

# GeoBerichte 45



LANDESAMT FÜR  
BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE



## Handlungsempfehlungen zur Renaturierung von Hochmooren in Niedersachsen



Niedersachsen





## **GeoBerichte 45**

Landesamt für  
Bergbau, Energie und Geologie

# Handlungsempfehlungen zur Renaturierung von Hochmooren in Niedersachsen

MARTHA GRAF, HEINRICH HÖPER &  
KATHARINA HAUCK-BRAMSIEPE (Redaktion)

Hannover 2022

## Impressum

Herausgeber: © Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie

Stilleweg 2  
30655 Hannover  
Tel. (0511) 643-0  
Fax (0511) 643-2304

Download unter [www.lbeg.niedersachsen.de](http://www.lbeg.niedersachsen.de)

1. Auflage.

Version: 01.08.2022

Redaktion: Ricarda Nettelmann

Mail: [bodenkundlicheberatung@lbeg.niedersachsen.de](mailto:bodenkundlicheberatung@lbeg.niedersachsen.de)

Titelbild: Oben: renaturiertes Moor von oben (Foto: T. Beuster),  
unten links: Bau von Dämmen im Siedener Moor (Foto: H. Höper),  
unten Mitte: *Sphagnum cuspidatum* (Foto: L. Zoch),  
unten rechts: Entkusseln im Lichtenmoor (Foto: T. Beuster).

ISSN 1864–6891 (Print)

ISSN 1864–7529 (digital)

DOI 10.48476/geober\_45\_2022

GeoBer.	45	S. 3 – 117	45 Abb.	8 Tab.	Hannover 2022
---------	----	------------	---------	--------	---------------

## Handlungsempfehlungen zur Renaturierung von Hochmooren in Niedersachsen

MARTHA GRAF, HEINRICH HÖPER & KATHARINA HAUCK-BRAMSIEPE (Redaktion)

### Kurzfassung

Rund drei Viertel aller deutschen Hochmoore (ca. 73 %) befinden sich in Niedersachsen. Damit obliegt dem Bundesland eine besondere Verpflichtung, diese sensiblen Standorte zu schützen. Aus diesem Grund wurde bereits im Jahr 1981 das erste Moorschutzprogramm in Deutschland vom Land Niedersachsen aufgelegt. Seitdem wurden über 15.000 ha ehemalige Torfabbauflächen renaturiert, und für die nächsten 20 Jahre liegen Vorgaben zur Renaturierung von Fläche in derselben Größenordnung vor. Bund und Länder beschreiben in ihren Moorschutzstrategien, dass es wünschenswert ist, wenn künftig mehr Moorflächen aus anderen Nutzungen, vor allem aus der Landwirtschaft, herausgenommen und z. T. renaturiert würden.

Im Rahmen eines Workshops im September 2019 entschieden 26 Expert:innen aus Landesämtern, unteren Naturschutzbehörden, NGOs, Planungsbüros, Torfabbaufirmen und Universitäten, das Dokument „Handlungsempfehlungen zur Renaturierung von Hochmooren“ zu verfassen. Diese Arbeitshilfe führt die Erfahrungen aus Renaturierungsvorhaben von Flächen unterschiedlicher Vornutzungen zusammen. Sie benennt mögliche Maßnahmen für die Erstinstandsetzung von Hochmoorlebensräumen, basierend auf der Ausgangssituation, und beschreibt detailliert die praktischen Umsetzungsempfehlungen.

Konkrete Empfehlungen zur Renaturierung von Flächen mit verschiedenen Vornutzungen, wie Torfabbau, Landwirtschaft und Forstwirtschaft, werden im Dokument zusammengestellt. Vor allem die landwirtschaftlich intensiv genutzten Hochmoorflächen stellen eine Besonderheit Norddeutschlands dar, die in spezifischen Maßnahmenempfehlungen zum Umgang mit dem stark degenerierten Oberboden in der Renaturierung berücksichtigt werden.

Mit dieser Arbeitshilfe ist beabsichtigt, praktisch arbeitenden Einrichtungen ein Werkzeug zu geben, um Hochmoorrenaturierung in Zukunft effizienter und erfolgreicher durchzuführen. Durch das Zusammenkommen verschiedener Expert:innen konnte ein Konsens zu verschiedenen Aspekten dieses Themas erreicht werden.

## Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>8</b>
1.1. Hintergrund der Neuauflage.....	8
1.2. Zielsetzung dieses Dokuments.....	8
1.3. Ziele und Leitbilder der Renaturierung.....	9
1.4. Begriffsdefinitionen.....	11
1.5. Hintergrundbelastung als Problem für die Renaturierung.....	11
<b>2. Hydrologische Kernprozesse von Hochmooren</b> .....	<b>13</b>
2.1. Wie funktioniert ein unberührtes Hochmoor?.....	13
2.2. Welche hydrologischen Veränderungen kennzeichnen degenerierte Hochmoore?.....	15
2.3. Hauptkomponenten des Landschaftswasserhaushaltes.....	17
2.4. Interaktion von Vegetation und Wasserhaushalt in wachsenden Hochmooren.....	19
<b>3. Abschätzungsrahmen für den Erfolg von Wiedervernässungsmaßnahmen auf Hochmoorstandorten</b> .....	<b>21</b>
3.1. Abiotische Indikatoren der Abschätzung.....	21
3.1.1. Bodenart/Körnung des Mineraluntergrundes.....	21
3.1.2. Grundwasserstand im Mineraluntergrund.....	21
3.1.3. Stauschicht.....	22
3.1.4. Qualität der Resttorfschicht hinsichtlich stauender Eigenschaften.....	22
3.1.5. Mächtigkeit der Resttorfschicht.....	22
3.1.6. Klimatische Wasserbilanz im Sommerhalbjahr.....	22
3.2. Erschwerende oder begünstigende Faktoren für die Ausführungsplanung von Wiedervernässungsmaßnahmen auf Hochmoorstandorten.....	24
3.2.1. Oberflächenrelief.....	24
3.2.2. Ausbauzustand der Entwässerungseinrichtungen.....	24
3.2.3. Flächenzuschnitt.....	25
3.2.4. Flächenzugriff.....	25
<b>4. Technische Maßnahmen</b> .....	<b>25</b>
4.1. Allgemeine Hinweise.....	25
4.2. Zeitpunkt der Maßnahmen.....	25
4.3. Entfernen von Gehölzbeständen zur Erstinstandsetzung.....	26
4.4. Bau von Dämmen.....	29
4.4.1. Dämme aus Torf.....	30
4.4.2. Torfdichtwand.....	34
4.4.3. Errichtung von Spundwänden.....	35
4.4.4. Reparatur und Vorbeugung von Damnbrüchen.....	37
4.5. Verschluss/Stau von Entwässerungsgräben.....	38
4.5.1. Grabensohle reicht nicht bis in den mineralischen Untergrund.....	39
4.5.2. Grabensohle liegt im mineralischen Untergrund.....	39
4.6. Bau von Überläufen.....	40
4.7. Invasive Arten.....	42
4.8. Geeignete Maschinen für die Hochmoorrenaturierung.....	43
<b>5. Renaturierung industrieller Torfabbauflächen</b> .....	<b>49</b>
5.1. Vornutzung.....	49
5.2. Torfabbauverfahren.....	50
5.2.1. Sodenstichverfahren.....	50
5.2.2. Frästorfverfahren.....	51
5.2.3. Kombiniertes Bagger-/Frästorfverfahren.....	51
5.3. Erstinstandsetzungsmaßnahmen auf ehemaligen Abtorfungsflächen.....	51
5.3.1. Planieren.....	51
5.3.2. Oberflächenbearbeitung.....	51
5.3.3. Dämme.....	52
5.3.4. Sanddurchragungen.....	52

