarbeitet werden. Das im Laufe des Projekts in dieser Branche aufgebaute Netzwerk erstreckt sich über Kontakte zu Kräutertrocknern und –verarbeitern, Gewürz- und Heilkräuterexperten und Vermehrern von Jungpflanzen.

Vor allem im Schwäbischen Donaumoos werden auf Nassweiden Wasserbüffel zur Fleischproduktion gehalten. Wasserbüffelfleisch gehört zu den hochwertigsten Fleischsorten auf unserem Markt. Es ist gesund und enthält weniger Cholesterin, einen höheren Mineralstoffgehalt und weniger als die Hälfte des Fettgehalts von herkömmlichem magerem Rindfleisch. Bei der Selbstvermarktung durch den Partnerbetrieb Wasserbüffelhof Riedheim wird das Fleisch zwischen 20 und 70 €/kg verkauft, die Nachfrage ist so hoch, dass keine Werbung notwendig ist. Das Ziel, auf nassen Moorweiden Qualitätsfleisch zu erzeugen, wurde hier voll erreicht.

4.3.5.10 Textilien (DMZV)

Die Textilbranche verbraucht sehr große Mengen an Rohstoffen. Baumwolle beispielsweise wird unter Einsatz von extrem viel Wasser angebaut. Unter anderem deshalb experimentiert die Textilindustrie mit alternativen Faserstoffen wie Hanf, Flachs oder Fasernesseln. Im Rahmen des Projekts wurde untersucht, ob sich Paludikulturen als Rohmaterial für Kleidung eignen. Untersucht wurden insbesondere die Fasereigenschaften von Paludikulturen für den Textilgebrauch. Dafür wurden die Fasern mechanisch, chemisch und enzymatisch aufgeschlossen und verfeinert. Die Ergebnisse, vor allem von Rohrglanzgras, zeigen, dass Paludifasern ähnliche mechanische und chemische Eigenschaften aufweisen wie bspw. Hanf. Die Fasern weisen einen hohen Cellulosegehalt auf, besitzen eine gute thermische Stabilität und bestanden erste Handspinnversuche. Dies alles deutet auf großes Potenzial für die Textilanwendung hin. Weitere Untersuchungen wurden von Prof. Anette Matthäi empfohlen.

Leider stand bis Redaktionsschluss nur ein vorläufiger Auszug der Ergebnisse der Hochschule Hof zur Verfügung.

4.3.5.11 Biogas (DMZV)

Im Rahmen des Projekts wurden Gespräche mit Biogasanlagenbauern und insbesondere mit Spezialtechnikern geführt. Hintergrund war hier immer, das Paludimaterial noch besser für die Vergärung vorzubereiten. Nennenswerte Erkenntnisse konnten nicht gewonnen werden. Ungeklärt sind nach wie vor die einschneidenden regulatorischen Einschränkungen zur Verwertung der von als „Abfall“ deklarierten Paludibiomasse in der Biogasanlage. Bekannt war bereits aus vorangegangenen Projekten (Eickenscheidt et al., 2023), dass der Fermentation bis zu 20% Paludikulturen zugeführt werden können, ohne dass sich Biogasertragsverluste bemerkbar machen. Mehr Informationen zum Thema Biogas finden sich in Eickenscheidt et al. (2023) und in laufenden Projekten des PSC-HSWT.

4.3.6 Fazit (DMZV)

Das Verwertungsnetzwerk zwischen verschiedenen Akteuren entlang der jeweiligen Wertschöpfungsketten konnte erfolgreich ausgebaut und eine Vermarktungsstrategie erarbeitet werden. Ein Durchbruch einer Verwertungsoption in der Praxis konnte jedoch nicht erzielt werden. Es konnte gezeigt werden, dass die Vermarktung von Paludikulturen in Zusammenspiel mit Förderprogrammen und CO₂-Zertifikaten eine interessante Alternative für Landwirte darstellen kann. Einnahmen von bis zu 5.600 € je Jahr und Hektar scheinen zukünftig möglich zu sein. Die Ernte im Ein- oder Zweischnittsystem erfolgte auf Versuchsflächen im altbayerischen und schwäbischen Donaumoos relativ zuverlässig im Sommer, dagegen unter erheblichem Mehraufwand im Herbst bzw. Winter. Es liegen Erkenntnisse zum Einfluss von Erntezeitpunkt, Trocknung und Aufbereitung mit Hinblick auf die Qualität des Rohstoffes vor. Eine direkte Aufbereitung der frisch geernteten Biomasse ist zwar möglich, lässt sich für größere Flächen allerdings nicht umsetzen. Daher wäre eine Erntekampagne unter möglichst idealen Witterungsbedingungen anzustreben, um direkt auf der Fläche lagerfähige Heuballen herstellen zu können. Später im Jahr ist eine energie- und kostenintensive Nachtrocknung beinahe unumgänglich. Rohrglanzgras erzielte gute Testergebnisse, aber auch Schilf, Seggen und Nasswiesenschnitt finden eine Verwertungsschiene. Die Verfügbarkeit von Paludikulturen ist noch gering. Für die Auslastung einer Produktionsanlage ist der Aufbau von Paludikulturflächen zwischen 100-800 Hektar nötig.

Für die wichtigsten Verwertungsbereiche, zu denen die Papier- und Verpackungsbranche und die Baubranche zählen, konnten industrielle Produkthanforderungen an die Biomasse identifiziert werden. Serielle, maschinelle Produktionsprozesse benötigen einen lagerfähigen, dosierbaren und in den allermeisten Fällen möglichst homogenen Ausgangsrohstoff. Zur vollständigen Implementierung der Wertschöpfungsketten benötigt es zeitnah Investitionen in die Infrastruktur, in Forschungs- und Entwicklungsarbeit bis zur Marktreife bzw. Zulassung sowie in die Vermarktung von Paludikulturen. In Aufbereitungs- und Verarbeitungstechnologie müssten je Region Investitionen in Höhe von ca. 2-10 Mio. € getätigt werden. Briefumschläge mit Moorfaseranteil oder Trockenbauplatten mit Paludikulturkern zeugen von praktischen, massetauglichen Anwendungsbeispielen mit großem Vermarktungspotenzial. Obwohl die technische Machbarkeit für diese und viele weitere Paludiprodukte durch Laboranalysen und Testproduktionen nachgewiesen werden konnte, überzeugt die Industrie am Rohstoff Paludikultur vor allem ihr großer Beitrag zum Klima- und Moorschutz auf wiedervernässten Moorflächen als Verkaufsargument. Der Zugang zu aus von Wiedervernässungsmaßnahmen entstandenen CO₂-Zertifikaten durch die verarbeitenden

Unternehmen würde maßgeblich dazu beitragen, dass die vorhandenen Verwertungsansätze Realität werden. Insgesamt wäre es wichtig in der Produktentwicklung und Vermarktung strategisch vorzugehen und auf die Schaffung einer starken Paludikulturmarke zu setzen. Dies würde Hand in Hand mit der Entwicklung von zukunftsfähigen Geschäftsmodellen rund um die Produktion und Vermarktung von Paludiprodukten gehen.

5 Treibhausgasmessungen

5.1 Manuelle Haubenmessungen (PSC-HSWT)

5.1.1 Material und Methoden (PSC-HSWT)

An jedem Standort wurde eine Klimastation installiert, die alle 30 Minuten Messwerte von einem Sensor für photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR), je einem Bodentempersensor (in 2 cm, 5 cm und 10 cm Tiefe) für jedes Treatment („Versuchsbedingung“), einem Grundwasserspiegelsensor für jedes Treatment, einem Lufttemperatursensor und einem Barometer aufzeichnete. Um individuelle Grundwasserdaten zu erhalten, wurden manuelle Messpunkte für den Grundwasserspiegel auf jeder Messparzelle eingerichtet.

Für die Messungen wurde ein tragbares Haubensystem verwendet (Drösler, 2005). Die Hauben sind 78 cm x 78 cm x 50 cm groß und bestehen entweder aus Plexiglas (transparent) oder PVC (opak). Der Basisrahmen ist ebenfalls aus PVC gefertigt und misst 75 cm x 75 cm. Um die Komponenten während der Messung luftdicht zu verschließen, ist an der Kontaktfläche der Haube eine Gummidichtung angebracht. Zur Gewährleistung einer konstanten Luftdurchmischung sind drei 80-Millimeter-Lüfter mit einem kombinierten Umluftvolumen von 230 m³/h in einem Lüfterrahmen in einer Ecke installiert.

CO₂-Messungen

Wenn das Wetter für Messungen geeignet war, wurden sie so geplant, dass sie mindestens einmal alle drei Wochen durchgeführt wurden. Bei Maßnahmen wie einer Ernte oder eines Bodenbearbeitungsschritts wurden ebenfalls Messungen möglichst davor und danach durchgeführt. Die Verschlusszeit wurde an die Gasflüsse während der Messungen angepasst. Die Hauben waren über einen Auslass- und einen Einlassschlauch mit einem Infrarot-Gasanalyser und einer Membranpumpe (Durchflussrate von 1 L/min) verbunden, um die Konzentrationsänderungen in den Hauben zu messen. Aus den Messungen mit den opaken Hauben wurde die Ökosystematmung (Reco) und aus den Messungen mit den transparenten Hauben die Bruttoprimärproduktion (GPP) für jede Messung berechnet. Da die GPP von der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) und die Reco von der Bodentemperatur abhängen, wurde die Zeit zwischen den Messungen durch Modellierung der Daten auf halbstündige Intervalle berechnet. Mithilfe der Modelle für Reco und GPP konnte der Netto-Ökosystemaustausch (NEE) berechnet und über das gesamte Jahr kumuliert werden. Dadurch wird am Ende eine vollständige Jahresbilanz erstellt.

CH₄/N₂O-Messungen

Wenn das Wetter für Messungen geeignet war, wurden die Messungen so geplant, dass sie mindestens einmal in der Woche durchgeführt wurden. Das manuelle Haubensystem wurde jeweils für eine Stunde auf den Bodenrahmen zur Messung aufgesetzt. Nach der Entnahme der ersten Probe zu Beginn des Verschlusses wurden alle 15 Minuten je eine Luftprobe entnommen. Die Probenluft wurde über einer tragbaren Pumpe in ein Glasfläschchen gepumpt. Nach der Probenahme wurden die Fläschchen für die CH₄- und N₂O-Analyse im Gaschromatographielabor des PSC auf die Konzentrationen der Gase analysiert. Aus den Werten wurden die Methan- und Lachgasflüsse berechnet und zwischen den Messtagen interpoliert. Die Ergebnisse wurden kumuliert und zu einer Jahresbilanz verrechnet.

5.1.2 Ackerstandort im Altbayerischen Donaumoos (PSC-HSWT)

5.1.2.1 Ergebnisse (PSC-HSWT)

Die Untersuchungen der Treibhausgasemissionen im Altbayerischen Donaumoos (Standortbeschreibung siehe Abschnitt 1.4.4) zeigen deutliche Unterschiede zwischen konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung sowie zwischen Flächen mit Wassermanagement (WM) und Referenzbedingungen (Ref) (Tabelle 5.1, Abbildung 5.1)

In den Messflächen mit konventioneller Landwirtschaft wurden CO₂-Emissionen von 25,23 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ (WM) und 27,66 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ (Ref.) gemessen. Die ökologischen Flächen weisen deutlich geringere CO₂-Emissionen auf, nämlich 4,68 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ (WM) und 14,17 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ (Ref).

Bei beiden Bewirtschaftungsformen fungieren die Flächen als leichte Senken für Methan. Die konventionellen Flächen zeigen eine CH₄-Aufnahme von -0,14 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ (WM) und -0,24 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ (Ref), während die ökologischen Flächen Aufnahmen von -0,02 t bzw. -0,04 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ aufweisen.

Die N₂O-Emissionen sind in der konventionellen Bewirtschaftung mit 30,42 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ (WM) und 30,09 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ (Ref) höher als in der ökologischen Landwirtschaft, die Werte von 16,26 t bzw. 16,80 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ zeigt.

Der Export, gemessen als die CO₂-eq aus dem organischen Kohlenstoff in den geernteten Maiskörnern, variiert zwischen den Systemen. In der ökologischen Landwirtschaft beträgt der Export 18,02 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ (WM) und 18,57 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ (Ref). In der konventionellen Bewirtschaftung liegen die Werte bei 13,23 t (WM) und 17,14 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ (Ref).

Die Gesamtemissionen betragen in der konventionellen Landwirtschaft 68,75 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ (WM) und 74,65 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ (Ref). Die ökologischen Systeme weisen niedrigere Gesamtemissionen von 38,93 t (WM) und 49,49 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ (Ref) auf.

Innerhalb jeder Bewirtschaftungsform führt das Wassermanagement zu einer Reduktion der Gesamtemissionen. In der konventionellen Landwirtschaft reduziert WM die Emissionen um 5,9 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹, was einer Verringerung von 7,9 % entspricht. In der ökologischen Bewirtschaftung beträgt die Reduktion 10,56 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹, entsprechend 21,3 %.

Tabelle 5.1: Treibhausgasbilanzen (in t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) der verschiedenen Bewirtschaftungssysteme (konventionell und ökologisch) und Treatments (Wassermanagement [WM] und Referenz [Ref]) auf dem Ackerstandort im Jahr 2022. Die Tabelle zeigt die Beiträge von CO₂, CH₄ und N₂O sowie die Exporte durch Biomasseentnahme und die Gesamtemissionen. Negative Werte bei CH₄ deuten auf Nettoaufnahmen hin.

[t CO ₂ -eq ha ⁻¹ yr ⁻¹]	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Export	Gesamtemissionen 2022
Konventionell WM	25.23	-0.14	30.42	13.23	68.75
Konventionell Ref	27.66	-0.24	30.09	17.14	74.65
Ökologisch WM	4.68	-0.02	16.26	18.02	38.93
Ökologisch Ref	14.17	-0.04	16.80	18.57	49.49

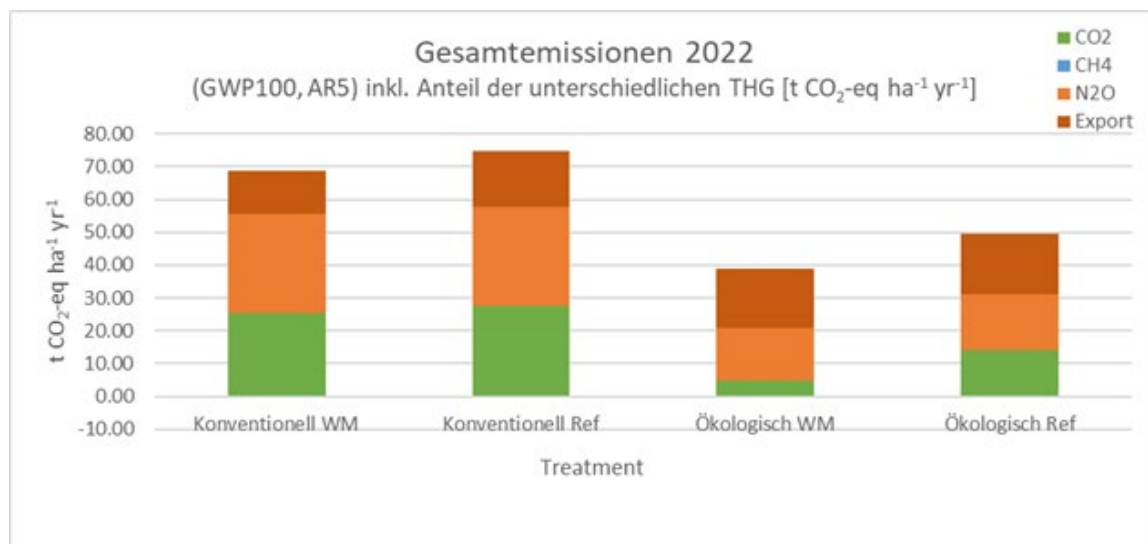


Abbildung 5.1: Gesamtemissionen 2022 (in t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) auf dem Ackerstandort für die verschiedenen Bewirtschaftungssysteme (konventionell und ökologisch) und Treatments (Wassermanagement [WM] und Referenz [Ref]). Die Anteile der Treibhausgase CO₂, CH₄, N₂O sowie der Export durch Biomasseentnahme sind nach den Global Warming Potential des Assessment Report (GWP100 AR5) berechnet.

5.1.2.2 Diskussion (PSC-HSWT)

Die vorliegenden Ergebnisse verdeutlichen die Unterschiede in den Treibhausgasemissionen zwischen konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung sowie zwischen Flächen mit Wassermanagement und Flächen unter Referenzbedingungen. Insbesondere zeigt sich, dass die ökologischen Flächen insgesamt deutlich geringere Emissionen aufweisen als die konventionellen.

Die CO₂-Emissionen sind in der konventionellen Bewirtschaftung erheblich höher. Dies kann möglicherweise auf den Einsatz mineralischer Düngemittel zurückgeführt werden, die die Mineralisierung organischer Substanz fördern und somit zu erhöhten CO₂-Emissionen führen. Im Gegensatz dazu wurde auf der ökologisch bewirtschafteten Fläche auf den Anbau von einer Zwischenfrucht (Wicken-Weidelgrasmischung) vor dem Maisanbau gesetzt und auf mineralische Düngemittel verzichtet.

Bei den N₂O-Emissionen spiegelt sich ein ähnliches Muster wider. Die höheren Emissionen in der konventionellen Landwirtschaft sind wahrscheinlich auf den Einsatz mineralischer Stickstoffdünger zurückzuführen, die den Stickstoffgehalt im Boden erhöhen und mikrobielle Prozesse fördern.

Die CH₄-Flüsse sind in beiden Bewirtschaftungsformen vernachlässigbar und weisen sogar eine leichte Senkenfunktion auf. Die marginalen Unterschiede zwischen den Systemen könnten auf Variationen in der Bodenstruktur und -belüftung zurückzuführen sein, haben jedoch keinen signifikanten Einfluss auf die Gesamtemissionen.

Die Emission aus dem Export der Flächen variiert zwischen den Bewirtschaftungssystemen und innerhalb dieser. Diese Schwankungen sind jedoch wahrscheinlich auf versuchsbedingte Fluktuationen in den Erntemengen zurückzuführen.

Das Wassermanagement hat sich als Maßnahme zur Emissionsreduktion erwiesen. Die deutliche Verringerung der Gesamtemissionen unter WM-Bedingungen in beiden Bewirtschaftungssystemen unterstreicht die Bedeutung des Wassermanagements auf Moorböden.

Durch die Anhebung des Wasserstands kann die Zersetzung von Torf reduziert werden, was zu geringeren CO₂-Emissionen führt.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass die ökologische Landwirtschaft in Kombination mit gezieltem Wassermanagement dazu beiträgt die Treibhausgasemissionen gegenüber der Vergleichsvariante zu reduzieren. Obwohl die Erhöhung des Wasserspiegels auf den ökologisch bewirtschafteten Flächen eine Reduzierung der CO₂-Emissionen um etwa 21 % bewirkt hat, ist dies bei weitem noch nicht ausreichend, um als klimafreundliche Praxis betrachtet zu werden. Es zeigt jedoch, dass unter den hier vorgefundenen Umständen, relativ einfache Maßnahmen helfen können, die Emissionen zu verringern. Dies kann aber nur als Übergangslösung angesehen werden, denn die Emissionen sind auch in den WM Varianten ähnlich hoch, wie der bisherige Durchschnitt der Acker Emissionen auf Moorböden, der in der Berichterstattung eingesetzt wird.

5.1.3 Nassgrünland im Freisinger Moos (PSC-HSWT)

Bei den Messungen im Freisinger Moos (Standortbeschreibung siehe Abschnitt 1.4.3) müssen die standörtlichen Vorbedingungen beachtet werden. Die Treatments Unterflurbewässerung 30cm (UFB 30cm) und Unterflurbewässerung 50cm (UFB 50cm) befinden sich auf Flächen, die zuvor als mittelintensiv genutztes Grünland bewirtschaftet wurden, während der Grabenanstau und die rohrlose Unterflurbewässerung (rohrlose UFB) auf ehemals extensiv genutztem Grünland liegen. Aufgrund dieser Unterschiede verlief die Etablierung der nässeangepassten Saatgutmischung nur auf den Flächen der Treatments UFB 30cm und UFB 50cm erfolgreich. Vergleiche der THG-Bilanzen sind im Moment daher sinnvollerweise nur innerhalb der gleichen früheren Nutzungen durchführbar. Zur Klärung dieser Problematik werden noch Bodenproben entnommen und analysiert. Ebenfalls ausstehend ist die Analyse der jeweils im Mai nach dem Schnitt ausgebrachten Gülle. Diese organische Düngung wird als Kohlenstoffimport betrachtet und muss entsprechend des Kohlenstoffgehalts in der Gülle von der Bilanz abgezogen werden. Dadurch werden die Gesamtemissionen nachträglich noch reduziert. Da auf allen Treatments die gleiche Menge an Gülle appliziert wurde, bleiben die Unterschiede zwischen den Treatments unverändert. Dennoch sind die aktuellen Werte vorläufig und werden sich in zukünftigen Publikationen noch um den Betrag des Kohlenstoffanteils der Gülle reduzieren.

5.1.3.1 Ergebnisse aus 2022 (PSC-HSWT)

Es zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den Treatments (Tabelle 5.2, Abbildung 5.2). Das Treatment UFB 50cm weist mit 33,53 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ die höchsten Gesamtemissionen auf. Dies ist vor allem auf die erhöhten CO₂-Emissionen (17,36 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) sowie die vergleichsweise hohen CH₄-Emissionen (1,08 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) und N₂O-Emissionen (0,66 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) zurückzuführen. Der Export liegt hier bei 14,44 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹, was ebenfalls den höchsten Wert darstellt.

Das Treatment UFB 30cm verzeichnet Gesamtemissionen von 26,84 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹. Die CO₂-Emissionen (13,18 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) sind hier deutlich niedriger als bei der UFB 50cm, ebenso wie die CH₄-Emissionen (0,49 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) und N₂O-Emissionen (0,38 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹). Der Export liegt bei 12,79 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹, was etwas unter den Werten des UFB 50cm-Treatments liegt.

Die Grabenanstauffläche zeigt mit 16,38 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ die zweitniedrigsten Gesamtemissionen. Hervorzuheben sind die, im Vergleich zu den beiden Treatments UFB 30cm und UFB 50cm, geringen CO₂-Emissionen (6,81 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) und N₂O-Emissionen (0,09

t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹). Die CH₄-Emissionen (0,77 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) liegen etwas höher, der Export beträgt 8,71 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹.

Das Treatment rohrlose UFB 30cm hat mit 14,24 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ die niedrigsten Gesamtemissionen. Die CO₂-Emissionen (7,78 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) sind moderat, während die CH₄-Emissionen (1,30 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) die höchsten Werte unter den Treatments aufweisen. Der Export ist mit 4,81 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ deutlich niedriger als bei den anderen Treatments.

Tabelle 5.2: Treibhausgasbilanzen (in t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) der verschiedenen Treatments im Freisinger Moos für das Jahr 2022. Die Tabelle zeigt die Beiträge von CO₂, CH₄ und N₂O sowie die Exporte durch Biomasseentnahme und die Gesamtemissionen. Die Gesamtemissionen werden nachträglich noch reduziert, weil der Kohlenstoffgehalt in der Gülle noch von der Bilanz abgezogen werden muss.

[t CO ₂ -eq ha ⁻¹ yr ⁻¹]	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Export	Gesamtemissionen 2022
UFB 30cm	13.18	0.49	0.38	12.79	26.84
UFB 50cm	17.36	1.08	0.66	14.44	33.53
Grabenanstau	6.81	0.77	0.09	8.71	16.38
Rohrlose UFB	7.78	1.30	0.36	4.81	14.24

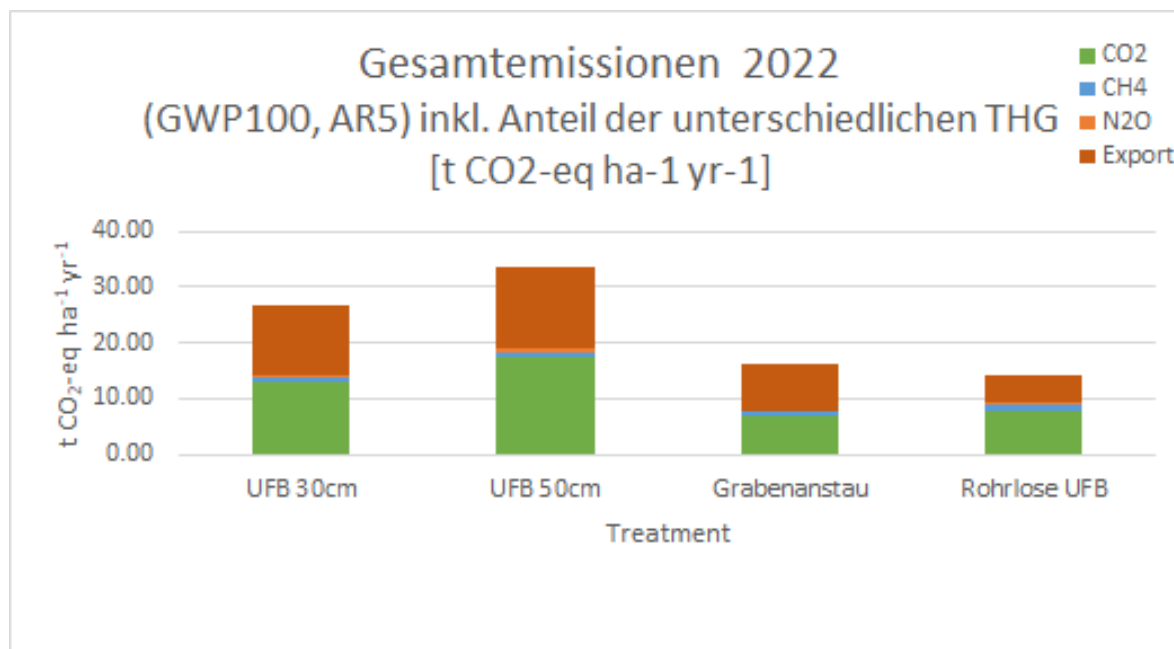


Abbildung 5.2: Gesamtemissionen 2022 (in t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) für die verschiedenen Treatments im Freisinger Moos. Die Grafik zeigt die Beiträge der Treibhausgase CO₂, CH₄ und N₂O sowie den Export durch Biomasseentnahme. Die Bilanzen sind nach den Global Warming Potential des Assessment Report (GWP100 AR5) berechnet. Die Gesamtemissionen werden nachträglich noch reduziert, weil der Kohlenstoffgehalt in der Gülle noch von der Bilanz abgezogen werden muss.

5.1.3.2 Ergebnisse aus 2023 (PSC-HSWT)

Die Messergebnisse sind in Tabelle 5.3 und Abbildung 5.3 dargestellt. Das Treatment UFB 50cm weist mit 56,85 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ die höchsten Gesamtemissionen auf. Dies ist vor allem auf die erhöhten CO₂-Emissionen (36,37 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) sowie die vergleichsweise hohen CH₄-Emissionen (0,89 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) und N₂O-Emissionen (1,48 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) zurückzuführen. Der Export beträgt 18,11 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹, was ebenfalls den höchsten Wert darstellt.

Das Treatment UFB 30cm verzeichnet Gesamtemissionen von 50,06 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ und liegt damit knapp unter den Werten des 50cm-Treatments. Die CO₂-Emissionen (31,78 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) sind zwar etwas niedriger, jedoch bleiben die CH₄-Emissionen (0,55 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) und N₂O-Emissionen (1,00 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) auf einem vergleichsweise hohen Niveau. Der Export liegt bei 16,72 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹, was ebenfalls ein hoher Anteil an den Gesamtemissionen ist.

Die Grabenanstauffläche zeigt mit 29,08 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ moderate Gesamtemissionen. Hervorzuheben sind die im Vergleich zu den beiden UFB-Treatments niedrigeren CO₂-Emissionen (12,97 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹). Die CH₄-Emissionen (0,70 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) und N₂O-Emissionen (0,89 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) liegen im mittleren Bereich, während der Export mit 14,52 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ höher ausfällt.

Das Treatment rohrlose UFB 30cm hat mit 25,76 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ die niedrigsten Gesamtemissionen. Die CO₂-Emissionen (13,65 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) sind vergleichsweise gering, während die CH₄-Emissionen (0,91 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) die höchsten Werte unter den Treatments aufweisen. Der Export beträgt 10,79 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹, was im Vergleich zu den anderen Treatments moderat ist.

Die Messungen der Treibhausgasemissionen (THG) im Freisinger Moos zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Jahren 2022 und 2023 über alle Treatments hinweg. Insgesamt sind die Emissionen im Jahr 2023 höher als im Vorjahr, was sich insbesondere in erhöhten CO₂- und N₂O-Emissionen widerspiegelt.

Beispielsweise stiegen die Gesamtemissionen des Treatments UFB 50 cm von 33,53 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ im Jahr 2022 auf 56,85 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ im Jahr 2023, was einer Zunahme von etwa 70 % entspricht. Ähnliche Trends sind bei den anderen Treatments zu beobachten: UFB 30 cm erhöhte sich von 26,84 auf 50,06 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ (etwa 87 % Zunahme), die Grabenanstauffläche von 16,38 auf 29,08 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ (etwa 78 % Zunahme) und die rohrlose UFB von 14,24 auf 25,76 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ (etwa 81 % Zunahme).

Auch die N₂O-Emissionen sind im Jahr 2023 gegenüber 2022 gestiegen. Beim UFB 50 cm erhöhten sie sich von 0,66 auf 1,48 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹, beim UFB 30 cm von 0,38 auf 1,00 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹, bei der Grabenanstauffläche von 0,09 auf 0,89 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹ und bei der rohrlosen UFB von 0,36 auf 0,41 t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹.

Die CH₄-Emissionen blieben über die Jahre hinweg konstant, mit leichten Schwankungen zwischen den Treatments.

Die Exporte, also die Entnahme von Biomasse, nahmen im Jahr 2023 in allen Treatments zu.

Tabelle 5.3: Treibhausgasbilanzen (in t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) der verschiedenen Treatments im Freisinger Moos für das Jahr 2023. Die Tabelle zeigt die Beiträge von CO₂, CH₄ und N₂O sowie die Exporte durch Biomasseentnahme und die Gesamtemissionen. Die Gesamtemissionen werden nachträglich noch reduziert, weil der Kohlenstoffgehalt in der Gülle noch von der Bilanz abgezogen werden muss.

[t CO ₂ -eq ha ⁻¹ yr ⁻¹]	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Export	Gesamtemissionen 2023
UFB 30cm	31.78	0.55	1.00	16.72	50.06
UFB 50cm	36.37	0.89	1.48	18.11	56.85
Grabenanstau	12.97	0.70	0.89	14.52	29.08
Rohrlose UFB	13.65	0.91	0.41	10.79	25.76

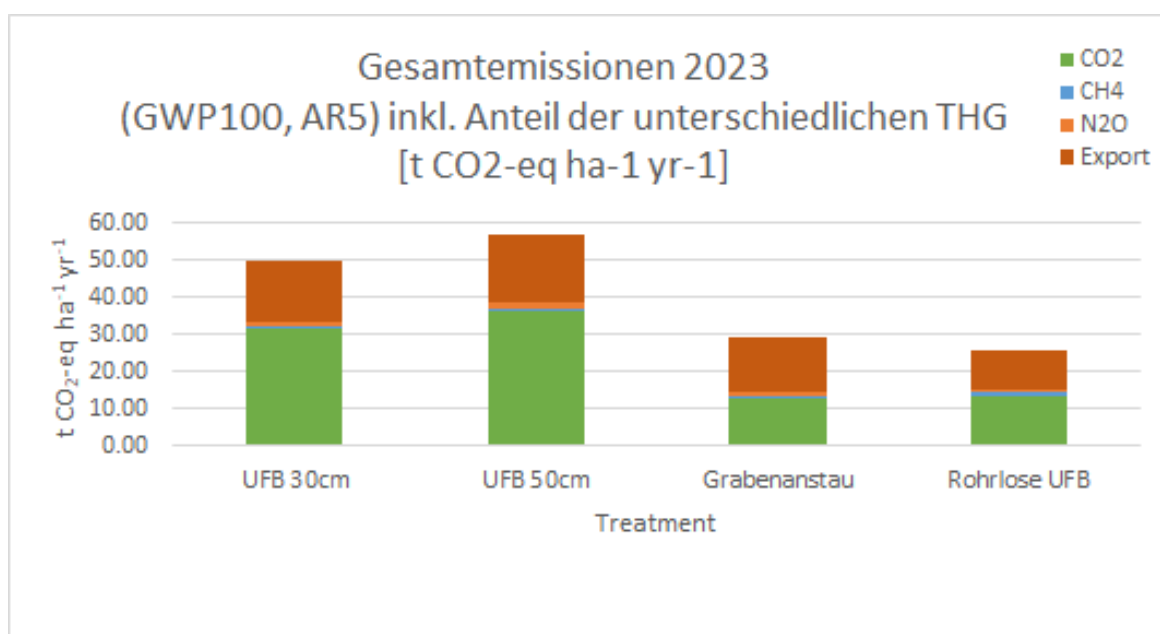


Abbildung 5.3: Gesamtemissionen 2023 (in t CO₂-eq ha⁻¹ yr⁻¹) für die verschiedenen Treatments im Freisinger Moos. Die Grafik zeigt die Beiträge der Treibhausgase CO₂, CH₄ und N₂O sowie den Export durch Biomasseentnahme. Die Bilanzen sind nach den Global Warming Potential des Assessment Report (GWP100 AR5) berechnet. Die Gesamtemissionen werden nachträglich noch reduziert, weil der Kohlenstoffgehalt in der Gülle noch von der Bilanz abgezogen werden muss.

5.1.3.3 Diskussion (PSC-HSWT)

Die Zunahme der Treibhausgasemissionen im Jahr 2023 gegenüber 2022 in allen Treatments deutet auf mehrere mögliche Einflussfaktoren hin. Obwohl die mittleren Wasserstände zwischen den Jahren nur geringfügige Unterschiede zeigen, könnten selbst kleine Veränderungen im Wasserhaushalt spürbare Auswirkungen auf die THG-Emissionen haben. Ein nur leicht niedrigerer Wasserstand kann die Bodendurchlüftung erhöhen und

dadurch günstigere Bedingungen für die Zersetzung des Torfkörpers schaffen. Dies ist besonders relevant, da der Zielwasserstand von 20 cm unter Flur noch nicht im optimalen Bereich für den Erhalt des Torfes liegt und es einen breiten Bereich gibt, in dem weiterhin Zersetzungsprozesse ablaufen können.

Die Exporte, also die Entnahme von Biomasse, nahmen in allen Treatments zu, was auf ein verstärktes Pflanzenwachstum im Jahr 2023 hindeutet. Eine dichtere Vegetationsdecke, die die mikrobielle Aktivität im Boden beeinflusst und bessere Bedingungen für die Torfzersetzung bietet, ist nicht auszuschließen. Dieser Effekt könnte auf das abgeschlossene Etablierungsjahr zurückzuführen sein. Zwar verlief die Etablierung auf der Grabenanstauffläche und der Fläche mit der rohrlosen Unterflurbewässerung (UFB) nicht wie erwartet, doch scheinen sich diese Flächen nach einem Jahr erholt zu haben und nun wieder höhere Erträge zu liefern.

Die unterschiedlichen Vorbewirtschaftungen der Flächen könnten weiterhin Einfluss auf die THG-Emissionen haben. Die mit Dränagen ausgestattete UFB-Treatments befinden sich auf ehemals mittelintensiv genutztem Grünland, während der Grabenanstau und die rohrlose UFB auf extensiv genutztem Grünland lagen. Diese längerfristigen Unterschiede könnten die mikrobielle Zusammensetzung und den Nährstoffgehalt im Boden beeinflusst haben, was zu unterschiedlichen Emissionsmustern führt. Dies kann durch die ausstehende Analyse der Bodenproben geklärt werden.

Die im Mai nach dem Schnitt ausgebrachte Gülle könnte ebenfalls zu den erhöhten Emissionen im Jahr 2023 beigetragen haben, da die wiederholte Düngung möglicherweise zu einer Akkumulation von Nährstoffen im Boden geführt hat. Obwohl die gleiche Menge an Gülle auf allen Treatments appliziert wurde, könnten Unterschiede in der Pflanzenaufnahme und dem Bodenzustand zu variierenden Emissionsraten führen. Hierbei werden auch die Ergebnisse der Gülleanalyse Aufschluss geben.

Auch klimatische Faktoren könnten die Unterschiede zwischen den Jahren erklären. Die klimatischen Bedingungen könnten zwischen den Jahren variiert haben und somit die Emissionen beeinflusst haben. Höhere Temperaturen und veränderte Niederschlagsmuster im Jahr 2023 könnten die mikrobielle Aktivität begünstigt und dadurch die THG-Emissionen erhöht haben. Eine detaillierte Analyse der klimatischen Bedingungen während der Messjahre steht noch aus und wird entscheidende Einblicke in diesen Zusammenhang liefern.

Innerhalb der einzelnen Jahre zeigen die Treatments konsistente Muster: Die UFB 50 cm weist die höchsten Emissionen auf, gefolgt von der UFB 30 cm, der Grabenanstauffläche und der rohrlosen UFB. Dieses Muster bleibt zwischen den Jahren bestehen, jedoch mit insgesamt höheren Emissionswerten im Jahr 2023. Dies deutet, wie auch schon im Vergleich zwischen den Messjahren, darauf hin, dass die spezifischen Bedingungen der Treatments, wie Bewässerungstiefe, Vegetationszusammensetzung und Vorbewirtschaftung, einen Einfluss auf die Emissionsraten haben. Der Unterschied des Wasserstands zwischen den Treatments innerhalb der einzelnen Messjahre und der daraus Folgende Einfluss auf die THG-Emissionen ist gering. Eine Betrachtung der Unterschiede der Wasserstände zwischen den Treatments, um die Unterschiede in den Gesamtbilanzen zu erklären, reicht hier nicht aus.

Die Ergebnisse unterstreichen die Komplexität der Faktoren, die Treibhausgasemissionen aus dem Grünland beeinflussen. Die signifikante Zunahme der Emissionen im Jahr 2023 gegenüber 2022 weist darauf hin, dass sowohl biotische Faktoren wie Vegetationsentwicklung als auch abiotische Faktoren wie klimatische Bedingungen und Bodenfeuchte eine entscheidende Rolle spielen. Weitere Analysen, einschließlich der ausstehenden Bodenproben

und der Bewertung des Kohlenstoffimports durch die Gülle, sind notwendig, um die beobachteten Muster vollständig zu verstehen. Zukünftige Untersuchungen sollten sich auch auf die Langzeitentwicklung der Emissionen konzentrieren, um nachhaltige Bewirtschaftungsstrategien für organische Böden zu entwickeln.

5.1.4 Wasserbüffelweide im Schwäbischen Donaumoos (PSC-HSWT)

Beweidung ist eine in der Praxis verbreitete Alternative der Grünlandnutzung, insbesondere in extensiven Nutzungssystemen. Positive Effekte dieser Moornutzung sind in Bezug auf die Förderung der Biodiversität sowie die Möglichkeit der Nutzung wiedervernässter Moore zu erwarten, abhängig von den eingesetzten Rassen. Der aktuelle Forschungsstand zu den Auswirkungen der Beweidung auf Treibhausgasemissionen in Mooren ist noch begrenzt. Umso mehr gilt dies für die Beweidung mit Wasserbüffeln, die derzeit als alternative Nutzung für nasse Moore angesehen werden. Da Wasserbüffel einerseits mit sehr hohen Wasserständen im Moor zurechtkommen, sind verringerte CO₂-Emissionen zu erwarten. Andererseits schaffen sie auch offene Wasserstellen (Suhlen), die möglicherweise CH₄-Hotspots darstellen. Um diese Fragen zu klären, wurde ein Messstandort im schwäbischen Donaumoos auf einem wiedervernässten Moor mit Wasserbüffelpbeweidung eingerichtet (siehe Abschnitt 1.4.5). Hier wird eine Kombination von Eddy-Kovarianz und Hauben eingesetzt. Der Messzeitraum erstreckt sich von März 2023 bis März 2025. Zum Zeitpunkt des Abschlussberichts ist das Ende der Messperiode noch nicht erreicht, um die adressierten Fragen abschließend beantworten zu können. Endgültige Ergebnisse werden daher auf der Website des Peatland Science Centres (PSC) veröffentlicht.

5.1.4.1 Ergebnisse (PSC-HSWT)

Im Jahr 2023 wurden auf der Fläche ungewöhnlich hohe Methanflüsse gemessen. Um die verschiedenen Vegetationstypen mit hohem Methanausstoß zu identifizieren und Lachgas (N₂O) Emissionen zu ermitteln, wurden Ende 2023 manuelle Haubenmessungen nach Dröbner (2005) begonnen. Die Konzentrationsänderungen von CH₄ und N₂O über einen bestimmten Zeitraum werden mithilfe von Analyzern des Typs LI-7810 und LI-7820 der Firma *LI-COR Environmental* ermittelt. Daraus können Flüsse berechnet werden, die zu Tages- und am Ende zu Jahresflüssen akkumuliert werden.

Es wurden insgesamt vier Messflächen, sog. Treatments mit je drei Wiederholungen eingerichtet. Diese sind aufgeteilt in DOW 6, DOW 7, DOW 8 und DOW 9 (Tabelle 5.4) DOW 6 liegt neben einer Suhle der Wasserbüffel im Nord-Osten der Weide. Der Standort war Anfang 2024 nahezu vegetationslos, die Vegetationsdeckung nahm aber mit abnehmender Tierdichte gegen Mitte 2024 stark zu. DOW 7 liegt neben DOW 6 in westlicher Richtung und zeichnet sich durch eine fast durchgehend geschlossene Grasnarbe aus. DOW 8 befindet sich im nordwestlichen Teil der Fläche und umfasst Binsen-Horste. DOW 9 liegt direkt neben DOW 8 in südlicher Richtung und repräsentiert ein Mikrorelief mit Kleinsenken und Horsten mit Seggen-Vegetation. Die Tiere halten sich in allen Messstandorten auf, DOW 6 und DOW 7 werden aber häufiger frequentiert.

Tabelle 5.4: Treatments auf der Wasserbüffelweide im Schwäbischen Donaumoos mit ihrer Lage als Koordinaten, sowie beschreibende Charakteristiken

Treatment	LON	LAT	Beschreibung
DOW 6	10,19896762	48,48007694	Suhlbereich
DOW 7	10,19881044	48,48001865	Geschlossene Grasnarbe
DOW 8	10,19750528	48,47927697	Binsenhorste
DOW 9	10,19754473	48,47919053	Mikrorelief mit Kleinsenken und Horste mit Seggen Vegetation

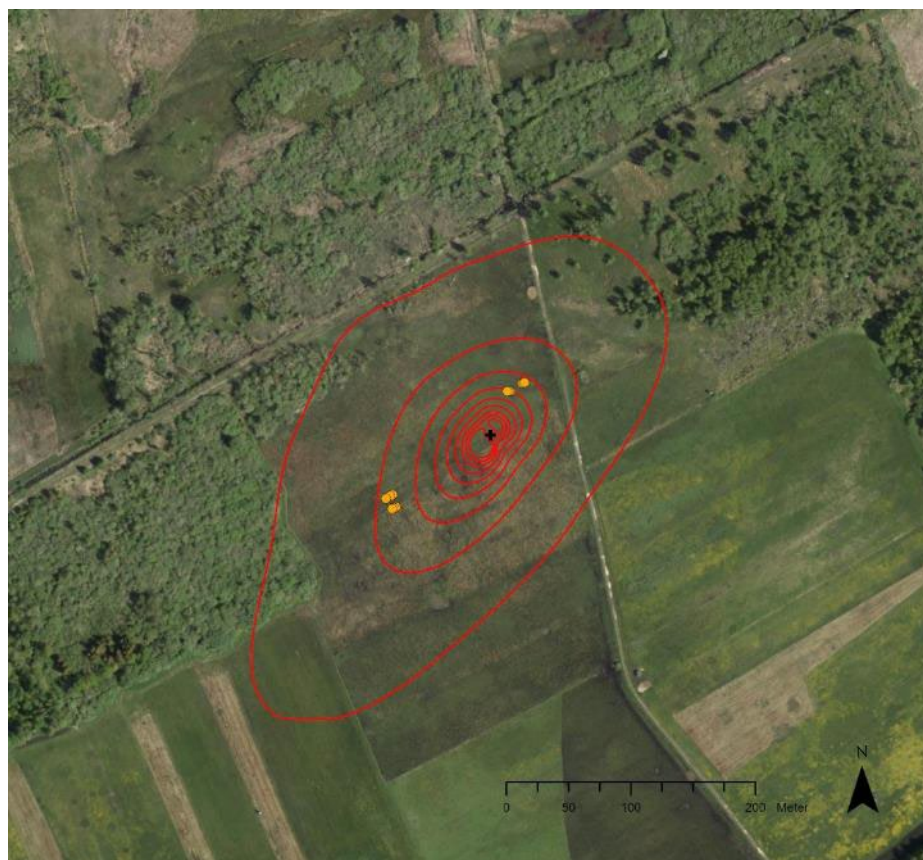


Abbildung 5.4: Footprint (rote Linien) des Eddy-Kovarianz-Turms (schwarzes Plus) und die Lage der Treibhausgas Messflächen (orange Punkte) auf der Wasserbüffelweide im Schwäbischen Donaumoos

Die Messungen starteten im Dezember 2023 und dauern bis Januar 2025 in i.d.R. einwöchigem Rhythmus an. Bis Anfang Oktober 2024 wurden 34 Messungen durchgeführt. Bis Januar 2025 sollen weitere 8 Messungen hinzukommen. Die Treatments DOW 8 und DOW 9

konnten erst im Januar 2024 installiert werden, daher starten diese Datenreihen erst ab dem 10.01.2024. Messlücken entstanden aufgrund von Wettereinflüssen und Personalausfällen. Die Messlücke im Dezember ist bedingt durch die Weihnachtspause (siehe Abbildung 5.5).