5.3.5.	Poldergrößen und Wahl des Materials für die Torfdämme .....	52
5.4.	Dauerpflegemaßnahmen .....	53
5.5.	Steuerung der Wasserstände .....	53
5.6.	Abnahme der Flächen .....	55
<b>6.</b>	<b>Renaturierung landwirtschaftlich genutzter Flächen .....</b>	<b>59</b>
6.1.	Die Geschichte der landwirtschaftlichen Nutzung .....	59
6.1.1.	Vorbelastung aus der landwirtschaftlichen Nutzung .....	60
6.1.2.	Entwicklungspotenzial landwirtschaftlich vorge nutzter Hochmoorstandorte für Natur- und Klimaschutz .....	62
6.1.3.	Abtörung landwirtschaftlich vorge nutzter Hochmoorstandorte .....	63
6.2.	Erstinstandsetzungsmaßnahmen auf ehemals landwirtschaftlichen Flächen .....	63
6.2.1.	Erstinstandsetzung mit partieller Oberbodenverlagerung .....	66
6.2.2.	Erstinstandsetzung mit Oberbodenabtransport .....	66
6.2.3.	Verwertung des Abtrags .....	67
6.2.4.	Grabenschluss/Dränung .....	68
6.2.5.	Entwicklung der Vegetation .....	68
6.3.	Klimawirkung der Hochmoorrenaturierung nach landwirtschaftlicher Nutzung .....	68
<b>7.</b>	<b>Renaturierung von Waldmooren unter Einbeziehung des Einzugsgebietes .....</b>	<b>74</b>
7.1.	Waldmoore .....	74
7.2.	Natürliche Moorwälder und durch Forstbetriebe bewaldete Rest-Torfkörper .....	74
7.3.	Vornutzung .....	75
7.3.1.	Historische Mooraufforstungen .....	75
7.3.2.	Wald- und Moornaturschutz .....	75
7.4.	Aktueller Zustand .....	76
7.5.	Gebietsanalyse und Maßnahmenplanung .....	77
7.6.	Erstinstandsetzung .....	77
7.6.1.	Zeitpunkt der Maßnahmen .....	78
7.6.2.	Holzentnahme .....	78
7.6.3.	Verschluss/Stau von Entwässerungsgräben .....	79
7.6.4.	Dauerpflegemaßnahmen .....	80
<b>8.</b>	<b>Renaturierung ungenutzter naturnaher und degenerierter Flächen .....</b>	<b>85</b>
8.1.	Gliederung der Moorbiootypen Niedersachsens nach Naturnähe .....	85
8.1.1.	Naturnahe Hochmoore .....	85
8.1.2.	Ungenutzte schwach degenerierte Hochmoore .....	85
8.1.3.	Degenerierte Hochmoore .....	86
8.2.	Vorbelastung .....	88
8.2.1.	Unebene Topographie/Handtorfstichgebiete .....	88
8.2.2.	Dominanz von nicht hochmoortypischer Vegetation .....	89
8.2.3.	Synergien mit der extensiven Grünlandnutzung .....	90
8.3.	Erstinstandsetzungsmaßnahmen .....	91
8.3.1.	Zeitpunkt der Maßnahmenumsetzung .....	91
8.3.2.	Entfernung von Gehölzen .....	91
8.3.3.	Verschluss von Schlitzgräben bis auf die Grabensohle .....	92
<b>9.</b>	<b>Dauerpflegemaßnahmen .....</b>	<b>93</b>
9.1.	Hydrologie: Wasserversorgung in den ersten Jahren .....	93
9.2.	Vegetationsentwicklung .....	94
9.2.1.	Kürzen der Krautschicht .....	94
9.2.2.	Mahd der Flatterbinse .....	94
9.2.3.	Entkusselung .....	95
9.2.4.	Beweidung .....	96
9.2.5.	Kontrolliertes Brennen .....	96

<b>10. Ausblick: Aktive Wiederansiedlung der hochmoortypischen Vegetation .....</b>	<b>97</b>
<b>11. Voraussetzungen und Herausforderungen in der Umsetzung.....</b>	<b>100</b>
11.1. Flächenverfügbarkeit.....	100
11.1.1. Anordnung von Pflegemaßnahmen .....	101
11.1.2. Flächenankauf.....	101
11.1.3. Flächentausch.....	101
11.1.4. Flurbereinigung .....	102
11.1.5. Gestattungsverträge.....	102
11.1.6. Kompensationsflächen.....	102
11.1.7. Kompensationsflächenpools .....	102
11.2. Professionelles und dauerhaftes Vorgehen .....	103
11.3. Langfristiges Management.....	103
11.4. Organisationsstrukturen für eine Hochmoorrenaturierung.....	104
11.5. Fazit .....	104
<b>12. Quellen .....</b>	<b>105</b>

## Vorwort

In Niedersachsen bedecken 208.000 ha Hochmoor und 187.000 ha Niedermoor etwa acht Prozent der Landesfläche. Die Moore werden überwiegend als Grünland (52 %), aber auch als Ackerland (12 %) oder Wald (10 %) genutzt. Etwa 16 % befinden sich ungenutzt unter Gehölz, Heide oder Moorvegetation.

Durch nutzungsbedingte Entwässerung, teilweise schon vor hundert Jahren und mehr, sacken und schrumpfen die Torfe, werden belüftet und zersetzt. Es kommt zum Verlust an Torfmächtigkeit, an Geländehöhe und in der unmittelbaren Folge zur Freisetzung von Nährstoffen und klimarelevanten Gasen, vor allem Kohlendioxid.

Im Jahr 1981 wurde eines der weltweit ersten Moorschutzprogramme in Niedersachsen ins Leben gerufen. Ziel dieses Programmes war es, eine mögliche Lösung des Konfliktes zwischen Torfabbau und Naturschutz in Niedersachsen zu finden. Daraufhin wurde beschlossen, dass rund 30.000 ha Hochmoor nach dem Torfabbau wiedervernässt werden sollen.