Abbildung 5.5: Messzeitpunkte der Treatments. Die Datumsachse ist in Wochenintervalle aufgeteilt. Blau zeigt die bereits gemessenen und Rot die geplanten Messungen.

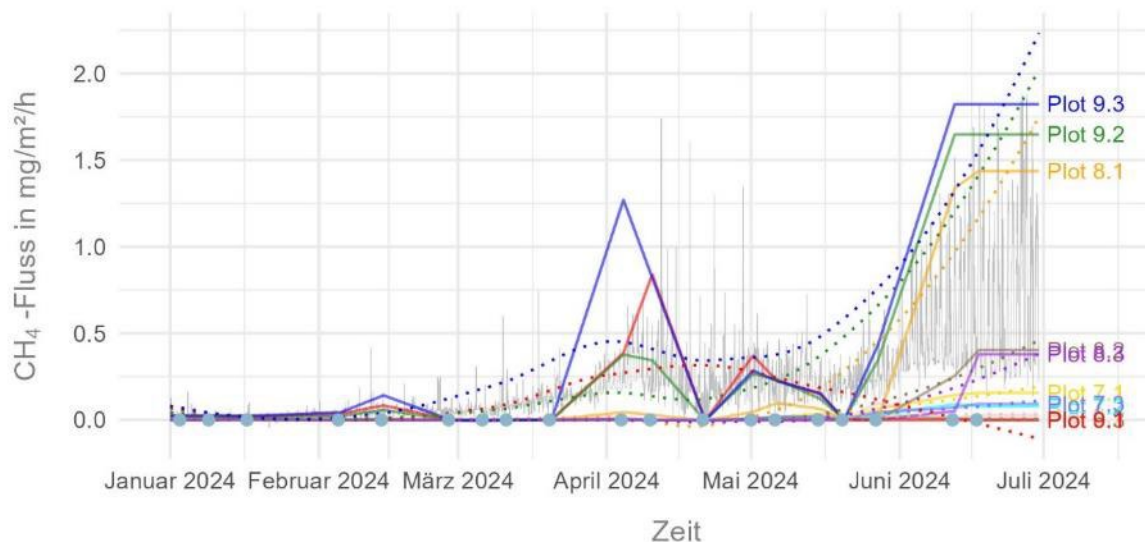


Abbildung 5.6: Stündliche CH_4 -Flüsse [$\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$], erfasst mit der Eddy-Kovarianz-Mess-technik (grau), im Vergleich zu den stündlich interpolierten Haubenmessungen (bunt) vom 1. Januar 2024 bis 1. Juli 2024 auf der Wasserbüffelweide im Schwäbischen Donaumoos. Die gepunkteten Linien zeigen die geglätteten Methanflüsse der einzelnen Messplots. Die Punkte auf der x-Achse repräsentieren die jeweiligen Messkampagnen.

Abbildung 5.6 stellt die Haubenmessungen in Verbindung mit der nachfolgend beschriebenen Eddy-Kovarianz-Messung dar. Die farbigen Verläufe repräsentieren die einzelnen Plots eines Treatments, während die graue Linie die Daten des Eddy-Turms zeigt. Insbesondere die Plots 9.2 (grün), 9.3 (blau) und 8.1 (orange) spiegeln den Verlauf der Eddy-Kovarianz-Messungen gut wider. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Standorteigenschaften und die Vegetation dieser Plot-Standorte (Tabelle 5.4) repräsentativ für große Teile des Foot-print-Gebiets sind (Abbildung 5.4). Plot 9.1 (rot) weist bis Mitte Mai ähnliche CH_4 -Emissionen wie die übrigen Plots des Treatments 9 auf. Das Fehlen von Daten bzw. fehler-

hafte Messkampagnen zwischen Ende Mai und Juli 2024 führten zu Nullwerten. Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Treatments zeigen die Treatments 6 (Suhlbereich) und 7 (geschlossene Grasnarbe) niedrige Emissionen im Bereich von 0 bis 0,5 mg/m²/h.

5.1.5 Versuchsstation Karolinenfeld (PSC-HSWT)

In Karolinenfeld wurden die THG-Messungen nach dem gleichen Schema wie an den anderen Messstandorten durchgeführt. Dabei wurde die Etablierungsphase der Paludikultur *Carex acutiformis*, unter verschiedenen Etablierungsmethoden untersucht. Gemessen wurden die ersten beiden Jahre der Etablierung. Die beiden Etablierungsmethoden umfassen zum einen die Kontroll-Nullvariante, bei der die Parzellen zunächst nur geerntet wurden und die Pflanzen anschließend in den offenen Boden gepflanzt wurden, und zum anderen die Direktpflanzung ins Grünland, bei der nach der Mahd gepflanzt wurde (siehe Abschnitt 4.1.6). Die Ergebnisse sind derzeit noch nicht ausgewertet und befinden sich in der Bearbeitung. Nach Abschluss der Auswertung werden die Ergebnisse zu einem späteren Zeitpunkt über das Peatland Science Centre (PSC) veröffentlicht.

5.2 Eddy-Kovarianz Messtechnik (PSC-HSWT)

5.2.1 Methodik (PSC-HSWT)

Die Eddy-Kovarianz-Methode erlaubt es, den Austausch von Wärme, Wasserdampf und Spurengasen zwischen der Biosphäre und der Atmosphäre zu quantifizieren (Aubinet et al., 1999, Baldocchi, 2003). Abbildung 5.7 veranschaulicht das zugrunde liegende Messprinzip. Die horizontale Luftströmung besteht aus zahlreichen dreidimensionalen rotierenden Wirbeln (engl.: eddy). Mit Hilfe eines 3D-Ultraschallanemometers wird die Geschwindigkeit und Richtung der vertikalen Wirbelkomponente der Eddys bestimmt. Zeitgleich wird ein Skalar, etwa die Temperatur, Feuchtigkeit oder Treibhausgaskonzentration gemessen. Die Kovarianz zwischen Vertikalwind und Skalar ergibt den Nettoaustausch des gemessenen Stoffes zwischen Ökosystem und Atmosphäre. Anhand der variierenden Treibhausgaskonzentrationen in auf- und abwärts-bewegenden Luftmassen lässt sich bestimmen, ob das Ökosystem als Treibhausgassenke oder -quelle fungiert.



Abbildung 5.7: Messschema für den Stoffaustausch zwischen Ökosystem und Atmosphäre anhand eines Eddy-Kovarianz-Turms mit Gasanalysator und 3D-Ultraschallanemometer (Peatland Science Centre, 2024).

5.2.2 Messergebnisse für Wasserbüffelweide im Schwäbischen Donaumoos (PSC-HSWT)

In Abbildung 5.8 sind die mittleren Tageswerte der CO_2 - und CH_4 -Flüsse für den Messzeitraum von 01. März 2023 bis 01. Oktober 2024 im Untersuchungsgebiet DOW dargestellt. Der Verlauf verdeutlicht die CO_2 -Sequestrierung in den Frühlings- und Sommermonaten beider Jahre, was auf das gesteigerte Pflanzenwachstum sowie die höheren Photosyntheseraten im Sommerhalbjahr zurückgeführt werden kann. Im Gegensatz dazu überwiegt in den Herbst- und Wintermonaten der Ausstoß von CO_2 . Ganzjährig sind CH_4 -Emissionen zu beobachten, welche von Oktober 2023 bis März 2024 abflachen. Höhere Boden- und Lufttemperaturen begünstigen die Aktivität Methan-produzierender Mikroorganismen im Frühling und Sommer. Deutlich höhere CH_4 -Flüsse im Jahr 2024, im Vergleich zu 2023, sind auf die generell feuchteren Umweltbedingungen am Standort in Folge gesteigerter Niederschlagsmengen, und damit einem höheren Wasserstand sowie erhöhtem Bodenwassergehalt zurückzuführen. Der Footprint des Eddy-Kovarianz-Turms (Abbildung 5.9, links) repräsentiert die Bereiche um den Turm, die prozentual zur Messung des Gesamtflusses beitragen. Eine erste Einschätzung einer Eddy-Kovarianz basierten Emissionsbilanz (ohne Abschluss des Messzeitraums und der Berechnungen) lässt vermuten, dass das Beweidungssystem mit Wasserbüffeln unter den Wasserstandsbedingungen der Messflächen, eine deutliche Emissionsreduktion gegenüber entwässertem Intensivgrünland darstellt.

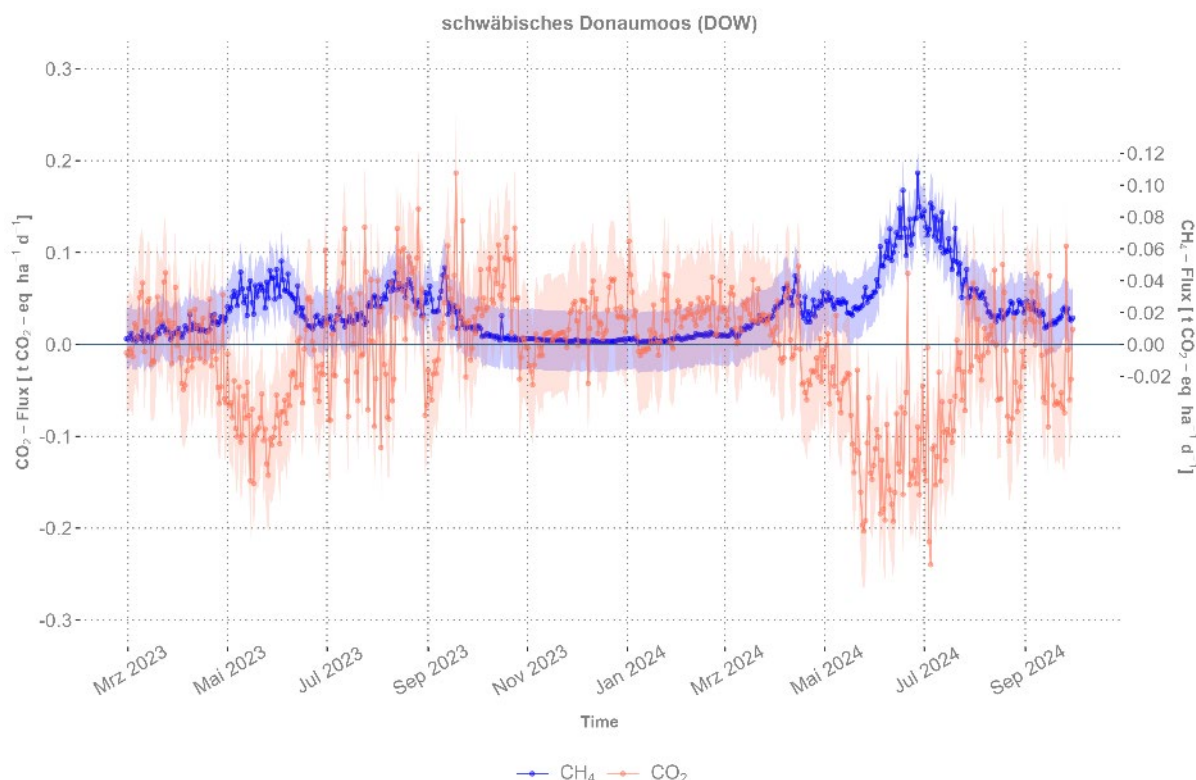


Abbildung 5.8: Mittlere Tageswerte aus halbstündlich gemessenen Treibhausgasflüssen in Tonnen CO_2 -Äquivalente pro Hektar pro Tag ($\text{t CO}_2\text{-eq ha}^{-1} \text{d}^{-1}$) von 01. März 2023 bis 01. Oktober 2024 für das Untersuchungsgebiet schwäbisches Donaumoos (DOW). Der Methanfluss (CH_4 - Flux) ist in blau und der Kohlenstoffdioxidfluss (CO_2 -Flux) in orange dargestellt. Die schattigen Bereiche um die Flüsse bilden die jeweiligen Standardabweichungen ab. Datenquelle: Peatland Science Centre, 2024.

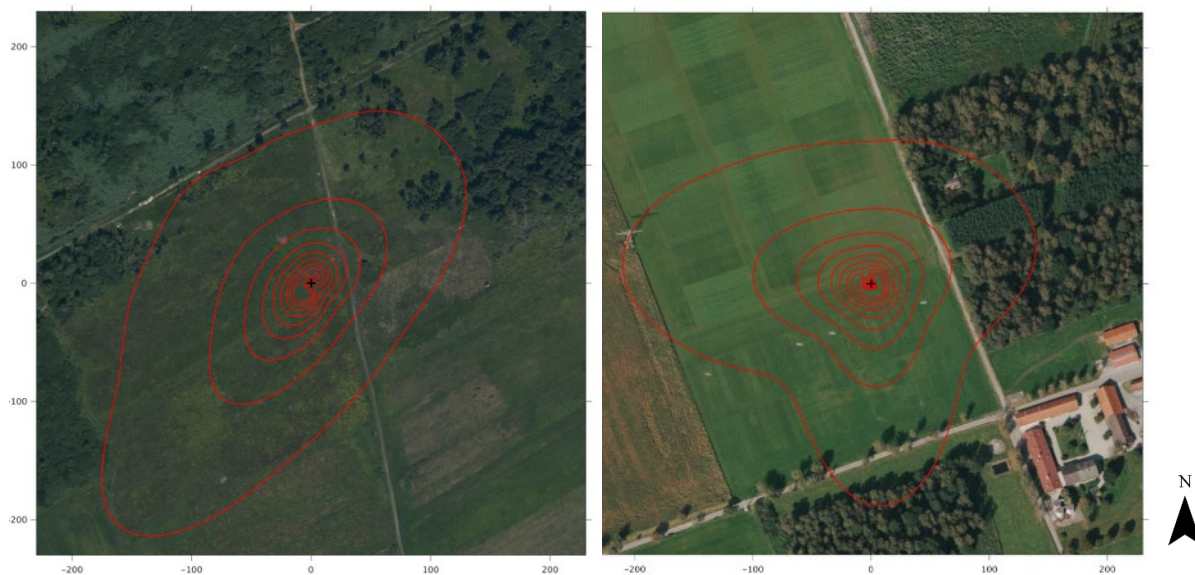


Abbildung 5.9: Karte der Flux-Footprint-Prediction (Kljun et al., 2015) für den Eddy-Kovarianz-Turm in DOW von 01. März 2023 bis 01. Oktober 2024 (links) und in KLF von 07. März 2023 bis 01. Oktober 2024 (rechts). Das schwarze Plus zeigt die Turmstandorte mit einer Messhöhe von $z_m = 3.6$ Meter. Die roten Konturlinien repräsentieren die Bereiche um den Eddy-Kovarianz-Messstandort, die in 10%-Schritten zwischen 10 und 90% prozentual zur Messung des Gesamtflusses beitragen. Die Einheit der Achsenbeschriftung ist in Meter. Datenquelle: Peatland Science Centre, 2024.

5.2.3 Messergebnisse für Nassgrünland auf der VS Karolinenfeld (PSC-HSWT)

Das Niedermoor in KLF zeigt im Sommer 2023 eine deutliche Depression der CH_4 -Emissionen Abbildung 5.10. Zu dieser Zeit herrschten vorwiegend trockene Standortbedingungen, die zu einem Rückgang des Bodenwassergehalts führten. Unter aeroben Bedingungen reagiert der Bodenkohlenstoff vermehrt mit Sauerstoff zu CO_2 . Die geringen Infiltrationsraten im degradierten Oberboden, zusammen mit dem erhöhten Niederschlagsaufkommen, sind die Ursache für den Überstau auf der Fläche im Jahr 2024 und erklären die hohen CH_4 -Flüsse. Der Überstau tritt vorwiegend in einer Senke südöstlich des Turms auf, die vom Footprint (Abbildung 5.9, rechts) erfasst wird. Vereinzelte Anstiege der CO_2 -Flüsse lassen sich durch die drei Schnitte pro Jahr erklären, die von der LfL durchgeführt wurden (2023: KW19, KW34, KW45; 2024: KW16, KW29, KW39). Ausreißer der CH_4 -Flüsse, wie zwischen November und Dezember 2023, entstehen durch Datenlücken (Sensorempfindlichkeit, Stromausfälle, etc.) und deren Korrektur. Die angewandte gap-filling Methode birgt Unsicherheiten, welche in Zukunft durch ein robusteres Verfahren minimiert werden sollen.

Die hier veranschaulichten, vorläufigen Ergebnisse unterliegen einer abschließenden Auswertung nach Abschluss der Messperiode im März 2025 und könnten anschließend angepasst werden. Konkrete Bilanzen werden nachberechnet. Die Daten sind noch mit gebotener Vorsicht zu interpretieren.

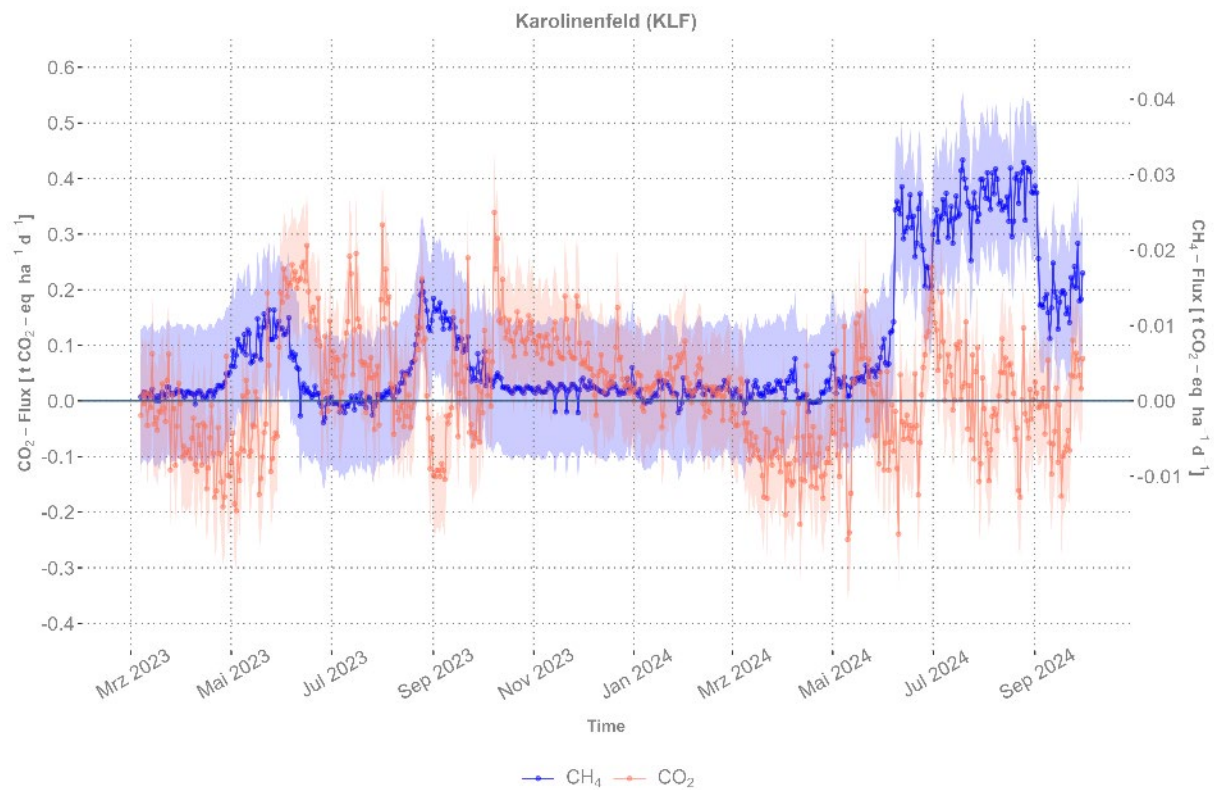


Abbildung 5.10: Mittlere Tageswerte aus halbstündlich gemessenen Treibhausgasflüssen in Tonnen CO_2 -Äquivalente pro Hektar pro Tag ($\text{t CO}_2\text{-eq ha}^{-1} \text{d}^{-1}$) von 07. März 2023 bis 01. Oktober 2024 für das Untersuchungsgebiet Karolinenfeld (KLF). Der Methanfluss (CH_4 -Flux) ist in blau und der Kohlenstoffdioxidfluss (CO_2 -Flux) in orange dargestellt. Die schattigen Bereiche um die Flüsse bilden die jeweiligen Standardabweichungen ab. Datenquelle: Peatland Science Centre, 2024.

6 Entwicklung des Moorbauernprogramms

Da eine moorverträgliche Bewirtschaftung mit zusätzlichem Aufwand für die Bewirtschafter verbunden ist und sich Absatzmärkte für den Aufwuchs der Paludikulturen erst noch entwickeln müssen, ist das Angebot eines Förderprogrammes für die praktische Umsetzung des landwirtschaftlichen Moorbodenschutzes notwendig. Seit dem Jahr 2023 ist das Moorbauernprogramm Bestandteil des Kulturlandschaftsprogrammes (KULAP) sowie der Förderinstrumente der Ländlichen Entwicklung. Informationen zu den aktuellen Förderbedingungen finden sich auf der entsprechenden Webseite des StMELF. Im Rahmen des Projekts MoorBewi wurden fachliche Grundlagen und Vorschläge für die Ausgestaltung des Moorbauernprogramms erarbeitet und iterativ mit dem StMELF abgestimmt und weiterentwickelt. Sie halfen, das Moorbauernprogramm inhaltlich zu entwerfen und haben als Fachgrundlagen und Arbeitshilfen Eingang in das Förderinstrument gefunden. Konkret wurden im Projekt die folgenden Fachgrundlagen für die Maßnahmen geschaffen:

Wassermanagement

- LfL-Information „Maßnahmen zur Wasserstandsanhebung für eine moorbodenverträgliche Landwirtschaft - Beantragung einer wasserrechtlichen Genehmigung“ (Februar 2024), abgestimmt mit der Umweltverwaltung
- LfL-Information „Technischer Leitfaden zur Wasserstandsanhebung in landwirtschaftlich genutzten Niedermooren“ (November 2024), abgestimmt mit der Umweltverwaltung
- Die Methodik für eine GIS-basierte Vorabprüfung zur Wiedervernässbarkeit wurde entwickelt und für alle Flächen der GLÖZ2-Kulisse wurden Vernässbarkeitsklassen berechnet
- Ein GIS-Skript zur Berechnung der förderfähigen Fläche bei Stauzielmaßnahmen wurde entwickelt und potenzielle Anwender geschult.

Umwandlung von Acker in Dauergrünland (M10) bzw. Nassgrünland (M12/M14)

- Hinweise für die erfolgreiche Neuansaat und Nachsaat auf der Basis der Versuchsergebnisse auf Forschungs- und Praxisflächen für Schnitt- und Weidenutzung
- Nässegeeignete Qualitäts-Saatgutmischungen BQSM® -W 1M als Spezialmischungen zur Neuansaat von wiedervernässten Moorflächen wurden entwickelt und auf den Markt gebracht
- LfL-Information „Erfassung von Zeigerpflanzen für den Nassenachweis auf Moorböden“ (Februar 2024)
- Im Bereich der Erntetechnik wurde eine Übersicht und fachliche Einschätzung der in der Praxis eingesetzten landtechnischen Kombinationen erstellt und Videos produziert, die den Einsatz in der Praxis zeigen.

Paludikulturen (M16)

- Ergebnisse paralleler Projekte wurden für die Praxis aufbereitet
- Verarbeitungslinien wurden weiterentwickelt, denn die Nutzung des Aufwuchses ist eine zentrale Voraussetzung für die Akzeptanz von Paludikulturen
- Hinweise zur Etablierung der Paludikulturen finden sich im Etablierungsleitfaden des PSC (Eickenscheidt, Krimmer und Drösler, 2023)
- Für die Etablierung von *Carex acutiformis* können konkrete Praxisempfehlungen gegeben werden, auch wenn noch nicht alle Fragen gelöst sind.

- Die Erntevorführung im Bayerischen Donaumoos hat eine marktverfügbare Praxistechnik für die Ernte von Paludikulturen gezeigt und ist per Video dokumentiert.

Fachliche Unterstützung der Umsetzung des Moorbauernprogramms

- Übersicht auf der LfL-Webseite (<https://www.lfl.bayern.de/moorbodenschutz>)
- Schulungen der Fachberater/innen an den ÄELF und Regierungen
- Mustervortrag mit Begleitheft für detaillierte Fachhintergründe, Antworten auf häufig gestellte Fragen

Die Anschaffung nässetauglicher Landtechnik kann über die Bundes-Investitionsförderung von Maschinen und Geräten im Rahmen des Aktionsprogramms Natürlicher Klimaschutz (ANK) abgewickelt werden.

6.1 Konzeptvorschlag für ein Förderprogramm (LfL)

Im Projekt MoorBewi wurden die Rahmenbedingungen für einen erfolgreichen Moorbodenschutz formuliert. Die Investitionen ins Wassermanagement, die nötigen Änderungen in der betrieblichen Ausrichtung und der Abfall der Deckungsbeiträge sind beim Moorbodenschutz so gravierend, dass die Umstellung zu nasser Bewirtschaftung unter den aktuellen Rahmenbedingungen nur bei langfristiger Sicherheit für eine finanzielle Kompensation erfolgen kann. Gleichzeitig ist die langfristige Sicherung der nassen Nutzung Voraussetzung dafür, dass wirklich dauerhaft Klimaschutz und Moorbodenschutz stattfinden.

Die Wasserstandsanhhebung als Grundvoraussetzung für einen effektiven Klimaschutz stellt zudem ein neues Aufgabenfeld in der Landwirtschaft dar, weswegen die landwirtschaftlichen Betriebe bei diesem Arbeitsschritt umfangreiche Unterstützung benötigen. Dies umfasst die Planung, Abstimmung, Genehmigung und Umsetzung von wasserbaulichen Maßnahmen bis zum rechtssicheren Fördertatbestand. In Frage kommen der Einsatz der in Abschnitt 2.1 beschriebenen Wasserregelungstechniken wie Stauwehre, Staudämme, Stauschächte und Dränageregelungen und Dränverschlüsse. Dabei bietet es sich an, bereits vorhandene Förderoptionen der Ländlichen Entwicklung (u. a. FlurNatur) für die Umsetzung dieser Maßnahmen zum Wasserrückhalt zu nutzen. Der Entscheidungsfindungsprozess vor Ort sowie Planung und Umsetzung von Maßnahmen werden von den Ämtern für Ländliche Entwicklung und den Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten begleitet und mit geeigneten Instrumenten gefördert.

Als landwirtschaftliche Nutzungskonzepte für nasse Moorböden kommen vor allem Nassgrünland und Paludikulturen in Frage. Bei der Prämienberechnung für das Moorbauernprogramm wurde u.a. mit Ergebnissen aus dem MOORuse-Projekt gearbeitet, in dessen Rahmen Deckungsbeiträge für Paludikulturen errechnet wurden. Je nach Paludikultur sind ein oder mehrere Jahre Etablierungszeit einzurechnen, in denen entweder keine oder eine geringere Ernte erwartet werden muss. Bei den meisten Paludikulturen kann eine Etablierung als kostengünstige Ansaat erfolgen. Im Einzelfall – insbesondere bei Seggen – kann aber auch eine teurere Anpflanzung von Setzlingen für eine erfolgreiche Etablierung erforderlich sein. Wichtig für die Etablierung ist auch eine gute Flächenvorbereitung und Wasserregelung mit nassen Bedingungen bei Keimung und Anwachsen, um den Beikrautdruck zu minimieren.

Als Gebietskulisse für die Förderung des Moorbauernprogrammes kann die Moorbodenkulisse (GLÖZ2) Anwendung finden, die gemäß GAPKondV für Bayern auf Basis der Bodenschätzung und der Bodenübersichtskarte bzw. Moorbodenkarte des Landesamtes für Umwelt erstellt wurde. Ziel sollte es sein, vor allem bisher intensiv genutzte Acker- und Grünlandstandorte moorverträglich zu bewirtschaften, da hierbei die höchsten THG-Einsparpotenziale (bis zu 50 t CO₂-Äqu. pro Hektar und Jahr gemäß Eickenscheidt et al. (2023)) erreichbar sind. Auf naturschutzfachlich wertvollem Extensivgrünland greifen dagegen die Förderinstrumente des Naturschutzes.

6.2 Programmteile für ein Förderprogramm (LfL)

Um den unterschiedlichen Gegebenheiten in der Praxis gerecht zu werden, sollte das Förderprogramm inhaltlich möglichst breit aufgestellt werden, um Handlungsspielraum für die beantragenden Betriebe zu schaffen. Je nach Struktur, Ausrichtung sowie Betroffenheit der Flächen und Einbindung in die regionale Wertschöpfung eines landwirtschaftlichen Betriebes kommt eine unterschiedliche Umstellung in Frage. So ist beispielsweise der Viehbestand im Betrieb und im Umkreis entscheidend, ob (weiteres) Grünland zu Futterzwecken benötigt wird oder nicht.

Ein erster Schritt für eine moorverträgliche Bewirtschaftung kann eine dauerhafte Umwandlung von Ackerland in Grünland darstellen, womit bereits eine (wenn auch im Vergleich zur Wiedervernässung geringere) THG-Einsparung erreicht und durch eine Förderung honoriert werden kann. Bei der Einsaat bietet es sich an, eine Saatgutmischung mit nässeangepassten Grasarten zu verwenden. Hier kann auf die von der LfL entwickelte Saatgutmischung BQSM[®]-W 1M zurückgegriffen werden (siehe Abschnitt 3.1.8). Die Mischung trägt Nässe und zeitweisen Überstau, erreicht aber nicht die Erträge, Energie- und Proteingehalte des nicht standortangepassten Weidelgrases. Zur Unterstützung der Bestäuber und der Biodiversität können zusätzlich nässeverträgliche Kräuter eingesät werden. Diese sind auf dem Markt noch kaum vorhanden und daher teuer.

Weitere Aspekte der Umwandlung in Dauergrünland in Bayern sind im entsprechenden Merkblatt des StMELF aufgeführt. Nach der Etablierung der Grünlandnarbe sollte eine Anhebung des Wasserstandes angestrebt werden, um einen langfristigen Torferhalt zu erreichen.

Moorflächen, die bereits ohne wasserstandsregulierenden Einrichtungen nass bewirtschaftet werden, sollten bei der Förderung nicht aus dem Raster fallen und der Mehraufwand gegenüber einer entwässerten Fläche honoriert werden. Da ein Monitoring des Wasserstandes mit Hilfe von Grundwasserpegeln aufwendig ist, bietet es sich hierbei an, den Nassenachweis auf Basis von Zeigerpflanzen durchzuführen (LfL, 2024a). Als Zeigerarten wurden Arten bzw. Gattungen ausgewählt, die

- zum Grundartenkatalog feuchter bis nasser Graslandgesellschaften gehören
- eine hohe Feuchtezahl aufweisen (Ellenberg F8 bis F10)
- in Bayern nicht selten vorkommen
- bei gewöhnlichen Anteilen im Futter unproblematisch sind (keine Giftpflanzen)
- nicht hauptsächlich Staunässe bzw. Bodenverdichtung anzeigen
- im Feld eindeutig bestimmt werden können
- keine spezifischen Kennarten von geschützten Lebensraumtypen sind.

Auf derzeit entwässerten, landwirtschaftlich-intensiv genutzten Moorflächen ist für die THG-Einsparung und den Torferhalt eine Anhebung des Wasserstandes erforderlich. Da-

nach ist eine Umstellung auf Paludikulturen oder Nassgrünland denkbar. Zu den Paludikulturen zählen u.a. die im Rahmen von MOORuse untersuchten Arten Schilf (*Phragmites australis*), Rohrkolben (*Typha latifolia* und *angustifolia*), Seggen (*Carex acutiformis* und *acuta*) und Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*). Die Artenliste sollte jedoch für weitere Arten offengehalten werden, um innovative Ansätze und Entwicklungen in der moorverträglichen Bewirtschaftung nicht zu hemmen. Beim Nassgrünland stellen die mittelintensive Nutzung als Mähgrünland oder als Nassbeweidung beispielsweise mit Robustrinderassen Optionen dar. Dabei ist in bestimmten Fällen auch eine Ganzjahresbeweidung, wie sie bereits im Schwäbischen Donaumoos mit Wasserbüffeln praktiziert wird, denkbar.

Da der Wasserstand auf einer Fläche maßgeblich über die THG-Einsparung entscheidet, sind Vorgaben eines Zielwasserstandes im Förderprogramm sinnvoll. Aus Untersuchungen des Projekts MOORuse ist bekannt, dass Paludikulturen mit oberflächennahen Wasserständen besonders gut zurechtkommen und ein für den Klimaschutz möglichst optimaler Wasserstand von ca. 10 cm unter Geländeoberkante angestrebt werden sollte. Feldversuche auf der Versuchsstation Karolinenfeld (siehe Abschnitt 3.1.4) mit Futtergräsern wie Rohrschwingel zeigten, dass für Nassgrünland ein etwas geringerer Wasserstand von ca. 20 cm unter Geländeoberkante angesetzt werden sollte.

Um den zukünftigen Wasserstand in der Fläche abschätzen zu können, wurde von der LfL ein Vorgehen entwickelt, mit dem die förderfähige Fläche auf Basis einer Analyse des Digitalen Geländemodells ermittelt werden kann. Um den Akteuren einen hohen Monitoring-Aufwand zu ersparen, sollte der Nachweis des Zielwasserstandes an die Installation einer Staueinrichtung an einer Entwässerungseinrichtung, die zumindest zeitweise Wasser führt, gekoppelt werden. Ein trockenheitsbedingter Abfall des Flächenwasserstandes in ausgedehnten Trockenzeiten liegt nicht im Verschulden des Bewirtschafters und sollte daher für den Betrieb förderunschädlich sein.

6.3 Erste Erfahrungen aus der Praxis (ARGE)

Dieses Kapitel bezieht sich auf eine Erfahrungsbilanz des ersten Jahres des Moorbauernprogrammes. Die ARGE Donaumoos hat bedingt durch eine über dreißigjährige Tätigkeit in der Moorlandschaft einige gute Kontakte zu Landwirten, mit denen sie schon jahrelang eine Nassbewirtschaftung meistens in Form von Extensivgrünland mit Beweidung durchführt. Hierbei wurde auch klar, dass eine Umstellung auf eine moorverträgliche Bewirtschaftung bei den Landwirten nur Akzeptanz findet, wenn ein Einkommen generiert werden kann, das dem Anbau von Mais ähnlich oder besser ist. Die seit 2023 beantragbare KULAP-Maßnahme M10 fand im Schwäbischen Donaumoos bereits Anklang und zeigte, dass landwirtschaftlicher Moorbodenschutz sich lohnen kann. Als dann 2024 die weiteren Maßnahmen M12, M14 und M16 dazukamen, war die Stimmung bei den Landwirten sehr positiv, allerdings herrschte Unklarheit über den Ablauf der Beantragung der Maßnahmen. Bei der Meldung über iIBALIS leuchtete bei den von der ARGE betreuten Landwirten eine Meldung rot auf, dass man sich bei der unteren Naturschutzbehörde (uNB) melden sollte. Dort angefragt erhielten sie keine Information. Grund ist, dass ein großer Teil der Moorböden im Schwäbischen Donaumoos in der Natura 2000-Kulisse bzw. im Wiesenbrütergebiet liegt, wodurch hier zunächst die Naturschutzbehörden zuständig sind. Bei M10 (Umwandlung Acker zu Dauergrünland) stand ein Alternativprogramm im VNP zur Verfügung, das sogar noch mehr Potential aufweist, aber bei den weiteren Maßnahmen wird der „Programmschub“ für einen normalen Landwirt nicht mehr durchschaubar. Neben den u.a. von der LfL veröffentlichten Leitfäden, die für Berater und Fachleute gut verständlich sind, sollte eine einfacherer Broschüre das Moorbauernprogramm den Landwirten näherbringen. Ein

probates Mittel, mit den Landwirten über den Moor- und Klimaschutz ins Gespräch zu kommen, waren Interviews mit einschlägigen Fragen zum Moorbodenschutz, die im Rahmen des Moorbenefits-Programms durchgeführt wurden. Die Landwirte erhielten einen Bonus für die Interviews, d.h. man hat ihre Meinung als wertvoll angesehen und gleichzeitig konnte man durch die Fragen den Landwirt ganz individuell über den Sinn einer Nassbewirtschaftung informieren. Nach den Interviews waren 9 von 10 Landwirten bereit am KULAP teilzunehmen, wenn Sie sich mit ihren Verpächtern und Nachbarn einigen könnten. Aus Sicht der ARGE Donaumoos wäre es daher eine Überlegung, ein Bonussystem beim Moorbauernprogramm einzuführen, d.h. je mehr Landwirte in einem Gebiet mitmachen, umso höher würde für jeden einzelnen die Förderung je Hektar. Generelle Unsicherheit herrscht bei den Landwirten auch was bei einer Beendigung der Förderung passieren würde und wo sie ihre Ernte verkaufen können. Hier fehlen weitere Strukturen und verarbeitende Betriebe, oder der Anreiz, dass Landwirte Genossenschaften gründen, um ihr Material selbst aufzubereiten.

7 Wissenstransfer

Das komplexe und noch neuartige Thema der Wiedervernässung und Bewirtschaftung und von Mooren erfordert einen umfassenden Wissenstransfer und eine enge Zusammenarbeit verschiedener Institutionen. Diese Aspekte sind von zentraler Bedeutung für die Zusammenarbeit aller Akteure und eine flächenhafte Umsetzung eines landwirtschaftlichen Moorbodenschutzes. Dabei dient der Wissenstransfer als Brücke zwischen Forschung und Praxis, was für die Umsetzung theoretischer Erkenntnisse in praktische Managementstrategien essentiell ist. Durch einen effektiven Wissenstransfer können Erkenntnisse aus lokalen Projekten auf regionale oder nationale Ebenen übertragen werden, was die Effizienz und Effektivität von Moorschutzmaßnahmen insgesamt erhöht.

Im Rahmen des Projekts MoorBewi wurde ein umfassender und diversifizierter Ansatz für den Wissenstransfer entwickelt und umgesetzt. Das Ziel war es, verschiedene Interessensgruppen effektiv zu erreichen und ein breites Spektrum an Informationen und Erkenntnissen zu vermitteln. Zu diesem Zweck wurde eine Vielzahl von Medien und Kommunikationskanälen genutzt, um eine möglichst große Reichweite und Wirkung zu erzielen.

7.1 Veranstaltungen und Kommunikationsprodukte (PSC-HSWT, LfL)

Zu den eingesetzten Methoden gehörten geführte Exkursionen in den Projektgebieten, die den Teilnehmern direkte Einblicke in die praktische Arbeit und die Zusammenhänge vor Ort beim Thema Moorbodenschutz ermöglichten. Ergänzend dazu wurden Vorträge für verschiedene Zielgruppen, von Fachpublikum bis hin zur interessierten Öffentlichkeit, gehalten, um theoretisches Wissen und Projektergebnisse zu vermitteln. Eine Ausstellung wurde konzipiert, um visuelle und interaktive Elemente in den Wissenstransfer einzubinden. Für die breitere Öffentlichkeit und spezifische Interessengruppen wurden informative Flyer erstellt, die kompakt und anschaulich über verschiedene Aspekte des Projekts informierten. Zusätzlich wurden Videos produziert, die komplexe Sachverhalte anschaulich darstellten und über digitale Plattformen verbreitet wurden. Für den wissenschaftlichen Diskurs und die fachliche Vertiefung wurden Artikel in relevanten Fachzeitschriften und Sammelbänden publiziert. Darüber hinaus wurden weitere Formate wie Workshops, Online-Seminare, soziale Medien und Pressemitteilungen genutzt, um verschiedene Zielgruppen anzusprechen und einen kontinuierlichen Informationsfluss zu gewährleisten.

Dieser multidimensionale Ansatz ermöglichte es, sowohl die breite Öffentlichkeit als auch spezifische Interessengruppen wie Landwirte, Naturschützer, politische Entscheidungsträger und Wissenschaftler gezielt zu erreichen. Die detaillierte Aufschlüsselung der Aktivitäten im Bereich des Wissenstransfers, einschließlich der verwendeten Medien und spezifischen Inhalte, sind in den nachfolgenden Tabellen zusammengefasst (Tabelle 7.1, Tabelle 7.2, Tabelle 7.3). Dabei ist jeder Institution aus MoorBewi ein Zahlencode zugeordnet:

- ① Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
- ② Bayerische Staatsgüter (BaySG)
- ③ Peatland Science Centre an der Hochschule Weihenstephan Triesdorf (PSC-HSWT)
- ④ Arbeitsgemeinschaft Schwäbisches Donaumoos (ARGE)
- ⑤ Donaumoos Zweckverband (DMZV)

Tabelle 7.1: Liste von Führungen und Vorträge im Rahmen von MoorBewi

Datum	Ort	Veranstaltung	Institution
07.07.21	VS Karolinenfeld	Ausbildung der Studierenden der Landwirtschaftsschule Rosenheim	①, ②
09.07.21	VS Karolinenfeld	Termin mit lokaler Presse	①, ②
03.10.21	Leipheim	Feldtag Paludikultur	①, ⑤
30.11.21	online	Seminar des Arbeitskreises des ökologischen Landbaus Weißenstephan	①
08.03.22	Leipheim	Infoabend für die Landwirte: Nass Flächenbewirtschaftung	④
09.03.22	VS Karolinenfeld	Besuch der Projektaktivitäten durch LfL-Präsident Sedlmayer und BaySG-Geschäftsführer Dippold	①, ②, ③
14.03.22	online	Vortrag für 29. C.A.R.M.E.N.-Forum	①
28.03.22	Berlin	Moorveranstaltung Networking	④
03.06.22	Katholische Akademie der Erzdiözese Freiburg i.Br.,	Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Moor- und Torfkunde (DGMT) e.V.	①
23.06.22	VS Karolinenfeld	Besuch der Projektaktivitäten durch StMin. Kaniber	①, ②, ③, ④, ⑤
25./26.06.22	Leipheim	Infostand bei den Donaumoos-Erlebnistagen	⑤
27.06.22	Pöttmes	Infoabend in Pöttmes	⑤
27.06.22	Conventgarten, Rendsburg	Workshop zur Zukunft der Niederungen in Schleswig-Holstein des Ministeriums für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur des Landes Schleswig-Holstein	①
05.07.22	VS Karolinenfeld	Fortbildung der Landwirtschaftsverwaltung (QE4) in Karolinenfeld	①, ②
12.07.22	VS Karolinenfeld	Fortbildung der Landwirtschaftsverwaltung (QE3)	①, ②
12.07.22	Benediktbeuern	Exkursionsbeitrag zur Moorschutz-Fortbildung des LfU für	①, ③

		StMUV und KLIP- Manager/innen	
20.07.22	Riedhausen	Vorstellung Ernte Paludifläche örtl. Landwirtschaft	④
24.08.22	Riedhausen	ATV-Fernsehen	④
25.08.22	Soest	65. Jahrestagung der AG Grün- land und Futterbau	①
19. 20.09.22	- Bildungszentrum St. Nikolaus, Ro- senheim	LfU-Tagung „Symposium Moor- schutz: Forschung und Praxis verbinden“ in Rosenheim	①, ③, ④
20.09.22	VS Karolinenfeld	Exkursion im Rahmen der LfU- Tagung „Symposium Moor- schutz: Forschung und Praxis verbinden“ in Karolinenfeld	①, ②, ③, ⑤
21.09.22	Donaumoos	Treffen mit der IG Landwirt- schaft	⑤
01.10.22	Donaumoos	Donaumoos-Exkursion mit Vor- trag zu Verwertungsmöglichkei- ten	⑤
06.10.22	Königsmoos	Infoabend in Königsmoos	⑤
25.10.22	Donaumoos	CO2-regio-Exkursion mit Vor- trag von R. Burkhardtsmayer	⑤
03.11.22	Brunnen	Infoabend in Brunnen	⑤
14.02.23	Riedheim	Infoabend Moorbauernpro- gramm	④
18.03.23	Freising, VS Karo- linenfeld	Exkursion zur Versuchsstation Karolinenfeld im Rahmen der PSC-Eröffnung in Karolinenfeld	①, ②, ③
30.03.23	München	Infotag LPV's Bayr. Landtag Vorstellung MoorBewi-Produkte	④
04.05.23	Benediktbeuern	Exkursionsbeitrag für AG Bo- denschutz der Alpenkonvention	①, ③
04.05.23	Freisinger Moos	Exkursion FüAk-Fortbildung	①, ②, ⑤
06.05.23	Leipheim	Besuch des Umweltministers, Vorstellung Paludifläche und Produkte	④
16.05.23	VS Karolinenfeld	LBV in Karolinenfeld	①, ②, ③
27.06.23	VS Karolinenfeld	boden:ständig in Karolinenfeld	②
03.07.23	VS Karolinenfeld	Uni Innsbruck in Karolinenfeld	①, ②, ③
05.07.23	Freisinger Moos	LfL Anwarter	①, ③