Wegen ihrer wichtigen Rolle im Klimaschutz rücken die Moore jetzt vermehrt in den Fokus des öffentlichen Interesses. Sie sind nicht nur auf Grund ihrer besonderen Flora und Fauna für den Naturschutz wichtig, sondern stellen gerade wegen ihrer Wasserhaushalts- und Klimaschutzfunktionen ein wichtiges Element in der Klimaschutzpolitik dar. Bei zunehmender Dürre in den Sommermonaten gewinnt die Wasserspeicherfunktion von wiedervernässten Mooren als Anpassungsstrategie an die Klimaänderung an Relevanz.

Naturnahe Moore sind wichtige CO<sub>2</sub>-Speicher. Immer noch werden mehr als drei Viertel der niedersächsischen Moore aktiv genutzt. Die Nutzung dieser entwässerten Moore verursacht, neben dem Energiesektor, die höchsten Treibhausgasemissionen. Daher ist der Schutz dieser Torfvorräte vor Zersetzung eine der wichtigsten Aufgaben, um die Treibhausgas-Emissionen zu mindern. Ein wichtiger Baustein, um die Klimaziele bis 2045 erreichen zu können, stellt daher die vermehrte Wiedervernäsung von Moorflächen dar.

Dieses Dokument fasst über 40 Jahre Erfahrung in der Renaturierung von Hochmooren zusammen. Autoren aus den Bereichen Naturschutz, Privatwirtschaft, NGOs und Behörden haben ihre Expertise auf diesem Feld zusammengebracht, um eine umfassende Handlungsempfehlung für die Renaturierung von Hochmooren zu erschaffen. Der vorliegende Geobereich beinhaltet Information zur Renaturierung, nicht nur von Torfabbauflächen, sondern auch von landwirtschaftlich und forstwirtschaftlich vorgezogenen Flächen sowie naturnahen Arealen. Ich wünsche Ihnen viel Freude und viele neue Erkenntnisse bei der Lektüre.

Carsten Mühlenmeier  
Präsident LBEG



# 1. Einleitung

MARTHA GRAF, LUDWIG STEGINK-HINDRIKS,  
HERMANN WREESMANN, FRIEDHELM NIEMEYER &  
WIEBKE SAATHOFF

## 1.1. Hintergrund der Neuauflage

Rund drei Viertel (ca. 73 %) aller Hochmoore in Deutschland befinden sich in Niedersachsen. Mit landesweit etwa 1.000 ha der niedersächsischen Hochmoore ist nur noch ein sehr geringer Anteil (weniger als 1 %) in einem naturnahen Zustand (JOOSTEN 2012, MU 2016). Die hochmoortypische Flora und Fauna ist in Niedersachsen somit lediglich isoliert vorhanden und bedarf besonderer Schutzbemühungen. Auch sind entwässerte Hochmoore starke Emittenten klimaschädlicher Treibhausgase und setzen jährlich 3,1 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente frei (MU 2016). Niedersachsen hat daher eine besondere Verantwortung für den Schutz der Hochmoore im Sinne des Biotop- und Klimaschutzes.

Mit dem deutschlandweit ersten Moorschutzprogramm hat Niedersachsen seit Beginn der 1980er Jahre mehrere Jahrzehnte Erfahrung in der Renaturierung von Hochmooren gesammelt (FALKENBERG 1991). In den letzten 40 Jahren wurden über 15.000 ha Hochmoor nach dem industriellen Torfabbau renaturiert, und weitere 15.000 ha sollen bis 2040 renaturiert werden (SCHMATZLER 2015).

Bund und Länder weisen in ihren Moorschutzstrategien darauf hin, dass es wünschenswert ist, wenn künftig mehr Moorflächen aus anderen Nutzungen entlassen und renaturiert würden (BMU 2020, MU 2016). Die landesweiten Zielsetzungen für diese Renaturierungen hat das Land Niedersachsen in Ergänzung und Fortschreibung seines Moorschutzprogramms von 1981/86/94 in seinem Programm „Niedersächsische Moorlandschaften“ festgelegt (MU 2016).

Im September 2019 entschieden Expert:innen im Rahmen des Workshops „Best Practices in Hochmoorrenaturierung in Nordwestdeutschland“, das vorliegende Dokument zu verfassen. Die Beiträge wurden von 26 Expert:innen aus Landesämtern, unteren Naturschutzbehörden, NGOs, Planungsbüros, Torfabbaufirmen und Universitäten erstellt. Darin werden die bisher-

gen und neusten Erkenntnisse über die Renaturierung von niedersächsischen Hochmooren zusammengefasst.

## 1.2. Zielsetzung dieses Dokuments

Dieses Dokument ist ein Leitfaden für die Umsetzung von Renaturierungsmaßnahmen im Sinne einer Erstinstandsetzung auf ehemals genutzten und ungenutzten Hochmoorstandorten. Im vorliegenden Dokument werden die möglichen Maßnahmen für die Erstinstandsetzung von Hochmoorlebensräumen benannt, und die praktische Umsetzung wird detailliert beschrieben.

Planerische und rechtliche Vorarbeiten für die Renaturierung sind nicht Gegenstand dieses Dokumentes. Die Kenntnis über rechtliche und planerische Voraussetzungen, wie vorhandene naturschutzfachliche und andere räumliche Planungen und Konzepte (Landschaftsrahmenplanung, Regionale Raumordnungsplanung usw.), über eventuelle bestehende rechtliche Sicherungen (Schutzgebietsverordnungen etc.), mögliche Synergien und Konflikte mit anderen Zielen von Natur und Landschaft usw., wird an dieser Stelle vorausgesetzt. Diese Gegebenheiten zu prüfen, obliegt den zuständigen Fachplanungen auf regionaler bzw. lokaler Ebene. Der vorliegende Leitfaden soll nach Abschluss dieser Vorprüfungen und Vorarbeiten als Handlungsempfehlung für die praktische Maßnahmengestaltung dienen.

Auch auf das Monitoring wird im vorliegenden Dokument nicht weiter eingegangen, obgleich es ein wichtiger Baustein der Renaturierung ist (LINDENMAYER 2020). Standards für das Monitoring der Hydrologie und Vegetation der renaturierten Hochmoore sollen künftig für die niedersächsischen Hochmoore entwickelt werden. Dauerpflegemaßnahmen werden in diesem Dokument im Kapitel 9 nur angerissen. Eine ausführliche Darstellung dieses Themas soll noch als separate Veröffentlichung erscheinen.

Bei dem vorliegenden Text handelt es sich um eine aktualisierte und erweiterte Neuauflage der „Praktische[n] Hinweise zur optimalen Wiedervernässung von Torfabbauflächen“ (BLANKENBURG 2004). Anlass der Neuauflage war es, die in den letzten 15 Jahren hinzugewonnenen Erkenntnisse zu Wiedervernässungsmaßnahmen darzulegen. Differenziert wird dabei nach den unterschiedlichen aktuellen Ausgangsstadien,

wie degenerierte Flächen mit torfwirtschaftlicher, landwirtschaftlicher oder forstwirtschaftlicher Vornutzung sowie ungenutzte Moorflächen. Ein weiteres Kapitel zeigt auf, unter welchen Rahmenbedingungen die aktive Einbringung von Hochmoorvegetation sinnvoll sein kann.

### 1.3. Ziele und Leitbilder der Renaturierung

Die Renaturierung von Hochmoorflächen zum Zwecke des Naturschutzes verfolgte bisher im Wesentlichen das Ziel der Förderung der Biodiversität, insbesondere die der hochmoortypischen Arten und Lebensgemeinschaften. Im Zuge der Wirkungen des Klimawandels werden in Zukunft große Synergieeffekte für den Klimaschutz durch Verminderung der Emission klimarelevanter Gase erhofft. Durch weitgehende Rückhaltung des lokalen Niederschlagswassers, des Wassers aus Einzugsgebieten von Hochmooren sowie einen Wegfall der Düngung werden zusätzliche Verbesserungen des Landschaftswasserhaushalts in Menge und Qualität erreicht (Abb. 1.1).