11.07.23	Freisinger Moos	Führung AELF Fürstenfeldbruck	①, ③
12.07.23	VS Karolinenfeld	Landwirtschaftsschule in Karolinenfeld	①, ②, ③
20.-22.07.23	Leipheim	Fachtagung Moorschutz praktisch	④
25.07.23	Langenweiher bei Ehekirchen im Alt-bayerischen Donaumoos	Praktiker-Informationstag „Grünlandnutzung mit hohem Grundwasserstand“ im Donaumoos	①
14.09.23	Oldenburg	Deutscher Grünlandtag 2023	①, ③
21.09.23	Riedhausen	AELF Krumbach Paludikultur	④
10.10.23	VS Karolinenfeld	ALB, Biogasforum (AG Substratbereitstellung)	②
18.10.23	VS Karolinenfeld	Exkursion AG-Lysimeter	①, ②, ③
13.11.23	VS Karolinenfeld	IG unser Donaumoos	①, ②, ③
15.11.23	Haus im Moos	Vortrag Paludikultur	①, ④
19.-27.01.24	Berlin	Aufklärungsarbeit bei der Woche der Umwelt	③
06.02.24	Leipheim	Moorgespräch Landwirte	④
05.03.24	Freising	Pflanzenbauliches Kolloquium der LfL	①, ③
19.03.24	Nantesbuch	Vortrag Paludikultur und Verwertung	④
11.-14.03.24	Potsdam	DAFA-Konferenz Agrarforschung zum Klimawandel	①, ③
18.03.24	Freising	Weihenstephaner Grünlandgespräche	①
24.04.24	VS Karolinenfeld	FüAk Fortbildung Moorbodenschutz in der Landwirtschaft	①, ②, ③
25.04.2024	online	Peat Talk „Etablierung und Bewirtschaftung von Futtergräsern auf wiedervernässten Niedermoorstandorten“	①
26.04.24	VS Karolinenfeld	CSU Ortsgruppe Westerndorf-St-Peter	②, ③
03.05.24	VS Karolinenfeld	Referenten- und Anwärterfortbildung (FüAk)	①, ②, ③
15.05.24	VS Karolinenfeld	Landwirtschaftsschüler AELF Rosenheim	①, ②, ③
16.05.24	Berlin	Vortrag Diskussion Umwelt- und Landwirtschaftsausschüsse	④

04./5.06.24	Berlin	Aufklärungsarbeit bei der internationalen Grünen Woche	③
01.07.24	Straubing	Vortrag bei Carmen-Symposium	④
11.07.24	Freising	Führung für WWA, WBV und AELF im Freisinger Moos	③
11.07.24	München	Umweltministerium Paludi Verwertung	④
19.07.24	VS Karolinenfeld	Führung für UNB Rosenheim und andere ehrenamtliche Aktive	①, ②
08.08.24	VS Karolinenfeld	Landwirtschaftsschüler AELF Miesbach/Holzkirchen	①, ②, ③
18.-21.09.24	Freising	iPSC – international Peatland Science Conference	①, ②, ③, ④, ⑤
21.09.24	Freising, Bayerisches und Schwäbisches Donaumoos, VS Karolinenfeld	Führungen im Rahmen der iPSC	①, ②, ③, ④, ⑤
26.09.24	Saarbrücken	DNT Vortrag plus Podiumsdiskussion Moorbewirtschaftung	④
21.10.24	VS Karolinenfeld	LfL und IPZ 3c in Karolinenfeld	①, ②
29.10.24	online	Kommunikationsplattform Moorschutz (LfU): Vorstellung der Leitfäden - Austausch mit WWAs	①
30.10.24	online	Peat Talk „Wertschöpfung aus dem Moor – Die Verwertung von Paludikulturen“	⑤
05.11.24	Lauingen	VR-Bank Landwirtschaftsabend Vortrag plus Podium	①, ④
25.11.24	Berlin	VLK-Arbeitskreis Koordination Grünland und Futterbau, Projektpräsentation	①
27.11.24	online	Peat Talk „Erste verfahrenstechnische Erkenntnisse zur nassen Moorbewirtschaftung“	①

Schulungen für die Berater „Klimaschutz durch Moorbodenschutz“ an den Ämtern für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten durch die LfL

Anlässlich des Einstiegs der neuen Berater für Klimaschutz durch Moorbodenschutz (KliMo-Berater) an den Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten fand vom 23. bis 24. April 2024 eine FüAk-Fortbildung „Moorbodenschutz in der Landwirtschaft“ statt.

Die Fortbildung gliederte sich dabei in einen Theorieteil am ersten und einen Praxisteil mit Exkursion am zweiten Tag.

Der Theorieteil wurde an der LfL in Grub abgehalten. Nach einem allgemeinen Kennenlernen begann die Fortbildung mit grundlegenden Fachkenntnissen zu Klimaschutz durch Moorbodenschutz, sowie darauf basierenden Handlungsempfehlungen. Es folgten Beiträge zu Rechtsbereichen und Schnittstellen mit anderen Behörden und ein Vortrag des LfU zum Überblick der Organisationsstrukturen und Aufgaben der Moormanager auf der Naturschutzseite. Auch wurde ein Überblick über das Moorbauernprogramm als Teil der Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM) gegeben. Die Ländliche Entwicklung gab einen Einblick in ihre Tätigkeit, bevor der Tag mit einem Beitrag der LfL zu fachlicher Unterstützung und Kommunikationsprodukten abgerundet wurde.

Die Exkursion am zweiten Tag erfolgte zur Versuchsstation Karolinenfeld in der Nähe von Rosenheim. Hier wurde nach der Begrüßung ein Einblick in die Entstehung von Mooren gegeben, bevor sämtliche Versuchsflächen von Wasserstandsanhebung, Nassgrünland, Paludikulturen und Landtechnik sowie Treibhausgasmessungen durchlaufen wurden. Das Programm wurde dabei auf das Moorbauernprogramm zugeschnitten. Unter anderem wurde die Maßnahme M12 *Bewirtschaftung von nassem Grünland* des Moorbauernprogramms erläutert und die dafür relevanten Kennarten für den Nassenachweis vorgestellt.

Zur Vertiefung der Fördermaßnahmen M14 und M16 des Moorbauernprogramms, fanden im Juli 2024 Schulungen zur Stauzielnachweis-Methodik und der Berechnung der förderfähigen Fläche im Geoinformationssystem QGIS statt. Hierzu wurde am 09.07.2024 eine digitale Schulung zur Einführung in QGIS, den fachlichen Grundlagen in der Stauzielnachweis-Methodik und der Berechnung der förderfähigen Fläche gehalten. Die Arbeit in QGIS umfasste die Arbeit mit dem Digitalen Geländemodell (DGM), die Visualisierung von Fließpfadenetzen auf Feldstücken, Setzen von Staueinrichtungen und Berechnungen von Teileinzugsgebieten.

Am 31.07.2024 folgte eine Präsenz-Schulung an der LfL in Freising. Das Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV) stellte sich vor und gab einen Überblick über ihre Ressourcen und verfügbare Geodaten. Im Anschluss wurde die Stauzielnachweis-Methodik in QGIS durch die LfL wiederholt.

Um das Gelernte zu festigen, wurden im November und Dezember 2024 drei weitere Online-Termine zur Berechnung der förderfähigen Fläche in QGIS angeboten.

Tabelle 7.2: Liste von Veröffentlichungen im Rahmen von MoorBewi

Veröffentlichung	Institution
Flyer „Morbodenschutz mit Landwirtschaft“	①
Saatguteinsatz für wassergeregeltes Mahd-Grünland auf Niedermoorstandorten auf der Internetseite: Moorverträgliche Bewirtschaftungsmaßnahmen – Saatguteinsatz	①
Kapitel: Produktionszweig Nachhaltigkeit: Landwirtschaft im Moor im LfL-Magazin 2022: Denkfabrik für Nachhaltigkeit	①

Tagungsbandbeitrag zur 65. Jahrestagung der AG Grünland und Futterbau (AGGF), „Nassgrünlandnutzung auf wiedervernässten Niedermoorstandorten mit Steuerung des Grundwasserstandes und der Etablierung von nässeangepassten Saatgutmischungen zur Raufutterproduktion“	①
Beitrag in Radiosendung im BR „Der Torfkörper schwindet – wann kommt die Hilfe für das Moor?“	①, ④
Beitrag zum Wochenblatt 44-2022 „Nasse Füße für Pflanzen und Tiere“	①, ③, ④
Erweiterung der Bayerische Qualitätssaatgutmischungen für Grünland und Feldfutterbau	①
Beitrag zum Wochenblatt 3-2024 „Nasse Moorböden wirtschaftlich nutzen“	①
Musterfoliensatz „Moorverträgliche Bewirtschaftung“, wird nach finaler Abstimmung auf der PSC Webseite zu finden sein	①, ③
Begleitdokument zum Musterfoliensatz „Moorverträgliche Bewirtschaftung“, wird nach finaler Abstimmung auf der PSC Webseite zu finden sein	①, ③
Artikel Schule und Beratung (7-8/2023) „Forschung für angepasste Landnutzung auf Moorböden“	①, ③
Erfassung von Zeigerpflanzen für den Nässenachweis auf Moorböden (LfL-Information; 02/24)	①
Maßnahmen zur Wasserstandsanehebung für eine moorbodenverträgliche Landwirtschaft (LfL-Information; 02/24)	①
Technischer Leitfaden zur Wasserstandsanehebung in landwirtschaftlich genutzten Niedermooren (LfL-Information; 11/24)	①
Tagungsbandbeitrag zur 66. Jahrestagung der AG Grünland und Futterbau (AGGF), „Nassgrünlandnutzung auf wiedervernässten Niedermoorstandorten - Versuchsergebnisse aus Bayern“	①
Artikel im Magazin „Ländliche Räume“ Herausforderungen und Chancen von Paludi-Baustoffen	④

Tabelle 7.3: Multimediale Präsentationsformate im Rahmen von MoorBewi

Datum	Präsentationsformat	Institution
2024	Video Säulen PSC (das Video wird nach finaler Abstimmung auf der PSC Webseite zu finden sein)	③
2023 2024	- Instagram Posts zur Moorbewirtschaftung	③
2024	LfL Pflanzenquartett „Pflanzenvielfalt im Grünland – vom trockenen Hang zum nassen Moor“	①

2024	Ausstellung im Bauernhausmuseum Erding – „Moore im Wandel – gestern, heute, morgen“	①, ③
2024	Start eines Konzeptes für Ausstellungstafeln in Karolinenfeld	③
2024	Videos zur Ernte mit Praxistechnik im Nassgrünland	①
2024	Video zur Erntevorführung mit Spezialtechnik in Paludikulturen	⑤

Erläuterung einzelner Präsentationsformate:

Der in Tabelle 7.2 angesprochene **„Musterfoliensatz „Moorverträgliche Bewirtschaftungsmaßnahmen“** ist ein umfassender Foliensatz zu den Grundlagen von Mooren, deren Wiedervernässung und verschiedenen Nutzungsformen, welcher speziell für die Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (ÄELF) erstellt wurde. Er wurde gemeinsam von dem Peatland Science Centre (PSC) und der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) erarbeitet und bietet einen detaillierten Überblick über dieses wichtige ökologische Thema. Der Foliensatz beginnt mit einer Einführung in die Grundlagen von Mooren, einschließlich ihrer Entstehung, ökologischen Bedeutung und des aktuellen Zustands in Bayern. Anschließend werden die Prozesse und Strategien zur Wiedervernässung von Mooren erläutert, wobei verschiedene Techniken und ihre Auswirkungen auf die Umwelt diskutiert werden. Ein wesentlicher Teil des Foliensatzes widmet sich den unterschiedlichen Nutzungsformen von Mooren. Dabei werden sowohl Anbau-Paludikulturen, Nassgrünland als auch Beweidungsmethoden vorgestellt und anhand verschiedener Kriterien wie Klimaschutz, Biodiversität und Wirtschaftlichkeit bewertet. Abschließend wird das Moorbauernprogramm vorgestellt. Dieses Programm zielt darauf ab, Landwirten finanzielle und beratende Unterstützung für die nachhaltige Bewirtschaftung wiedervernässter Mooregebiete zu bieten.

Ergänzend zum Foliensatz wurde von den Projektverantwortlichen des PSC-HSWT und der LfL ein umfangreiches **Begleitdokument** konzipiert, das die einzelnen Präsentationsfolien detailliert erläutert und mögliche Verständnisfragen adressiert. Dieses Zusatzdokument soll den Mitarbeitern der ÄELF eine vertiefte Interpretation der Inhalte ermöglichen und bietet wissenschaftlich fundierte Hintergrundinformationen zu den komplexen Themenfeldern der moorverträglichen Bewirtschaftung. Damit soll sichergestellt werden, dass die Inhalte des Foliensatzes nicht nur präsentiert, sondern auch vollumfänglich verstanden und in der Praxis umgesetzt werden können.

Das sogenannte **„Säulenvideo“** präsentiert einen innovativen Versuchsaufbau des PSC, der die CO₂-Messung auf Moorböden im Kleinformat demonstriert. In der Praxis werden solche Messungen üblicherweise mit großen Hauben (78 x 78 x 50 cm) direkt in Mooren durchgeführt, um Emissionen aus Moorböden zu berechnen und zu modellieren. Der Versuch besteht aus drei Säulen mit authentischen Bodenprofilen, die dem Murnauer Moos in Bayern entnommen wurden. Jede Säule repräsentiert ein unterschiedliches Szenario: eine entwässerte Säule, eine wiedervernässte Säule mit moortypischer Vegetation und eine wiedervernässte Säule mit moortypischer Vegetation und reduzierter Pflanzenbiomasse. Diese Säulen simulieren die Auswirkungen von Entwässerung und Wiedervernässung auf Moorböden. Ursprünglich konzipiert für Messepräsentationen, bei denen eine persönliche Erläu-

terung erforderlich war, wurde das Video als effiziente Alternative entwickelt. Es veranschaulicht detailliert den Versuchsaufbau und stellt den Bezug zur realen Moorforschung her. Dieses Video läuft bereits in der Ausstellung in Erding.

Die erwähnte **Ausstellung** „Moore im Wandel – gestern, heute, morgen“ im Erdinger Bauernhausmuseum war bis Oktober 2024 samstags, sonntags und feiertags von 10-17 Uhr geöffnet. Kleine und große Moorinteressierte konnten sich hier über die Geschichte der Moore rund um Erding informieren, gleichzeitig gab es Einblicke in die Forschung zur Klimarelevanz von Mooren und neue landwirtschaftliche Ansätze zur zukunftsfähigen Moornutzung zum Anfassen. Die Moorausstellung entstand als Zusammenarbeit vom Landkreis Erding mit dem Bauernhausmuseum und dem PSC-HSWT, der LfL und dem Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Ebersberg-Erding und ist ein interaktives Angebot rund um die Vergangenheit und Zukunft der Moornutzung. Mehr Infos unter https://www.landkreis-erding.de/media/26465/2024_moorfl_online.pdf

7.2 Demonstration von einsetzbarer Landtechnik (LfL)

Im Projektverlauf wurden vom ILT bayernweit 16 Betriebe betreut und somit diverse Informationen zu den aktuell eingesetzten Verfahrenstechniken auf nassen Moorböden generiert. Teile dieser Verfahrenstechniken wurden in 9 Kurzvideos dargestellt und sind auf dem YouTube Kanal der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft – @BayLfL - veröffentlicht worden (siehe <https://www.youtube.com/@BayLfL/videos>). Darin werden folgende Verfahrenstechniken – hauptsächlich zur Streunutzung – vorgestellt:

- Mähen von Streuwiesen mit Einachsmäher mit Doppelmesser
- Mähen von Streuwiesen mit selbstfahrendem Mähtraktor mit Doppelmesser
- Mähen von Streuwiesen mit Traktor mit Zwillingsreifen und Scheibenmähwerk
- Schwaden von Streuwiesen mit selbstfahrendem Mähtraktor und Bandrechen
- Schwaden von Streuwiesen mit Traktor mit Zwillingsbereifung und Zweikreisel Seitenschwader
- Pressen von Streuwiesen mit Traktor mit Breitbereifung und Presse mit Gitterrädern
- Traktor mit Zwillingsbereifung und drei Ballengabeln
- Landschaftspflege im Moor mit einer Multifunktionsraupe zum Mähen mit Doppelmesser
- Landschaftspflege im Moor mit einer Multifunktionsraupe mit Schild zum Räumen

Dabei wurde deutlich, dass aktuell viel Initiative und Eigenkreation der Landwirte bei allen Verfahrensschritten erforderlich sind. In Bayern werden je nach Möglichkeit und Förderung unterschiedliche Techniken zur Moorbewirtschaftung eingesetzt. Häufig vertreten sind kleinere Traktoren meist mit Doppelbereifung oder Einachstraktoren jeweils mit unterschiedlichen Um- und Anbauten. Die Tragfähigkeit von nassen Moorflächen ist je nach Vernässungsgrad und Jahr bzw. Jahreszeit der Ernte sehr gering. Daher sind spezielle Umrüstungen oder Neubauten auch der Techniken für die unterschiedlichen Verfahrensschritte zur Gewichtsminimierung notwendig. Techniken, die sozusagen „von der Stange“ erworben werden können, wurden an der Versuchsstation Karolinenfeld eingesetzt und getestet.

7.3 Felddtage (ARGE, DMZV)

7.3.1 Schwäbisches Donaumoos (ARGE)

Am 2. und 3. Oktober 2021 fand im Schwäbischen Donaumoos ein Felddtag in Leipheim statt, der zur Vernetzung von Moorspezialisten aus ganz Deutschland diente. Bei der begleitenden Ausstellung wurden viele Maschinen für die Bearbeitung nasser Flächen gezeigt und Themen wie die extensive Beweidung dargestellt. Sogar ein mobiler, mittlerweile EU-zertifizierter Schlacht-Anhänger wurde präsentiert. Unterschiedliche Institutionen aus Bayern (Regierung von Schwaben, LfU, DVL, LfL) fanden hier die Möglichkeit, sich zu dem Thema Wiedervernässung von Mooren sowie deren Verwertungsmöglichkeiten zu präsentieren, ebenso war das Greifswald Moor-Centrum (GMC) mit einem Tinyhouse vertreten, das aus Materialien besteht, die im Moor wachsen (Rohrkolben, Schilf, Gräser und Eschen). Der Höhepunkt für viele war sicher die sehr gut besuchte Podiumsdiskussion u.a. mit dem Umweltpräsident des Bayerischen Bauernverbandes, die sogar in einer gemeinsamen „Leipheimer Erklärung“ zur Unterstützung nasser Moorbewirtschaftung zum Schutz des Klimas mündete.

7.3.2 Altbayerisches Donaumoos (DMZV)

Ende November 2024 fand auf der Versuchsfläche des MOORuse-Projektes im bayerischen Donaumoos eine vom Donaumoos-Zweckverband organisierte Erntevorführung statt. Hierzu wurden zahlreiche Moorschutz-Akteure, Landwirte, Lohnunternehmer, Vertreter der Naturschutz- und Landwirtschaftsbehörden, Pressevertreter, Kommunalpolitiker und interessierte Bürger eingeladen.

Gezeigt wurde das Spezial-Raupenfahrzeug Softrak 140 von Log-logic (www.wellink-equipment.com) mit 140 PS, Gummiraupenlaufwerk und 1,70 m Arbeitsbreite. Dieses ermöglicht das Mähen und Aufnehmen der Paludikulturen in einem Arbeitsgang. Vom Schlegelmäher aus wird das Schnittgut durch ein Schneidwerk befördert und per Wurfrad und Wurfrühr in den aufgebauten Bunker befördert. Dieser ist kippbar und fasst ca. 11 m³. Von dem mitgeführten Bunker wurde das Erntegut am Feldrand in einen Container überladen und anschließend damit abtransportiert.

Für die Beerntung der kompletten Moorversuchsfläche (ca. 5 ha) benötigte das Spezialfahrzeug zwei Tage. Sowohl Rohrglanzgras, als auch Seggen und Rohrkolben ließen sich mit dem Schlegelmäher gut beernten. Die Schnittlänge des Ernteguts war etwas inhomogen, was bei speziellen Verwertungsschienen möglicherweise nicht ideal ist, bzw. eines weiteren Häckselvorgangs bedarf.

Aufgrund des geringen Gewichts des Basisfahrzeugs (ca. 3,3 t) und des Mähvorsatzes (ca. 0,7 t) weist die Spezialerntetechnik einen sehr geringen Bodendruck (rd. 115 g/cm²) auf. Die durch das Raupenlaufwerk erwarteten Scherkräfte halten sich in Grenzen, hängen jedoch stark von der Umsicht des Maschinenführers ab. Für eine großflächige und schlagkräftige Ernte mit einer stofflichen Verwertung des Materials wäre es zielführend zur Erntetechnik weitere Optimierungen vorzunehmen. Zum Mäh- und Häckselvorsatz wäre ein glattes Schnittbild für den Neuaustrieb der Kulturen und homogenere Häcksellängen für die nachgelagerte Verwertung wünschenswert. Zum anderen müsste die Schlagkraft durch eine größere Arbeitsbreite und ein deutlich vergrößertes Bunkervolumen erhöht werden. Mit einem erhöhten Ladevolumen könnten vor allem die häufigen Umkehrvorgänge und Zwischenabladungen verringert werden. Die Überladehöhe sollte zudem auf die gebräuchlichen größeren Transportmittel (LKW, Ladewägen, Abschieber,...) angepasst werden

7.4 Entwicklung der Versuchsstation Karolinenfeld zu einem Moorversuchsgut (BaySG)

Im Rahmen des Projektes MoorBewi ließen sich umfangreiche Investitionen in nässeangepasste Technik und in Infrastruktur tätigen. Dabei konnten Maschinen für den Parzellenversuch beschafft werden sowie Technik für den Einsatz auf den zukünftig wiedervernässten Betriebsflächen (siehe Abschnitt 3.3.7). Somit sind die Voraussetzungen geschaffen, um auch weiterhin Parzellenversuche anzulegen und zu betreuen. Zugleich können Versuchsergebnisse auf den Betriebsflächen der Station beispielhaft in die Praxis umgesetzt und in der Beratung genutzt werden. Die musterhafte und vorbildliche landwirtschaftliche Nutzung eines wiedervernässten Moorkörpers stellt dabei das übergeordnete Ziel dar.