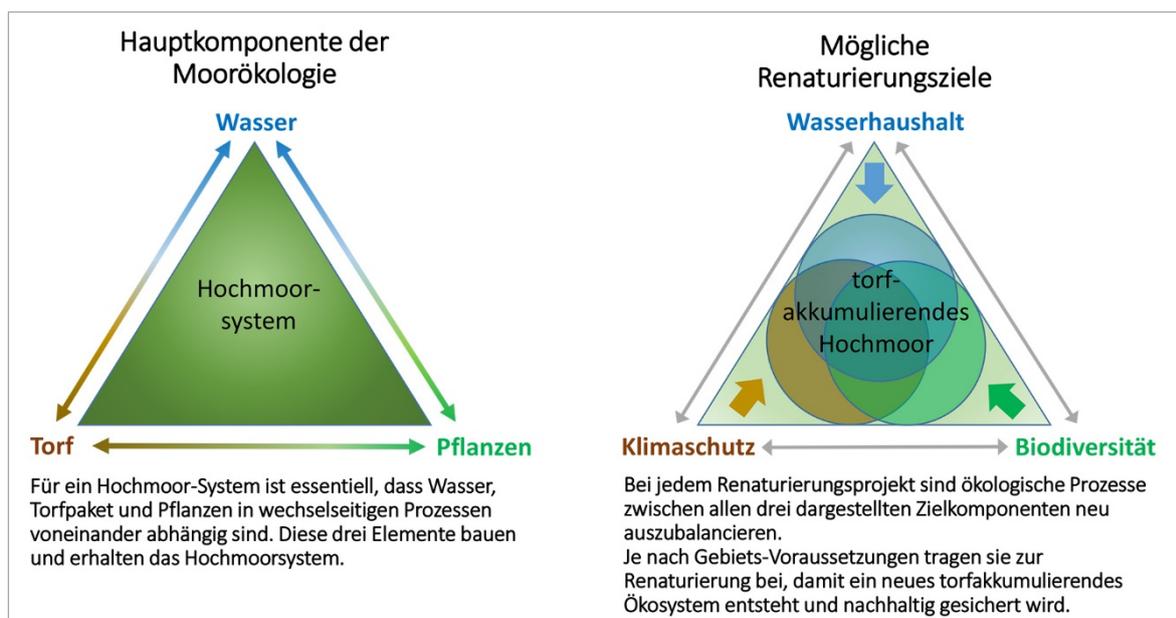


Abb. 1.1: Die möglichen Ziele eines Renaturierungsprojektes spiegelt die Hauptkomponente der Hochmoorökologie wider.

Die örtlichen Rahmenbedingungen unterscheiden sich je nach Einzelgebiet sowohl in natürlicher als auch planungsrechtlicher Sicht stark. Dementsprechend ist nach einer sorgfältigen Bestandsaufnahme die Erreichbarkeit der Hauptziele sowie der jeweiligen Synergien sorgfältig abzuwägen.

Die Ziele einer Hochmoorrenaturierung sind erstens die langfristige Wiederherstellung hochmoortypischer Lebensgemeinschaften, die von Torfmoosen dominiert werden, und zweitens die langfristige und nachhaltige Wiederherstellung eines torfakkumulierenden hydrologischen Regimes, welches typisch für ein Hochmoor ist und einen diplotelmischen Aufbau (Akrotelm und Katotelm) hat (s. Kap. 2.4, Abb. 2.4; ROCHEFORT 2000).

Maßnahmen der Hochmoorrenaturierung sind ein wesentlicher Teil der nationalen Moorschutzziele. Verstärkend wirkt sich die UN-Dekade 2021–2030 zur „Wiederherstellung von Ökosystemen“ aus: Verminderung, Aufhalten und Umkehrung der Degeneration von Ökosystemen sind verstärkt und dringend weiter zu entwickeln (UN ENVIRONMENT PROGRAMME 2021). Niedersächsische Moorschutzmaßnahmen werden infolge dieser Rahmenvorgaben vermehrt zu wichtigen Bausteinen entsprechender Finanzierungsprogramme auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene.

Ziele für die Biodiversität können nur einzelfall-spezifisch unter genauer Vorkenntnis lokaler Standortfaktoren, Art- und Biotopvorkommen und deren Schutzstatus, der Vornutzung etc. mit den zuständigen lokalen/regionalen Fachbehörden festgelegt werden. So müssen vorhandene Eigenschaften (s. Kap. 3) dabei etwa mit den (unter Umständen spekulativen) Entwicklungspotenzialen abgewogen werden (SSYMANK et al. 2015). Dementsprechend sind ausreichend nachvollziehbare Fachdaten aus dem jeweiligen Hochmoorgebiet eine unverzichtbare Grundlage für diese Abwägungsprozesse.

Sollen Flächen mit dem Ziel der Förderung einer hochmoortypischen Flora und Fauna wiedervernässt werden, ist das erste Ziel die Verhinderung eines lateralen und/oder vertikalen Wasserabflusses für die Einrichtung eines oberflächennahen Wasserstands auf den Flächen. Ob diese Flächen einer Dauerpflege unterzogen werden, oder aber als feuchte „Wildnisgebiete“ sich selbst überlassen bleiben, ist gebietsbezogen zu entscheiden. Um ihre langfristige Funktionsfähigkeit zu gewährleisten, bedürfen insbesondere die geschaffenen Infrastruktureinrichtungen (Dämme, Überläufe) in jedem Fall einer dauerhaften Pflege.

Nur in wenigen Fällen sind die Ausgangssituationen so günstig, dass es kurzfristig zur Entwicklung hochmoortypischer Biotoptypen (MB und MH, s. Kap. 8.1.1) kommen wird. Insofern ist den Planungsfaktoren „Zeit“ und „Geduld“ hohe Bedeutung beizumessen. So wird es aufgrund der eutrophen Verhältnisse im Oberboden bei landwirtschaftlich vorgemasteten Moorflächen mittelfristig auch dann nicht zu einer flächigen Entwicklung von hochmoortypischen Lebensgemeinschaften kommen, wenn man den eutrophen Oberboden entfernt (s. Kap. 6).

Positive Effekte von Wiedervernässungen für den Klimaschutz und Landschaftswasserhaushalt treten im Wesentlichen bereits durch die Erstinstandsetzung der Hochmoorflächen ein. Durch den Rückbau von Entwässerungssystemen, Schaffung von Dämmen, ebenen Poldern und Überläufen wird Niederschlagswasser oberflächennah im Landschaftsraum zurückgehalten und die Mineralisation der Torfe weitgehend unterbunden. Auch wenn die Wiedervernässung zeitlich begrenzt zu Methanemissionen führt, ist, langfristig betrachtet, die Klimawirkung nach Vernässung vor allem aufgrund der vermiedenen CO<sub>2</sub>-Freisetzung i. d. R. deutlich geringer (GÜNTHER et al. 2020, IPCC 2014, TIEMEYER et al. 2020). Neben der Vernässung bewirkt die Aufgabe der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung (vor allem durch Reduktion der N-Vorräte im Oberboden) ebenfalls eine Verminderung der CO<sub>2</sub>- und N<sub>2</sub>O-Freisetzung (TIEMEYER et al. 2016). Erfolgreiche Neu-Etablierung torfbildender Prozesse bindet darüber hinaus weiteres CO<sub>2</sub> (HÖPER 2015, HUTH et al. 2021).

Angesichts der Folgen des Klimawandels, d. h. längerer Trockenperioden im Sommerhalbjahr bei gleichzeitig zunehmenden lokalen Starkregenereignissen im Winterhalbjahr, können von der Wasserrückhaltung für renaturierte Hochmoore auch benachbarte Renaturierungsflächen oder benachbarte Ökosysteme profitieren. Wasserrückhaltung kann im renaturierten Hochmoorsystem, in einer Pufferzone um ein degeneriertes Hochmoor oder in seinem Einzugs-/Infiltrationsgebiet durchgeführt werden. Eine Wasserrückhaltung in der Pufferzone um ein degeneriertes Hochmoor hätte den Vorteil, eine Renaturierungsfläche mit Regenwasser in den trockenen Monaten zu versorgen und eine Distanzvergrößerung zu eutrophierenden Landnutzungseinflüssen zu schaffen. Durch den Wegfall der Düngung auf vormals landwirtschaftlich genutzten Hochmoorböden werden Austräge in die oberflächennahen Gewässer (insbesondere von Phosphor) minimiert.

## 1.4. Begriffsdefinitionen

Der deutsche Begriff „Renaturierung“ wird im Kontext dieses Leitfadens im Sinne des neuen UN-Programms „Restoration of Ecosystems“ eingesetzt (UN ENVIRONMENT PROGRAMME 2021). Eine Renaturierung als einfaches „zurück zur Natur“ zu verstehen, ist zu Recht in Fachkreisen kritisiert worden (WIEGLEB et al. 2013), weil eine vollständige Wiederherstellung des ursprünglichen Hochmoorökosystems nicht mehr möglich ist. Bei der Renaturierung von Hochmooren geht es darum, dass das Ökosystem sich *in Richtung* eines naturnahen Hochmoores entwickelt. Nachfolgend werden die Begriffe, die in diesem Beitrag benutzt werden, klar definiert.

**Renaturierung** unterstützt die Entwicklung oder erstmalige Herstellung eines durch den Menschen mehr oder weniger stark degenerierten Ökosystems in Richtung eines Referenzökosystems (KIEHL 2019). Für Hochmoorflächen steht die Entwicklung einer hochmoortypischen Vegetation im Vordergrund. Dies geschieht auf Hochmoorstandorten durch die Wiederherstellung möglichst hochmoortypischer Standortfaktoren (im Wesentlichen möglichst nass, möglichst nährstoffarm, möglichst großräumig, möglichst offen). Die Renaturierungsmaßnahmen müssen durch kontinuierliche Unterhaltung der Vernässungsinfrastruktur gesichert werden.

**Instandsetzungsmaßnahmen** (zur Verstärkung auch als Erstinstandsetzungsmaßnahmen bezeichnet) stellen im Sinne von einmaligen Renaturierungsmaßnahmen (die nur einmal durchgeführt und finanziert werden) elementar wichtige Standortbedingungen für die Regeneration des Ökosystems wieder her. Diese sind so zu dimensionieren, dass sie über Jahrzehnte Bestand haben. Eine Nacharbeitung oder Reparatur scheidet oft aus, da sie weder technisch umsetzbar ist, noch entsprechende Finanzmittel zur Verfügung stehen.