Durch den Bau von regelbaren Stauschächten steht eine rd. 13 ha große Fläche zur Durchführung von Parzellenversuchen bereit. Die hier errichtete, aufwändige Infrastruktur bietet die Möglichkeit, Versuche bei einer kontrollierten und standardisierten Wasserführung anzulegen. Zur weiteren Absicherung der Versuchsdurchführung wurden Maßnahmen zur zusätzlichen Bewässerung und Wasserspeicherung getroffen. Aus Mitteln des PSC wurde zudem auf den Versuchsflächen eine Eddy-Kovarianz-Station errichtet, die kontinuierlich die Flüsse von CO₂ und CH₄ misst.

Für die Umsetzung einer möglichst großflächigen, gegebenenfalls regelbaren Wiedervernässung legt eine Machbarkeitsstudie die Grundlagen (siehe Abschnitt 2.1.1.2). Darauf aufbauend muss die Station zukünftig einfache Wege der Wiedervernässung aufzeigen. Ein erster Hersteller kostengünstiger Stauschächte wurde bereits kontaktiert. Die Flächen- und Raumausstattung der Station würde es zudem erlauben, auch großflächige Vorhaben (Moorfreiflächen-PV-Anlagen, Agri-PV, KUP) umzusetzen. Als weitere Infrastrukturmaßnahme ist die Einrichtung zahlreicher Grundwassermesspegel zur Dokumentation der Auswirkungen der Wiedervernässungsmaßnahmen auf die Grundwasserstände zu nennen.

Die BaySG streben an, vorhandene Gebäude so umzunutzen, dass kommenden Forschungsvorhaben geeignete Räumlichkeiten (Büros, Übernachtungs-, Arbeits- und Lagerräume) zur Verfügung stehen. Zudem ist geplant, eine Trocknung zu errichten, um die Aufwüchse der Grünland- und Paludikulturversuchsflächen für wissenschaftliche Untersuchungen, Konzeptstudien zur Verwertung, oder für Landwirte aufzubereiten. Auch die Einrichtung von Besprechungs- und Ausstellungsräumen ist vorgesehen, um neben dem Forschungsbetrieb auch den Wissenstransfer zu unterstützen und Raum für Schulungen und Ausbildung zu bieten. Das PSC der HSWT, die LfL und die BaySG haben sich darauf verständigt, die Station zukünftig im Rahmen von Forschungsprojekten und Messkampagnen zu nutzen. Die BaySG wird die Belegschaft der Station und die vorhandene Infrastruktur vorrangig für die Unterstützung der Forschungsaktivitäten einsetzen.

Die nächsten Schritte des Moorversuchsgutes sind eine flächige nasse Bewirtschaftung. Dazu kann es erforderlich sein, auch Maßnahmen der Wassereinleitung vorzusehen. Gerade bei Starkregen oder in Trockenperioden ist die puffernde Funktion von Nassgrünland oder Paludikulturen von großer Bedeutung. Im Folgeprojekt KARO-Moor wird angestrebt, diese Forschungslücken zu schließen.

7.5 Fazit Wissenstransfer (PSC-HSWT)

Die Evaluation der Wissenstransfer-Aktivitäten im Rahmen des Projekts MoorBewi ergab Erkenntnisse über die Effektivität und Reichweite der Bemühungen.

Die Reichweite der Maßnahmen war gerade bei den Führungen, den Vorträgen und den Tagungen insgesamt beträchtlich. Die Führungen und Vorträge erreichten durchschnittlich 15-25 Teilnehmer pro Veranstaltung. Die digitalen Formate, insbesondere die Videos und Social-Media-Beiträge, erzielten ebenfalls eine gute Reichweite mit durchschnittlich 150-250 Aufrufen pro Beitrag.

Die Rückmeldungen, die das Projekt MoorBewi erhalten hat, waren sehr positiv. Besonders geschätzt wurden die Praxisnähe der Führungen und die Möglichkeit zum direkten Austausch mit Experten. Die Flyer und Ausstellungen wurden als informativ und gut verständlich bewertet.

Die Evaluation zeigte auch, dass verschiedene Zielgruppen unterschiedlich auf die Formate reagierten. Während Fachpublikum die wissenschaftlichen Artikel und Fachvorträge bevorzugte, wurde die breite Öffentlichkeit am effektivsten durch interaktive Ausstellungen und kurze Videoformate erreicht. Landwirte und lokale Akteure schätzten besonders die praktischen Vor-Ort-Demonstrationen und Workshops.

Ein wichtiger Indikator für den Erfolg des Wissenstransfers war die zunehmende Vernetzung und Kooperation zwischen den verschiedenen Institutionen. Außerdem hat sich die Wahl der verschiedenen Kommunikationsstrategien als das richtige Vorgehen herausgestellt, da so mehr und verschiedene Interessensgruppen erreicht werden konnten.

Herausforderungen zeigten sich vor allem bei den schriftlich zu veröffentlichen Medien, da es hier zu langwierigen Abstimmungen gekommen ist, da alle Beteiligten gehört werden und deren Meinung mit einbezogen werden muss.

Insgesamt wird der Wissenstransfer als erfolgreich bewertet, da er wesentlich zur Sensibilisierung für die Bedeutung von Mooren und zur Verbreitung von Fachwissen beigetragen hat. Jedoch können in der Zukunft die Abstimmungen um die verschiedenen Medien effizienter und etwas zielgerichteter gestaltet werden. Ein genauer Plan zum Start des Wissenstransfers, mit Themen, die behandelt werden sollen und mit welchem Medium diese bespielt werden, könnte hierbei hilfreich sein.

8 Verwertungsmöglichkeiten der Ergebnisse und Erfolgsaussichten nach Projektende

8.1 Aktuelle Verwertung der Ergebnisse

Die derzeitige Nutzung der Moorböden ist aufgrund der starken bodenphysikalischen Degradation der Böden und der Torfzehrung endlich. Die LfL schätzt, dass bis zu einem Drittel der landwirtschaftlich genutzten Moorfläche noch in dieser Landwirtsgeneration unwirtschaftlich werden könnte. Das MoorBewi Projekt war in vielfältiger Weise in verschiedenen Moorregionen Bayerns eng im Austausch mit Landwirten: als Partner- und Demobetriebe, als Diskussionspartner, bei Feldtagen und Vorträgen. In allen Gebieten wurden in jedem Projektjahr in vielen Kulturen und im entwässerten Dauergrünland Ertragseinbußen in Menge und/oder Qualität durch Witterungsextreme, fehlende Befahrbarkeit zu wichtigen Zeitpunkten und episodischen Überstau berichtet. Daher ist es im Sinne der langfristigen Nutzbarkeit, wenn sich die landwirtschaftliche Praxis zügig in Richtung Moorverträglichkeit entwickelt. Die Landwirte zeigen sich offen für alternative Anbauverfahren bis hin zu Paludikulturen, reagieren aber derzeit aufgrund unklarer rechtlicher Rahmenbedingungen und vor allem unklarer Rentabilität noch abwartend.

Das MoorBewi Projekt hat wichtige Wissenlücken im Hinblick auf eine sichere Beratung und Umsetzung von moorverträglichen Bewirtschaftungsformen geschlossen:

- erfolgreiche technische Verfahren zur Wasserstandsanhebung und -regelung, veröffentlicht in zwei Leitfäden
- ertragsstabile Grünland-Saatmischungen, die eine Futternutzung in Rinderhaltenden Betrieben ermöglichen, als bayerische Qualitäts-Saatgutmischung auf dem Markt verfügbar
- preisgünstigere Optionen zur Etablierung von Seggen im Dauergrünland zeichnen sich ab. Die Direktpflanzung ist möglich, wenn ein mehrjähriger Umbau der Vegetation akzeptabel ist.
- Prototypen für Produkte aus Nassgrünland und Paludikulturen wurden erfolgreich entwickelt und getestet und sind bereit für die nächsten Schritte zur Marktreife. Papier- und Baustoffoptionen haben sich als besonders nah an der Marktreife erwiesen.
- Das BaySG Versuchsgut Karolinenfeld hat sich zu einer wichtigen Instanz im Wissenstransfer für moorverträgliche Bewirtschaftungsformen entwickelt.
- Es konnte mit Treibhausgasmessungen nachgewiesen werden, dass alle vorgeschlagenen Handlungsoptionen Beiträge zum Klimaschutz leisten.
- Das MoorBewi Projekt hat wichtige Fachgrundlagen und Arbeitshilfen für das Moorbauernprogramm des StMELF geschaffen, insbesondere für die KULAP-Maßnahmen M12, M14 und M16.

8.2 Erfolgsaussichten nach Projektende und Ausblick

Das MoorBewi Projekt hat bereits vielfältige Formate und Materialien für den Wissenstransfer entwickelt. Sie werden unter anderem eingesetzt, um die Umsetzung des Moorbauernprogramms und die KliMo-Berater an den ÄELF zu unterstützen. Sie stoßen auch über Bayern hinaus auf positive Resonanz. Viele Projektergebnisse sind erst gegen Projektende entstanden, Teile sind noch nicht fertig ausgewertet. Die Landtechnik-Untersuchungen fließen in parallele und zukünftige Auswertungen im MoorWERT Projekt und weitere beantragte Aktivitäten ein. Im KAROMoor-Projekt und im Rahmen der Fachunterstützung der

LfL für das Moorbauernprogramm und die KliMo-Berater und im Rahmen des Wissens-transfers am PSC werden die Ergebnisse weiter allgemeinverständlich, kurz und zielgruppenorientiert aufbereitet werden.

Die im MoorBewi-Projekt durchgeführten Treibhausgasmessungen unterstützen perspektivisch eine genaue Bilanzierung der Klimaschutzleistung durch das Moorbauernprogramm oder andere Moorschutzmaßnahmen auf landwirtschaftlichen Flächen. Sie haben Lücken bei bislang nicht untersuchten Nutzungs- und Handlungsoptionen geschlossen und gezeigt, dass in Bayern auch bei relativ tiefen Wasserständen bereit erste Schritte zum Klimaschutz erreicht werden. Die Messdaten legen zusammen mit den in Vorläufer- und Parallelprojekten erzielten Daten eine präzise regionale Fachgrundlage für zukünftige CO₂-Zertifikate durch Moorschutzmaßnahmen.

Mit den Projektergebnissen wurde eine breitenwirksame Umsetzung von moorverträglichen Bewirtschaftungsformen fachlich vorbereitet.

Für die Aufwüchse von Nassgrünland gibt es in der Wiederkäuerfütterung Verwertungsmöglichkeiten. So sind z.B. alle Frischgrasaufwüchse grundsätzlich zur Strukturergänzung für die Fütterung von Milchkühen und in größeren Anteilen für die Fütterung von Jungvieh ab einem Alter von 9 Monaten, Trockenstehern und Schafen geeignet. Für eine bedarfsgerechte Fütterung sollte das Futter vorher auf Inhalts- und Mineralstoffe untersucht werden. Für Betriebe, welche Aufwüchse von wiedervernässtem Grünland in ihr Fütterungssystem einbauen bzw. Futter von solchen Flächen an andere Betriebe abgeben, sollte, neben einer schonenden und sauberen Ernte (bei sicher nicht immer einfachen Witterungs- und Bodenbedingungen) eine Nähr- und Mineralstoffanalyse Standard sein bzw. werden.

Hinsichtlich der landtechnischen Optimierungsmöglichkeiten sollten Strukturen weiter ausgebaut werden, damit sich Betriebe, Forschungseinrichtungen, Verbundpartner (Maschinenringe, LKP, LKV) und Landschaftspflegeverbände laufend austauschen können und dadurch die Bewirtschaftung von Nassgrünland sowie Paludikulturen stetig weiterentwickelt werden kann.

Bei den Paludikultur-Etablierungsversuchen wurden im Projekt MoorBewi Daten gesammelt, die eine detailliertere Auswertung dieser Versuche am Peatland Science Centre erlauben. In der Folge der durchgeführten Versuche ergeben sich bereits Fragestellungen zur weiteren Verbesserung der umbruchslosen Pflanzung von Seggen im Nassen, nach der Reduktion der benötigten Pflanzenmenge bei Mulchpflanzung (in Stroh) sowie der arbeitswirtschaftliche Vergleich der vegetativen Vermehrung in verschiedenen Varianten mit oder ohne Ballenbildung im Gewächshaus. Eine weitere interessante Option ist es, zuerst eine Vernässung durchzuführen und die Saat von Paludikulturpflanzen erst danach anzustreben, nachdem der Wasserstand zuverlässig eingestellt ist. Dies sollte bspw. per Drohne getestet werden. Eine Fortsetzung von Teilen der Paludikultur-Etablierungsforschung wird im Projekt KAROmoor stattfinden, bei dem eine großflächige Vernässung des Versuchsgutes Karolinenfeld angestrebt wird. Eine praktische Anwendung der Direktpflanzung nach Wiedervernässung wird vom Peatland Science Centre in bayerischen Solarpark-Projekten auf Moorböden angestrebt.

Die Saatgutverfügbarkeit für *Carex acutiformis* bleibt weiterhin ein zentrales Hemmnis für eine größerflächige Verbreitung dieser vielversprechenden neuen Kultur. Hier gibt es Entwicklungsbedarf bei der Ernte der Samen.

Carex acutiformis wird derzeit nur in Bayern erforscht und vorangetrieben. Die Kultur ist unter süddeutschen Rahmenbedingungen wegen der hohen stabilen Biomasserträge, der Robustheit bei stark variablen Grundwasserständen, der besonders hohen Synergien mit der standorttypischen Biodiversität und dem Wiesenbrüterschutz von besonderem ökologischen und regionalen Interesse. Sie sollten prioritär weiter unterstützt und untersucht werden - von der Samengewinnung bis zu Paludikulturprodukten, die die Eigenschaften der Segge besonders nutzen.

Für einen Durchbruch in der Verwertung von Paludikulturen und Nassgrünlandaufwuchs würde ein Zugang der produzierenden Unternehmen zu den durch Wiedervernässungsmaßnahmen generierten CO₂-Zertifikaten auf der Moorfläche helfen. Zu erarbeiten wäre wie dieser Zugang bzw. die Aufteilung und Anrechnung der Zertifikate funktionieren könnte. Ein passendes Model ist noch nicht gefunden. Der Aufbau einer allgemeinen Paludimarke würde die Vermarktung in gleichem Maße unterstützen. Dafür müssten Standards entwickelt werden und geklärt werden, wer für die Marke einträgt und sie nutzen darf. Zur Sicherung einer für Industrieprozesse tauglichen Verfügbarkeit von Rohware wären regionale Aufbereitungsstätten der geernteten Aufwüchse wichtig. Hier stellt sich die Frage wer könnte an solchen Investitionen beteiligt sein und welche Organisationsstruktur würde sich dafür am besten eignen. Ein weiterer Meilenstein wäre ein kostengünstiges und energieeffizientes Verfahren zur Trocknung von im Spätherbst und Winter geernteten Aufwüchsen, die nicht mehr auf der Fläche getrocknet werden können. Insgesamt ergeben sich aus den Pilotversuchen große Potenziale für zukünftige Märkte in der Bioökonomie. Fragen zur Entwicklung der Produkte bis zur Serienreife und zur Markteinführung. Dies führt zwangsläufig auch zur Frage, welchen Beitrag die einzelnen Akteure entlang der Wertschöpfungskette bis hin zum Endkunden bereit sind mehr zu zahlen im Vergleich zu konventionellen Produkten, um mit der Arbeit mit diesen Materialien bzw. mit dem Kauf von Produkten gleichzeitig auch den Klimaschutz zu unterstützen. Während die Resonanz für neu entwickelte Paludiprodukte zunächst oft positiv ist, bleibt der Nachweis abzuwarten, wie tragfähig derartige Geschäftsmodelle langfristig sind.

Vielversprechende Produkte könnten bereits bei wenigen hundert Hektaren Anbaufläche mit regionalen Verarbeitungslinien starten. Um ein Mindestmaß an Nachfrage zu sichern, könnten Abnahmeverträge, z.B. für Beschaffungen der öffentlichen Hand oder großer Unternehmen helfen. Interessant könnten auch Verarbeitungslinien sein, die alternativ mit Biomasse anderer Herkunft funktionieren, z.B. mit Stroh, Landschaftspflegematerial oder insbesondere Material aus bereits nassen Moorflächen.

Das MoorBewi Projekt war sehr umfangreich und hatte ungewöhnlich viele Partner mit komplementärer Expertise im Moor. Die Größe, Breite und fachliche Vielfalt im Projekt ist ein wesentlicher Grund dafür, dass in allen Bereichen substanzielle neue Ergebnisse und Fortschritte für die Umsetzung einer moorverträglichen Bewirtschaftung innerhalb kurzer Zeit geschaffen wurden. Es entstand viel gegenseitiges Verständnis, Wissen und ein sehr konstruktives Netzwerk von Aktiven. Gleichzeitig sind viele Partner in die parallel entstandenen bundesweiten Netzwerke der neun großen Pilotvorhaben zum Moorschutz eingebettet. Während der bundesweite Austausch durch Vernetzungsprojekte wie „PaludiZentrale“ abgesichert ist, bleibt es eine bislang offene langfristige bayerische Aufgabe, das wachsende Netzwerk der Aktiven im Bereich der moorverträglichen Landwirtschaft organisatorisch und fachlich zu betreuen und weiterzuentwickeln und das entstandene Vertrauen zum Nutzen der Landwirtschaft zu erhalten und skalieren.

9 Danksagung

Neben den Projektpartnern haben viele weitere Institutionen und Personen zum erfolgreichen Abschluss des Projekts MoorBewi beigetragen.

Wir danken zunächst allen, die ihre landwirtschaftlichen Flächen zur Durchführung von Feldversuchen bereitgestellt haben, namentlich u.a. Hrn. Ziegeltrum und Hrn. Büchler aus dem Freisinger Moos, Familie Eller, Hrn. Humboldt und Hrn. Brunner aus dem Bayerischen Donaumoos, Hrn. Demmel, Hrn. Haslinger und dem Zentrum für Umwelt und Kultur (ZUK) aus Benediktbeuern; Hrn. Krauss und Hrn. Mayer aus dem Schwäbischen Donaumoos. Ebenso sei den zahlreichen Praxisbetrieben, welche dem Institut für Landtechnik und Tierhaltung Einblick in die Bewirtschaftung ihrer Moorflächen gegeben haben, herzlich gedankt. Zudem richtet sich unser Dank an alle Personen, welche die anspruchsvollen Feldversuche im Projekt tatkräftig unterstützt haben. Dies umfasst insbesondere die studentischen Hilfskräfte an der LfL für ihre Mithilfe bei den Ernteterminen der Nassgrünlandfeldversuche. Gleiches gilt für Teilnehmenden des Bundesfreiwilligendienstes und des Freiwilligen ökologischen Jahres an der HSWT, ohne sie wäre die Durchführung der technisch-personell sehr aufwändigen Treibhausgasmessungen und die Bewirtschaftung der Paludikulturen nicht möglich gewesen.

Weiterhin gilt unser Dank Hrn. Kammerloher, Herrn Frigan und Hrn. Funke von der LfL für den Bau des Stauwehres auf der Versuchsstation Karolinenfeld, Hrn. Rauschenberger vom Donaumoos-Zweckverband für die Einbindung der Versuche in die Wiedervernässung am Langenweiher, Fr. Dr. Heuberger, Fr. Chaluppa und ihren Kolleginnen und Kollegen vom Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung an der LfL für die Unterstützung bei der Planung der Keim- und Gewächshausversuche für die Paludikulturen, Hrn. Dr. Lohr, Fr. Gleißner und Hrn. Born und ihren Kolleginnen und Kollegen vom Institut für Gartenbau Weihenstephan (HSWT-IGBW) für die Ermöglichung der Durchführung einer Bachelorarbeit im Rahmen des Projektes, die Nutzung ihres Gewächshauses für Anzucht und Versuche und die stete Unterstützung bei deren Planung und Pflege und Hrn. Urgibl und die Mitarbeiter vom BaySG Standort Osterseon für die Maschinenleihe und praktische Unterstützung bei der Versuchsanlage.

Wir danken außerdem allen Anrainern der Untersuchungsflächen, die ihr Einverständnis für die Wasserstandsanhebung gegeben haben. Wir danken auch den am Projekt beteiligten Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten sowie den Landrats- und Wasserwirtschaftsämtern für die konstruktive Zusammenarbeit.

In Hinblick auf die Auswertung der Feldversuche danken wir Hrn. Eckl und seinem Team vom Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der LfL für die Unterstützung bei der statistischen Analyse der Nassgrünlandversuche in Karolinenfeld.

Unser Dank gilt weiterhin den Kolleginnen und Kollegen des Labors für Futtermittelanalytik in Grub für die präzise und schnelle Durchführung der zahlreichen Analysen der Nassgrünlandaufwüchse sowie Fr. Brandl, Fr. Misthilger, Fr. Schneider, Hrn. Dr. Schuster und Fr. Dr. Harms vom Institut für Tierernährung der LfL für die Unterstützung bei der Interpretation dieser Daten unter dem wichtigen Aspekt der Tierernährung. Ebenfalls danken wir Hrn. Dr. Blum und Fr. Kern von der Landesanstalt für Forstwirtschaft für die wasseranalytischen Untersuchungen und ihre Expertise bei der Diskussion der Ergebnisse.

Spezieller Dank auch an Hrn. Dr. Eickenscheidt von der HSWT für die Unterstützung bei der Berechnung der Treibhausgasbilanzen.

Ein Projekt verdankt seinen Weg von allerersten Umsetzungsprozessen bis hin zum erfolgreichen Abschluss auch allen, die nach außen hin kaum in Erscheinung treten, ohne deren Unterstützung es jedoch gerade bei den formal komplexen heutigen Anforderungen an ein Projekt nicht geht. Unser Dank gilt daher allen Kolleginnen und Kollegen an der LfL, den BaySG, der HSWT, der ARGE Donaumoos und dem Donaumoos-Zweckverband, die zu einer korrekten Abwicklung von Personalangelegenheiten, Beschaffungen, Mittelweiterleitungen, Erstellungen von Verträgen, Internetauftritten etc. beigetragen haben.

Es kann nicht ausbleiben, dass bei einem so großen Projekt Personen in einer Danksagung namentlich ungenannt bleiben. Wir bitten hier um Nachsicht, möchten aber betonen, dass all diese genauso in unseren Dank herzlich eingeschlossen sind.

Posthum danken wir Herrn Hans Pflügler, der vom Juli 2021 bis Mai 2024 auf der Versuchsstation Karolinenfeld der BaySG im Rahmen des Projektes mit der Koordination der Umstellung des Betriebs auf eine moorverträgliche Landbewirtschaftung betraut war. Mit seiner Tatkraft und seinem großen Engagement hat er entscheidend zum Erfolg des Vorhabens beigetragen. Nach einer schweren Krankheit ist er im Juni 2024 verstorben. Wir bewahren sein Andenken voller Anerkennung und Dankbarkeit.

Zu guter Letzt gilt unser Dank dem bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus für die Finanzierung des Projekts, aber auch für die durchgehend konstruktive Unterstützung bei der Projektbearbeitung, insbesondere bei Projekt- und Kostenplanänderungen.

10 Literatur

AMBERGER, A., 1996. *Pflanzenernährung. Ökologische und physiologische Grundlagen; Dynamik und Stoffwechsel der Nährelemente ; 90 Tabellen*. 4., völlig neubearbeitete Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer. UTB für Wissenschaft Uni-Taschenbücher Agrarwissenschaft. 846. ISBN 3-8001-2701-6.

AUBINET, M., A. GRELLE, A. IBROM, Ü. RANNIK, J. MONCRIEFF, T. FOKEN, A.S. KOWALSKI, P.H. MARTIN, P. BERBIGIER, CH. BERNHOFER, R. CLEMENT, J. ELBERS, A. GRANIER, T. GRÜNWALD, K. MORGENSTERN, K. PILEGAARD, C. REBMANN, W. SNIJDERS, R. VALENTINI und T. VESALA, 1999. *Estimates of the Annual Net Carbon and Water Exchange of Forests: The EUROFLUX Methodology* [online]. 30. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065250408600185>

BALDOCCHI, D.D., 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future [online]. *Global Change Biology*, **9**(4), 479-492. Global Change Biology. Verfügbar unter: doi:10.1046/j.1365-2486.2003.00629.x

BASTIAN, J., V. LUTHARDT und J. ZEITZ, 2023. Wurzelverteilungsmuster im stauwassergeprägten Niedermoorgrünland und Möglichkeiten einer Gefügesanierung durch Wurzeln [online]. *TELMA - Berichte der Deutschen Gesellschaft für Moor- und Torfkunde*, (53), 167-184. TELMA - Berichte der Deutschen Gesellschaft für Moor- und Torfkunde. Verfügbar unter: doi:10.23689/fidgeo-5976

BERNDT, M., 2023. *Liste aller akkreditierten Prüfverfahren einschließlich der Verfahren im flexiblen Geltungsbereich* [online]. Verfügbar unter: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/zentrale_analytik/dateien/pr%C3%BCfverfahrensliste.pdf.

BOCKERMANN, C., T. EICKENSCHIEDT und M. DRÖSLER, 2023. Greenhouse gas emissions and global warming potentials of five paludiculture plants in fen peatlands in southern Germany. *Beitrag auf der EGU General Assembly, Mai 2023*.

BOCKERMANN, C., T. EICKENSCHIEDT und M. DRÖSLER, 2024. Adaptation of fen peatlands to climate change: rewetting and management shift can reduce greenhouse gas emissions and offset climate warming effects [online]. *Biogeochemistry*, **167**(4), 563-588. ISSN 1573-515X [Zugriff am: 11. Dezember 2024]. Verfügbar unter: doi:10.1007/s10533-023-01113-z

BOSTON CONSULTING GROUP, 2024. *What is the Growth Share Matrix?* [online]. Verfügbar unter: <https://www.bcg.com/about/overview/our-history/growth-share-matrix>

CHARRAD, M., N. GHAZZALI, V. BOITEAU und A. NIKNAFS, 2014. NbClust: An R Package for Determining the Relevant Number of Clusters in a Data Set [online]. *Journal of Statistical Software*, **61**(6), 1-36. Journal of Statistical Software. Verfügbar unter: doi:10.18637/jss.v061.i06

CUDMANI, R., M. PREMSTALLER, D. REBSTOCK und S. VOGT, 2022. Geotechnische in situ Charakterisierung von Seeton am Beispiel des Rosenheimer und Salzburger Beckens. In: TU GRAZ, Hg. 36. *Christian Veder Kolloquium: Bauen in weichen Böden - besondere Herausforderungen in Planung und Ausführung*.

DHI WASY GMBH, 2024. *Erstellung eines integrierten Wasserhaushaltsmodells im Bereich der Versuchsstation Karolinenfeld: Modellaufbau und Kalibrierung*. unveröffentlichte Kurzdokumentation. unveröffentlicht. unveröffentlichte Kurzdokumentation.

DIEPOLDER, M. und HEIGL, L., RASCHBACHER S., 2018. *Untersuchungen zur Phosphor- und Schwefelbelastung des Bodenwassers unter Acker und Grünland - Ergebnisse von bayerischen Saugkerzenanlagen: Neues aus Untersuchung und angewandter Forschung, Kooperation Lysimeter: Langjährige Untersuchungen zur P-K, Mg und S-Auswaschung aus landwirtschaftliche genutzten Böden Deutschlands; Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft* [online]. Verfügbar unter: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/aggf_2018_diepolder_et_al.pdf

DIEPOLDER, M. und S. RASCHBACHER, 2010. Projekt ‚Saubere Seen‘ - Untersuchungen zu Phosphorausträgen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen. 2. Umweltökologisches Symposium 2010, Lehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein. In: HBLFA, Hg. *Bericht / 2. Umweltökologisches Symposium am 2. und 3. März 2010. Boden- und Gewässerschutz in der Landwirtschaft*. Irdning: BAL, S. 79-88. ISBN 978-3-902559-41-8.

DIEPOLDER, M. und S. RASCHBACHER, 2011. Nitratbelastung unter Grünlandflächen - Versuchsergebnisse aus Bayern. Gülle 11 - Gülle und Gärrestdüngung auf Grünland. In: LAZBW, Hg. *Tagungsband Internationale Tagung 17./18.10.2011, Kloster Reute*, S. 190-194.

DIEPOLDER, M. und S. RASCHBACHER, 2012. Grünlanddüngung und Gewässerschutz - Versuchsergebnisse aus Bayern. 3. Umweltökologisches Symposium 2012, Lehr und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein. In: HBLFA, Hg. *Bericht / 3. Umweltökologisches Symposium am 6. und 7. März 2012 am LFZ Raumberg-Gumpenstein. Wirkung von Maßnahmen zum Boden- und Gewässerschutz*. Irdning: Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, S. 65-72. ISBN 978-3-902559-69-2.

DIEPOLDER, M. und S. RASCHBACHER, 2016. Untersuchungen zu Phosphorgehalten von Grünlandaufwüchsen auf bayerischen Praxisflächen. In: T. EBERTSEDER, Hg. *Anforderungen an die Verwertung von Reststoffen in der Landwirtschaft. Kongressband 2016 Rostock : Vorträge zum Generalthema*. Darmstadt: VDLUFA-Verlag. ISBN 978-3-941273-23-8.

DIEPOLDER, M. und S. RASCHBACHER, 2017. Kalium-, Magnesium- und Natriumgehalte von Grünlandaufwüchsen. In: T. EBERTSEDER, Hg. *Vorträge zum Generalthema. Kongressband 2017 Freising*. Darmstadt: VDLUFA-Verlag. ISBN 978-3-941273-24-5.

DIEPOLDER, M., S. HEINZ, G. KUHN und S. RASCHBACHER, 2016. Ertrags- und Nährstoffmonitoring Grünland Bayern (2009-2014). In: T. EBERTSEDER, Hg. *Anforderungen an die Verwertung von Reststoffen in der Landwirtschaft. Kongressband 2016 Rostock : Vorträge zum Generalthema*. Darmstadt: VDLUFA-Verlag. ISBN 978-3-941273-23-8.

DORMAN, C.F. und I. KÜHN, 2009. *Angewandte Statistik für die biologischen Wissenschaften*. 2. Auflage: Helmholtz Zentrum für Umweltforschung-UFZ.

DRÖSLER, M., 2005. *Trace gas exchange and climatic relevance of bog ecosystems, Southern Germany*. München, Techn. Univ., Diss.

- EBERL, J., 2016. *Aufbau eines Informationssystems Freisinger Moos*. Bachelor-Arbeit.
- EICKENSCHIEDT, T., C. BOCKERMANN, D. BODENMÜLLER, T. GROßKINSKY, S. GUTERMUTH, M. HAFNER, C. HARTUNG, H. HEUWINKEL, M. KAPFER, J. KRIMMER, M. KRUS, C. KUCHLER, D. KUPTZ, D. LOHR, R. MACK, U. MÄCK, S. MANN, E. MEINKEN, C. MONING, E. RIST, C. SCHÖN, T. SCHRÖDER, A. SCHUMANN, W. THEUERKORN, C. ZOLLFRANK und M. DRÖSLER, 2023. *MOORuse - Paludikulturen für Niedermoorböden in Bayern - Etablierung, Klimarelevanz & Umwelteffekte, Verwertungsmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit, Abschlussbericht*.
- EICKENSCHIEDT, T., J. KRIMMER und M. DRÖSLER, 2023. *Leitfaden zur Etablierung von Niedermoor-Paludikulturen*. Peatland Science Center der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf.
- EICKENSCHIEDT, T., J. KRIMMER, H. HEUWINKEL, C. BOCKERMANN, C. HARTUNG, F. LIPP, M. THEN, U. MÄCK, E. MEINKEN, M. HAFNER und M. DRÖSLER, 2019. 3. *Zwischenbericht MOORuse*. Zwischenbericht. Peatland Science Center der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf.
- EUROPEAN BIOCHAR CERTIFICATE, 2020. *Positivliste zulässiger Biomassen zur Herstellung von Pflanzenkohlen* [online]. Verfügbar unter: https://www.european-biochar.org/media/doc/2/positivliste_de_2020.pdf
- FIEDLER, S., B.S. HÖLL, A. FREIBAUER, K. STAHR, M. DRÖSLER, M. SCHLOTTER und H.F. JUNGKUNST, 2008. Particulate organic carbon (POC) in relation to other pore water carbon fractions in drained and rewetted fens in Southern Germany [online]. *Biogeosciences*, **5**(6), 1615-1623. ISSN 1726-4189. Verfügbar unter: doi:10.5194/bg-5-1615-2008
- FLINSPACH, D., 1997. *Das württembergische Donauried. Seine Bedeutung für Wasserversorgung, Landwirtschaft und Naturschutz*. Stuttgart: Zweckverb. Landeswasserversorgung.
- FORUM NACHHALTIGES BAUEN, 2024. *MDF-Platten Ökobilanz* [online]. Verfügbar unter: <https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/MDF-Platten>
- FRAUNHOFER IGB, 2024. *Verzuckerung von Lignocellulose* [online]. Verfügbar unter: <https://www.igb.fraunhofer.de/de/forschung/industrielle-biotechnologie/bioprozessentwicklung/aufbereitung-von-nachwachsenden-rohstoffen-und-abfallstoffen/verwertung-von-lignocellulose.html>
- GALDIRS, J., 2023. *Abschlussbericht Machbarkeitsstudie CO2-regio* [online]. Energie effizient einsetzen e.V. Verfügbar unter: <https://co2-regio.de/wp-content/uploads/2023/06/Abschlussbericht-Machbarkeitsstudie-CO2-regio.pdf>
- GRÄLER, B., E. PEBESMA und G. HEUVELINK, 2016. Spatio-Temporal Interpolation using gstat [online]. *The R Journal*, **8**(1), 204-218. The R Journal. Verfügbar unter: <https://journal.r-project.org/archive/2016/RJ-2016-014/index.html>
- GREIFSWALD MOOR CENTRUM, 2016. *Landwirtschaft auf nassen Niedermooren - Nasswiesen (Carex spp.)* [online]. Verfügbar unter: <https://greifswaldmoor.de/files/images/publikationen/Flyer/Flyer/Paludi-Niedermoor.pdf>
- HARTEL, F., H. LUTZ und H. SCHMEIDL, 1952. *Gutachten über die Trockenschäden im bayerischen Teil des Donaurieds*.

HIEMSTRA, P.H., E.J. PEBESMA, C.J.W. TWENHÖFEL und G.B.M. HEUVELINK, 2008. Real-time automatic interpolation of ambient gamma dose rates from the Dutch Radioactivity Monitoring Network [online]. *Computers & Geosciences*. Computers & Geosciences. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.cageo.2008.10.011

HOMBURG, C., 2020. *Grundlagen des Marketingmanagements. Einführung in Strategie, Instrumente, Umsetzung und Unternehmensführung*. 6., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler. Springer eBook Collection. ISBN 978-3-658-29638-4.

ISTA, 2021. *International Rules for Seed Testing* [online]. International Seed Testing Association. 1 [Zugriff am: 11. Dezember 2024]. Verfügbar unter: <https://www.ingenta-connect.com/content/10.15258/istarules.2021.F>

JÄGER, J., ECKEHART, Hg., 2011. *Rothmaler - Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Grundband*. 20. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer. ISBN 978-3-8274-1606-3.

JELITTO, 2024. Jelitto Perennial Seed CAREX acutiformis Portion(s) [Zugriff am: 11. Dezember 2024]. Verfügbar unter: <https://www.jelitto.com/Seed/Ornamental+Grasses/CAREX+acutiformis+Portion+s.html>

KETTENRING, K.M. und S.M. GALATOWITSCH, 2007. Tools for Carex revegetation in freshwater wetlands: understanding dormancy loss and germination temperature requirements [online]. *Plant Ecology*, **193**(2), 157-169. ISSN 1385-0237 [Zugriff am: 11. Dezember 2024]. Verfügbar unter: doi:10.1007/s11258-006-9255-8

KLATT, J., M. SCHLAIPFER, S. FRIEDRICH, M. TARANTIK, A. GERNER, G. CHIOGNA, M. DISSE, M. FRISCHHUT, T. MACHL, N. CONZE, M. HERR, J. KOTZI, A. KÜHNEL, L. REIFSCHNEIDER, J. WELTE, G. KUHN, A. FREIBAUER, V. HUBER GARCÍA, T. RAMSAUER, Y. CHEN, V. KUCH, R. WOOD, P. MARZAHN, LUDWIG, R. und M. DRÖSLER, 2023. *Klimaschutz- und Anpassungspotenziale in Mooren Bayerns (KliMoBay), Abschlussbericht*.

KLJUN, N., P. CALANCA, M.W. ROTACH und H.P. SCHMID, 2015. A simple two-dimensional parameterisation for Flux Footprint Prediction (FFP) [online]. *Geoscientific Model Development*, **8**(11), 3695-3713. Geoscientific Model Development. Verfügbar unter: doi:10.5194/gmd-8-3695-2015

LECK, M.-A. und W. SCHÜTZ, 2005. Regeneration of Cyperaceae, with particular reference to seed ecology and seed banks [online]. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, **7**(2), 95-133. ISSN 1433-8319 [Zugriff am: 11. Dezember 2024]. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.ppees.2005.05.001

LFAMV, 2020. *Mischungs- und Sortenempfehlungen – Grünland 2020*. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern. Institut für Tierproduktion Dummerstorf.

LFL, 2016. *Erweitertes Ertrags- und Nährstoffmonitoring bayerischer Grünlandflächen, Abschlussbericht*. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft.

LFL, 2018. *Saatguteinsatz im Grünland. Übersaat - Nachsaat – Neuansaat*. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft.

LFL, 2022. *Leitfaden für die Düngung von Acker und Grünland, Gelbes Heft*. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft.

LFL, 2023. *Gruber Tabelle zur Fütterung der Milchkühe, Zuchtrinder, Schafe und Ziegen* [online]. Verfügbar unter: <https://lfl.bayern.de/publikationen/informationen/040183/>

LFL, 2024a. *Erfassung von Zeigerpflanzen für den Nässenachweis auf Moorböden* [online]. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Verfügbar unter: <https://www.lfl.bayern.de/publikationen/informationen/347334/index.php>

LFL, 2024b. *Maßnahmen zur Wasserstandsanhhebung für eine moorbodenverträgliche Landwirtschaft: Beantragung einer wasserrechtlichen Genehmigung* [online]. Verfügbar unter: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/massnahmen-wasserstandsanhhebung-moorbodenvertraegliche-landwirtschaft_lfl-information.pdf

LFL, 2024c. *Technischer Leitfaden zur Wasserstandsanhhebung in landwirtschaftlich genutzten Niedermooren*.

LFU, 2005. *Leitfaden der Niedermoorrenaturierung in Bayern*. Bayerisches Landesamt für Umwelt.

LOGAN-MILLER, A. und J. PETERS, 2010. *AOSA/SCST Tetrazolium Testing Handbook*.

LONDO, G., 1976. The Decimal Scale for Relevés of Permanent Quadrates. *Vegetatio*, **33**(1), 61-64.

MÄCK, U. und H. EHRHARDT, Hg., 1995. *Das Schwäbische Donaumoos und die Auwälder zwischen Weißenlingen und Gundelfingen*. Augsburg: Brigitte Settele Verlag.

MÄCK, U., 2014. Das Schwäbische Donaumoos - Geschichte eines Niedermoors. In: B. HEINZE, C. MALEK und S. BOCK, Hg. *Mensch und Moor - Zur Geschichte der Moornutzung in Bayern. Begleitband zur gleichnamigen Ausstellung*. Kronburg-Illerbeuren, S. 173-189.

MAČUHOVÁ, J., HAIDN, B. und S. THURNER, 2019. Arbeitszeitaufwand für die Produktion von Belüftungsheu und Silage und für die Fütterung von Kühen auf bayerischen Milchviehbetrieben. In: B. WEGNER, I. SPIEKERMEIER, H. NIENHOFF, J. GROSSE-KLEIMANN, K. ROHN, H. MEYER, H. PLATE, H. GERHARDY, L. KREIENBROCK, E. GROSSE BEILAGE, N. KEMPER und M. FELS, Hg. *14. Tagung Bau Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung : 24.-26. September 2019 in Bonn; KTBL*.

MAECHLER, M., P. ROUSSEEUW, A. STRUYF, M. HUBERT und HORNIK K., 2021. *cluster: Cluster analysis basics and extensions (R package version 2.1.1)*.

MEISSNER, R., P. LEINWEBER, H. RUPP, M. SHENKER, M.I. LITAOR, S. ROBINSON, A. SCHLICHTING und J. KOEHN, 2008. Mitigation of Diffuse Phosphorus Pollution during Rewetting of Fen Peat Soils: A Trans-European Case Study [online]. *Water, Air, and Soil Pollution*, **188**(1-4), 111-126. ISSN 0049-6979. Verfügbar unter: doi:10.1007/s11270-007-9528-4

MOOR AND MORE, 2024. *Paludi Tinyhouses und mehr* [online]. Verfügbar unter: <https://moor-and-more.de/>

NORDT, A., S. ABEL, S. HIRSCHELMANN, C. LECHTAPE und J. NEUBERT, 2022. *Leitfaden für die Umsetzung von Paludikultur*: Greifswald Moor Centrum-Schriftenreihe. Greifswald Moor Centrum-Schriftenreihe.

PAWLIK, V., 2024. *CO2-Emissionsrechte: Jährliche Preisentwicklung im EU Emissionshandel bis 2022* [online]. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1304069/umfrage/preisentwicklung-von-co2-emissionsrechten-in-eu/>

PFADENHAUER, J., 2002. *Multitalent Rohrkolben*. Freising: Techn. Univ. München.

PFADENHAUER, J., G.-M. KRÜGER und E. MUHR, 1991. *Ökologisches Gutachten Donaumoos: Konzept zur künftigen Landschaftsentwicklung; Kurzfassung*. München: Bayer. Landesamt für Umweltschutz. Schriftenreihe / Bayerisches Landesamt für Umweltschutz. 109.

PIETSCH, J., 2024. *Optimierung der Jungpflanzenanzucht von Carex acutiformis*. Bachelorarbeit. Freising.

PROCHNOW, A., S. KRASCHINSKI, R. TÖLLE und J. HAHN, 1999. Belastungsklassen für Technik zur Bewirtschaftung von Niedermoorgrünland. *Agricultural engineering.Eu*, **54**(3), 168-169. Agricultural engineering.Eu.

R. CORE TEAM, 2021. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Verfügbar unter: <https://www.R-project.org/>

RAT FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG, 2023. *Der Baubranche wird so langsam klar, welch großen Einfluss sie auf den Klimawandel hat* [online]. Verfügbar unter: <https://www.nachhaltigkeitsrat.de/aktuelles/der-baubranche-wird-so-langsam-klar-welch-grossen-einfluss-sie-auf-den-klimawandel-hat/>

RAYBURN, E.B. und S.B. RAYBURN, 1998. A Standardized Plate Meter for Estimating Pasture Mass in On-Farm Research Trials [online]. *Agronomy Journal*, **90**(2), 238-241. Agronomy Journal. Verfügbar unter: doi:10.2134/agronj1998.00021962009000020022x

RESCH, R., 2015. 42. *Viehwirtschaftliche Fachtagung - Herausforderungen der Gärfutterproduktion im Hinblick auf erdige Futterverschmutzung* [online] [Zugriff am: 4. September 2024]. Verfügbar unter: https://www.google.com/search?q=2.+Viehwirtschaftliche+Fachtagung+2015%2C+127+%E2%80%93+138+ISBN%3A+978-3-902849-18-2+Herausforderungen+der+G%C3%A4rfutterproduktion+im+Hinblick+auf+erdige+Futterverschmutzung&rlz=1C1CHBF_deDE1024DE1024&oq=2.+Viehwirtschaftliche+Fachtagung+2015%2C+127+%E2%80%93+138+ISBN%3A+978-3-902849-18-2+Herausforderungen+der+G%C3%A4rfutterproduktion+im+Hinblick+auf+erdige+Futterverschmutzung&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBCTIzNDFqMGoxNagCCLACAQ&sourceid=chrome&ie=UTF-8#vhid=zephyr:0&vssid=atritem-https://raumberg-gumpenstein.at/forschung/infothek/downloads/download-file.html?path%3DTagungen%252FViehwirtschaftstagung%252FViehwirtschaftstagung%2B2015%252F1v_2015_tagungsband_gesamt.pdf

RINGLER, A. und B. DINGLER, 2005. *Moortypen in Bayern: Moorentwicklungskonzept Bayern ; [MEK]*. Augsburg: Landesamt für Umweltschutz. Bayern / Landesamt für Umweltschutz: Schriftenreihe. H. 180. ISBN 3936385793.

SCHLOZ, W., 1990. Geologische Gegebenheiten und Moorbildung. In: K. GÖTTLICH, Hg. *Moor- und Torfkunde. Mit 63 Tab. im Text*. 3. vollst. überarb., ergänzte u. erw. Aufl. Stuttgart: Schweizerbart. ISBN 978-3-510-65139-9.

SCHUCH, M., 1995. Moorentstehung, -kultivierung und derzeitige Nutzung. In: U. MÄCK und H. EHRHARDT, Hg. *Das Schwäbische Donaumoos und die Auwälder zwischen Weißen und Gundelfingen*. Augsburg: Brigitte Settele Verlag.

- SCHÜTZ, W. und G. RAVE, 1999. The effect of cold stratification and light on the seed germination of temperate sedges (*Carex*) from various habitats and implications for regenerative strategies [online]. *Plant Ecology*, **144**(2), 215-230. ISSN 1385-0237 [Zugriff am: 11. Dezember 2024]. Verfügbar unter: doi:10.1023/A:1009892004730
- SCHWALM, M. und J. ZEITZ, 2011. *DOC-Bildung und -Austrag in Mooren - ein Literaturüberblick; Production and export of DOC on peatlands - A review*.
- STMUV, 2022. *Klimabericht 2022*. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz.
- SUCCOW, M. und L. JESCHKE, 1990. *Moore in der Landschaft. Entstehung, Haushalt, Lebenswelt, Verbreitung, Nutzung und Erhaltung der Moore*. 2. Aufl. Leipzig: Urania-Verl. ISBN 3332000217.
- SYSTAIN CONSULTING GMBH, 2023. *tomoorow Machbarkeitstudie: Vorstudie zur Schaffung von skalierbaren Wertschöpfungsketten für die Nutzung von Paludi-Biomasse* [online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltstiftungmichaelotto.de/news/machbarkeitsstudie-der-tomoorow-initiative-zeigt-vielversprechende-ergebnisse-fur-die-wirtschaftliche-nutzung-von-paludikultur>
- TECHPILOT, 2024a. *Extrusion* [online]. Verfügbar unter: URL: <https://www.techpilot.de/lexikon/extrusion/>
- TECHPILOT, 2024b. *Kunststoff-Spritzguss verstehen, passende Betriebe finden* [online]. Verfügbar unter: <https://www.techpilot.de/lexikon/kunststoff-spritzguss/>
- TIEMEYER, B., M. BECHTOLD, S. BELTING, A. FREIBAUER, C. FÖRSTER, E. SCHUBERT, U. DETTMANN, S. FRANK, D. FUCHS, J. GELBRECHT, B. JEUTHER, A. LAGGNER, E. ROSINSKI, K. LEIBER-SAUHEITL, J. SACHTELEBEN, D. ZAK und M. DRÖSLER, 2017. *Moorschutz in Deutschland: Optimierung des Moormanagements in Hinblick auf den Schutz der Biodiversität und der Ökosystemleistungen; Bewertungsinstrumente und Erhebung von Indikatoren*. Bonn - Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz. BfN-Skripten. 462. ISBN 9783896241993.
- TÖLLE, R., A. PROCHNOW und S. KRASCHINSKI, 2000. Measuring Techniques for the Assessment of the Trafficability of Fen Grasslands. *Agrartechnische Forschung*, **6**(3). Agrartechnische Forschung.
- TRAXLER, A., 1997. *Handbuch des vegetationsökologischen Monitorings. Methoden, Praxis, angewandte Projekte*. Wien: Umweltbundesamt. Monographien / Umweltbundesamt. 89.
- UNIVERSITÄT GREIFSWALD, 2021. *Wiedervernässte Moore sind neuartige Ökosysteme* [online]. Verfügbar unter: <https://www.uni-greifswald.de/universitaet/information/aktuelles/detail/n/wiedervernaesste-moore-sind-neuartige-oekosysteme/>
- VERIFIED MARKET REPORTS, 2023. *Globaler Markt für Enzyme für Zellstoff und Papier nach Typ (Amylase, Cellulase), nach Anwendung (Bleichverstärkung, Deinking), nach geografischem Umfang und Prognose* [online]. Verfügbar unter: <https://www.verifiedmarketreports.com/de/product/enzyme-for-pulp-and-paper-market/>
- WDR, 2021. *DieMaus: Umweltfreundlicher Adventskalender aus Faserguss* [online]. Verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=qrUvOtFPmgE>

WICHTMANN, W., C. SCHRÖDER und H. JOOSTEN, Hg., 2016. *Paludiculture - productive use of wet peatlands. Climate protection - biodiversity - regional economic benefits*. Stuttgart: Schweizerbart Science Publishers. ISBN 3510652835.

ZAHLHEIMER, W.A., 1989. *Chronologie und Florenwandel im voralpinen Inn-Hügelland*. Dissertation. Landshut.

ZAK, D. und J. GELBRECHT, 2007. The mobilisation of phosphorus, organic carbon and ammonium in the initial stage of fen rewetting (a case study from NE Germany) [online]. *Biogeochemistry*, **85**(2), 141-151. ISSN 1573-515X. Verfügbar unter: doi:10.1007/s10533-007-9122-2

ZINKE, 2024. Heupreise steigen im September – Strohpreise machen Sprung nach oben [online]. *agrarheute*. agrarheute. Verfügbar unter: <https://www.agrarheute.com/markt/futtermittel/heupreise-steigen-september-strohpreise-sprung-oben-626347>

ŻUKOWSKI, W., A. BOGDANOWICZ und M. LEMBICZ, 2010. Seed germination in sedges: a short review [online]. *Biodiversity: Research and Conservation*, **19**(2010), 15-22. ISSN 2080-945X [Zugriff am: 11. Dezember 2024]. Verfügbar unter: doi:10.2478/v10119-010-0015-1

ZWACK, B. und A. FREIBAUER, 2021. *Entwicklung von KULAP-Maßnahmen für eine innovative Nassgrünlandnutzung mit Dränmanagement und Grünlanderneuerung für Intensivgrünland auf Niedermoorstandorten, Projektbericht*. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft.

ZWACK, B., D. WEIß, E. SCHMIDT, M. KRAUT, M. DIEPOLDER, S. HARTMANN, GOSCH, L.: DRÖSLER, M. und A. FREIBAUER, 2021. Nassgrünlandnutzung auf wiedervernässten Niedermoorstandorten mit Steuerung des Grundwasserstandes und der Etablierung von nässeangepassten Saatgutmischungen zur Raufutterproduktion. *Beitrag im Tagungsband der 65. Jahrestagung der AGGF*. Beitrag im Tagungsband der 65. Jahrestagung der AGGF.

11 Anhang

11.1 Evaluierungs-Matrix für die Nährstofffreisetzung und Nährstoffretention (LfL)

NÄHRSTOFFE					Genauigkeitsstufe G2	
Evaluierungs-Matrix für die Nährstofffreisetzung und Nährstoffretention eines Teilgebiets: mittlere Genauigkeit (semiquantitative Einschätzung)						
Aufgrund der niedrigen pH-Werte spielen Nährstoffe häufig eine untergeordnete Rolle. Der Moortyp wurde jedoch im Falle von Stickstoff nicht als Indikator aufgenommen, da es in genutzten Hochmooren tendenziell zu hohen DON-Austrägen kommt, die in unterliegenden Gewässern mineralisiert werden können.						
Parameter	Funktion als Nährstoffquelle	Neutral - weniger günstig leichte Quelle (gelb)	Ungünstig - schlecht starke Quelle (rot)	Unbekannt (Daten nicht ausreichend für eine Bewertung)	Kommentar und Referenzen	
Indikatoren Stickstoffquelle						
Grundwasserstand (Sommerhalbjahr)	flutend oder Übersäuer Teilfläche A	mittel	Teilfläche B	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor	Stickstoffausträge steigen mit sinkendem Grundwasserstand (Behrendt et al., 1996; Scheffer & Toth, 1978)	
Aktive Rohdrainage vorhanden?	nein	teilweise oder defekt	ja	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor	Rohdrainage vermindert die Denitrifikationsleistung, da sie einen Kurzschluss zwischen belüftetem Torf und Gewässer darstellt. Dies führt zu hohen Konzentrationen und Frachten (Gerth & Matthay, 1991; Kahle & Timmer, 2014).	
Nutzung	keine	alte weiteren Landnutzungsformen und Kombinationen	vorwiegend Ackernutzung oder Intensivgrünland	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor		
NO ₃ -N Konzentrationen im Poren- oder flächen Grundwasser (Torf) oder im Gebietsabfluss: 0,20 NO₃-N mg/L GW: 0,76 NO₃-N mg/L	unkritisch Gebietsabfluss < 1 mg/L ODER Grundwasser < 4,5 mg/L	Gebietsabfluss: 1 mg/L < NO ₃ -N < 2,5 mg/L ODER Grundwasser: 4,5 mg/L < NO ₃ -N < 11,3 mg/L	Gebietsabfluss: NO ₃ -N > 2,5 mg/L ODER Grundwasser: NO ₃ -N > 11,3 mg/L	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor	71,2 mg/L: Grenzwert Trinkwasser-Verschöpfung 1 und 2,5 mg/L: Gewässergüteklasse I und II (LANVA, 1998) Strengere Werte für Oberflächengewässer, da bei einer Grundwasserpassage mit Denitrifikation zu rechnen ist.	
Ablauf aus dem Gebiet pH: ca. 7 bis 8,5	keiner oder sehr niedrig (< 50 mm/a)	gering (50 bis 200 mm/a)	mittel bis hoch (> 200 mm/a)	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor	Aufgrund der hohen N-Mineralisierung in belüfteten Torfen wird nicht die Produktion, sondern die Denitrifikation und der Transport als limitierend eingewertet. Dies wird durch eine positive Korrelation zwischen NO ₃ - Konzentrationen und Abflüssen gestützt (Timmer & Kahle, 2014).	
* Grundsätzlich im Gebietsabfluss, wenn im Poren- oder Moort Grundwasser mindestens 4 Proben pro Jahr an mindestens 3 repräsentativen Messstellen ist das Gebiet aktuell eine Stickstoffquelle oder wird das Gebiet nach Maßnahmenumsetzung eine Stickstoffquelle sein?						
Unbekannt, Das ODER mehr Parameter "unbekannt"						

Abbildung 11.1: Evaluierungs-Matrix für die Nährstofffreisetzung und Nährstoffretention (Teil 1)

Indikatoren Phosphorquelle		Indikatoren Phosphorquelle		Indikatoren Phosphorquelle		Indikatoren Phosphorquelle		Indikatoren Phosphorquelle		Indikatoren Phosphorquelle	
mittlerer Grundwasserflurabstand		Trocken		stärklich nass		europäe. Flachseen mit aktiver Muddbildung vorhanden		Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor oder nicht		Zak et al. (2010)	
Degradierungsgrad Oberboden (0-30 cm)		H1-H6		H7 bis H8		H10, verändert ODER vernulint		Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor		Zak et al. (2010)	
Fe-P-Ventilins Oberboden (0-30 cm) ODER Fe-P im Porenwasser		hoch (> 15) hoch (> 15)		mittel mittel		niedrig (< 10) niedrig (< 3)		Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor		Zak et al. (2010)	
Nitrat-Konzentrationen im Porenwasser		hoch				niedrig		Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor		Gabezas et al. (2013); Angaben zu exakten Konzentrationen/ Grenzwerten derzeit nicht möglich.	
PO ₄ -P-Konzentrationen im Poren- oder flachen Grundwasser (Torf) oder am Gebietsabfluss* GW: 0,27 mg/L GW: 0,13 mg/L		unkritisch Gebietsabfluss < 0,03 mg/L PO ₄ -P ODER Grundwasser < 0,3 mg/L PO ₄ -P		Gebietsabfluss: 0,03 < PO ₄ -P < 0,1 mg/L ODER Grundwasser: 0,3 < PO ₄ -P < 0,8 mg/L		Gebietsabfluss PO ₄ -P > 0,1 mg/L ODER Grundwasser PO ₄ -P > 0,8 mg/L		Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor		Gewässergüteklasse II (0,1 mg/L) (LAWA, 1998)	
Abfluss aus dem Gebiet		keiner oder sehr niedrig (< 50 mm/a)		gering (50 bis 200 mm/a)		mittel bis hoch (> 200 mm/a)		Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor		Aufgrund der hohen P-Freisetzung und Konzentrationen (insbesondere im Vergleich zu den LAWA-Grenzwerten) an kritischen Standorten wird diese nicht als limitierend angesehen. In Lysimeterversuchen wurden niedrige P-Austräge in Trockenjahren ermittelt (Kuntze & Scheffer, 1979).	
pH-Wert landwirtschaftlich genutzter und gedüngter Moos		pH > 9		4 < pH < 6		pH < 4		Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor		In gedüngten Hochmooren und an sauren und eisenarmen Moosmoorstandorten sind hohe P-Austräge möglich (Kuntze & Scheffer, 1979; Scheffer et al., 1981; Scherer & Blankenburg, 1983. Die angegebenen pH-Werte sind Richtwerte, da die Auswirkungen des pH-Werts auf die P-Festlegung kontinuierlich sind.	
* vorzugsweise im Gebietsabfluss; wenn im Poren- oder Moor/Grundwasser mindestens 4 Proben pro Jahr an mindestens 3 repräsentativen Messstellen		Ist das Gebiet aktuell eine Phosphorquelle oder wird das Gebiet nach Maßnahmenumsetzung eine Phosphorquelle sein?		Ist das Gebiet aktuell eine Phosphorquelle oder wird das Gebiet nach Maßnahmenumsetzung eine Phosphorquelle sein?		Ist das Gebiet aktuell eine Phosphorquelle oder wird das Gebiet nach Maßnahmenumsetzung eine Phosphorquelle sein?		Ist das Gebiet aktuell eine Phosphorquelle oder wird das Gebiet nach Maßnahmenumsetzung eine Phosphorquelle sein?		Einstufung gilt nur bei Fokussierung auf Grundwasserkonzentrationen!	
Indikatoren DOC-Quelle		Trocken		mittel oder Übersäuer		trocken		Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor		Frank et al. (2014), Gebrecht et al. (2008), Schwalm & Zeltz (2010), Zak et al. (2010). Zur Einschätzung wiederemittierter Standorte sind Bodeneigenschaften notwendig!	
mittlerer Grundwasserflurabstand		H1-H4		H5 bis H8		H10 ODER physikalisch gestört (z.B. Einmischung von Sand)		Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor		Frank et al. (2014), Frank et al. (2012), Schwalm & Zeltz (2010), Zak et al. (2010).	
Degradierungsgrad Oberboden (0-30 cm)		kein		teilweise oder deckt		(a)		Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor			
Aktive Rohdung vorhanden?		unkritisch bzw. naturnah Hochmoor < 50 mg/L; Niedermoor < 30 mg/L		mittel (30 bzw. 50 bis 100 mg/L)		hoch (> 100 mg/L)		Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor			
DOC-Konzentrationen im Poren- oder flachen Grundwasser (Torf) oder im Gebietsabfluss*		keiner oder sehr niedrig (< 50 mm/a)		gering (50 bis 200 mm/a)		mittel bis hoch (> 200 mm/a)		Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor		Die DOC-Produktion wird nicht als limitierend angesehen.	
* vorzugsweise im Gebietsabfluss; wenn im Poren- oder Moor/Grundwasser mindestens 4 Proben pro Jahr an mindestens 3 repräsentativen Messstellen		Ist das Gebiet aktuell eine DOC-Quelle oder wird das Gebiet nach Maßnahmenumsetzung eine DOC-Quelle sein, die über die Quellwirkung natünftcher Moore hinausgeht?		Ist das Gebiet aktuell eine DOC-Quelle oder wird das Gebiet nach Maßnahmenumsetzung eine DOC-Quelle sein, die über die Quellwirkung natünftcher Moore hinausgeht?		Ist das Gebiet aktuell eine DOC-Quelle oder wird das Gebiet nach Maßnahmenumsetzung eine DOC-Quelle sein, die über die Quellwirkung natünftcher Moore hinausgeht?		Ist das Gebiet aktuell eine DOC-Quelle oder wird das Gebiet nach Maßnahmenumsetzung eine DOC-Quelle sein, die über die Quellwirkung natünftcher Moore hinausgeht?		Bei wiederemittierten Standorten mit stark degradierten Torfen können sehr hohe DOC-Konzentrationen entstehen (Gebrecht et al., 2008), deren Auftreten bzw. Austräge nicht ohne die konkrete Kenntnis der Konzentrationen bzw. der Gebietsabflüsse bewertet werden können	

Abbildung 11.2: Evaluierungs-Matrix für die Nährstofffreisetzung und Nährstoffretention (Teil 2)

Unterlieger	kein nährstoffarmes Gewässer im Abstrom vorhanden ODER Abfluss aus Gebiet grün	kein nährstoffarmes Gewässer im Abstrom vorhanden UND Abfluss aus Gebiet gelb oder rot	nährstoffarmes sensibles Gewässer im Abstrom vorhanden UND Abfluss aus Gebiet gelb oder rot	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor	z.B. oligotrophe oder mesotrophe Seen
Gesamtbewertung der Quellwirkung	Stickstoff UND Phosphor UND hoch grün	alle weiteren Kombinationen	Stickstoff ODER Phosphor ODER hoch rot ODER Stickstoff ODER Phosphor gelb und Unterlieger rot	zwei Kategorien ODER mehr „unbekannt“ in Kombination mit grün ODER alle Kategorien „unbekannt“	Quellwirkung: was kommt derzeit aus dem Torfkörper selbst? Jedes Gebiet kann eine Quelle sein.
Parameter	Funktionen als Nährstoffsenke (Retentionswirkung)				Kommentar
Indikatoren Senkenwirkung	Günstig hohe Relevanz (grün)	Neutral - weniger günstig mittlere Relevanz (gelb)	Ungünstig - schlecht geringe Relevanz (rot)	Unbekannt (Daten nicht ausreichend für eine Bewertung)	
	Überflutungs- und Versumpfungs- und Verlandungs- moor Einzugsgebiet	weitere Moortypen	Regenmoor	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor	
	hoch	mittel	klein	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor	
	hoch ODER potenziell hoch, aber Zustand nährstoffreichen Wassers wird z.B. derzeit über Fanggraben verhindert.	mittel	niedrig ODER nicht vorhanden	Es liegen keine oder nicht ausreichend gesicherte Erkenntnisse vor	
Gesamtbewertung der Senkenwirkung: können und werden in das Moor eingebrachte Nährstoffe zurückgehalten oder umgesetzt oder kann dies nach Maßnahmenumsetzung der Fall sein?	Überflutungs- und Versumpfungs- und Verlandungs- moor Einzugsgebiet	Retentionswirkung hoch: drei Parameter grün ODER aktuelle Nährstoffbedingung grün	Retentionswirkung mittel: alle weiteren Parameterkombinationen	Unbekannt: Zwei Parameter ODER mehr „unbekannt“	

Abbildung 11.3: Evaluierungs-Matrix für die Nährstofffreisetzung und Nährstoffretention (Teil 3)

11.2 Steckbriefe Fuhrpark Versuchsstation Karolinenfeld (BaySG)



Einachs-Trägerfahrzeug Ibex-Motormäher GS-P mit 3 m Bidux Mähwerk: Ernte Versuchsflächen; 23 PS, 280 kg Gewicht, verschiebbare Achse, mit Doppelbereifung 23x10.50 – 12 AS-Profil



Heuschieber Seeber AllroundMax: zur Aufnahme und seitlichem Transport von Grüngut; Arbeitsbreite 2,35 m; Gerätetiefe 90 cm, Förderbandbreite 40 cm



Frontseitenschwader Clementer 300 F: Schwaden ohne Überfahren des Grüngutes, Anheben des Grüngutes beim Seitentransport; 3 m Arbeitsbreite, Gewicht 440 kg



Pkw-Anhänger Raith: Transportanhänger, Ladefläche Länge 6 m, Ladefläche Breite 2,27 m (Innenmaße)



Miniballenwickelgerät Lambers: Bergung des Aufwuchses der Versuchspartzellen, Ballengewicht max. 50 kg; Ballendurchmesser max. 85 cm



Rundballenpresse Jumbo 1211: Bergung des Aufwuchses der Versuchspartzellen; Ballenlänge 104 cm, Ballendurchmesser 60 cm; Leistungsbedarf ab 30 PS



Kreiselheuer SIP Spider 350/4 Alp H: Aufbereitung Grüngut auf den Versuchsflächen; Arbeitsbreite 2,7 m, Gewicht 270 kg, Leistungsbedarf 15 PS



Einachsmulcher/mäher Grillo 85-D Honda GX270: Pflege der Trennwege im Versuch; Arbeitsbreite 50 cm, 9 PS



Ladewagen BOSS 3240 Master Pöttinger: Bergung des Aufwuchses auf Großflächen; 4-Rad-Kurmann-Spezialfahrwerk 10S 08-208, Bereifung 520/50R17; Load-Sensing, Gewicht 3,8 to



Mulchgerät Müthing MU-C Schlegelmulcher: Pflege Versuchsflächen, Arbeitsbreite 1,6 m; passend für Ibex Trägerfahrzeug; Gewicht 160 kg



Grünlandtraktor Fendt 211 S Vario GEN3: Bearbeitung Versuchsflächen und Großflächen; HVO-tauglich, 124 PS; Bodendruck mit Breitreifung max. 0,13 kp/cm²; 3,9 to Leergewicht; Load-Sensing;



Frontmähwerk Krone EC F 320M: Beerntung Großflächen und Versuchsflächen; leichtes Scheibenmähwerk (Alpin-Ausführung) ohne Aufbereiter; Arbeitsbreite 3,16 m; Gewicht 680 kg

11.3 Übersicht über Forschungs- und Entwicklungsergebnisberichte (DMZV)

Folgende Berichte zum Thema Verwertungsmöglichkeiten liegen beim Donaumoos-Zweckverband vor:

- Biofibre GmbH, Technischer Report als Ergebnisbericht für die beauftragen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zum Thema Faseraufbereitung sowie Tests in Kunststoffcompounds im April 2024
- Biofibre GmbH, Technischer Report als Ergebnisbericht für die beauftragen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zum Thema Polymertechnische Tests an unbehandelten und pelletierten nachwachsenden Fasern aus Paludikulturen im September 2022
- Carbex GmbH, Analyseprotokoll zur Analyse mit den 2 Ausgangsstoffen (Pellets) im September 2022
- Carbex GmbH, Analyseprotokoll zur Analyse mit den 3 Ausgangsstoffen (Häckselgut) im Januar 2023
- Donaumoos-Zweckverband, Abschlussbericht des Forschungs- und Entwicklungsprojekt Pflanzenfasern aus moorverträglicher Bewirtschaftung im April 2023
- Donaumoos-Zweckverband, Abschlussbericht des Forschungs- und Entwicklungsprojekt Anfertigung erster Paludibauplatten zur Bemusterung und Machbarkeitsbeurteilung im Mai 2024
- Technische Hochschule Ingolstadt, Ergebnisbericht für die beauftragen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zum Thema Paludifasern in Mörteln im November 2024