**Nacharbeiten** von Instandsetzungsmaßnahmen sind grundsätzlich zu vermeiden. Sie sind nötig, wenn die Anforderungen und Erwartungen an erste Instandsetzungen nicht in dem gewünschten Umfang erfüllt werden. Ideal ist es, die Arbeiten so zu planen und überdimensioniert zu bauen, dass keine Nacharbeiten notwendig sind. Nacharbeiten werden z. B. notwendig, wenn alte Staupunkte abgesackt sind, Dämme und Verwallungen z. B. infolge von

Torfmineralisation nicht mehr voll wirksam sind, Verbirkungen und Pfeifengras (*Molinia caerulea*) verstärkt auftreten, Besenheide (*Calluna vulgaris*) überaltert oder schon abgestorben ist und ganz neue verbesserte Vernässungsmöglichkeiten technischer Art entwickelt und anwendbar geworden sind.

**Dauerpflegemaßnahmen** erfolgen mehrfach und je nach Bedarf jährlich oder im Abstand von wenigen Jahren, um die im Rahmen der Erstinstandsetzung geschaffenen Anlagen funktionsfähig zu halten (BELTING & OBRACAY 2016). Dazu zählen die regelmäßige Unterhaltung der Dämme und Überläufe sowie die aus Gründen des Artenschutzes erforderliche Verhinderung von Gehölzaufkommen durch Mahd oder Beweidung.

**Wiedervernässung** bedeutet in diesem Dokument die Wiederherstellung einer hochmoortypischen Hydrologie in Menge und Qualität. Diese erfolgt z. B. mit der gebietsinternen Verfüllung von Gräben sowie dem Bau von Dämmen und Überläufen zur Verhinderung des lateralen Abflusses von lokalem Regenwasser (s. Kap. 4).

**Degeneration** (auch Degradation genannt) beschreibt die meist von Menschen verursachten Störungen oder Belastungen, die dazu führen, dass charakteristische Arten aussterben oder bestimmte Ökosystemfunktionen (z. B. CO<sub>2</sub>-Speicherung, Puffern aus dem regionalen Wasserhaushalt) nicht mehr gewährleistet werden (KIEHL 2019).

## 1.5. Hintergrundbelastung als Problem für die Renaturierung

Die ökologische Gesamtbelastung für Hochmoorlebensgemeinschaften im Hintergrund wächst. Großräumige ökologische Hintergrundbelastungen haben auch in Niedersachsen zugenommen (ADLER et al. 2017, OPPERMAN et al. 2020, SRU 2015). Die Belastungen durch Entwässerung, Eutrophierung, Fragmentierung und Klimawandel beeinträchtigen großräumig die ökologischen Funktionen von Hochmooren. Sie wirken dabei nicht getrennt voneinander, sondern verstärken sich gegenseitig. Betroffen davon sind besonders nährstoffarme, nasse Standorte, wie z. B. Hochmoorlebensräume und ihre Wassereinzugsgebiete. Weiter verschärft werden diese Belastungen durch aktu-

elle Entwicklungen des Klimawandels (ESSL, LEISER & SEIDL 2013), z. B. durch Verschiebung der jährlichen Niederschlagsmengen im Jahresverlauf.

Auf landwirtschaftlich genutzten Hochmoorböden findet eine Entwässerung durch Gräben, Grütten und Dräne statt. Da die Standorte überwiegend durch klimatisch bedingten Wasserüberschuss (Niederschlag abzüglich Verdunstung) gespeist werden und dieser im Sommerhalbjahr geringer ausfällt, fallen die Wasserstände stark ab. Darüber hinaus verursachen (über-)regional zusammenhängende Landschaftsentwässerungssysteme eine großräumige Absenkung von Wasserständen in den Grundwasserkörpern unterhalb der Torfe. Tiefe Vorflutssysteme (z. B. in den Mineralboden einschneidende Gräben) führen neben dem Regenwasser auch hoch anstehendes Grundwasser ab. Das lässt die natürlicherweise saisonalen Wasserstandsschwankungen im Hochmoor zusammenbrechen (THOM et al. 2019). Durch die Vergrößerung der Bereiche mit Sauerstoffkontakt (aerobe Bereiche) im Torfkörper wird der essentielle Torfbildungsprozess zerstört bzw. in eine Mineralisation umgekehrt.

Die Eutrophierung spielt vor allem in den von Natur aus oligotrophen, d. h. nährstoffarmen, Hochmooren eine Rolle. Nährstoffbelastungen im ungenutzten Hochmoor können aus verschiedenen Quellen stammen. So tragen vor allem atmosphärische Deposition, d. h. der Eintrag von Nährstoffen aus der Luft, zur Belastung bei. In den landwirtschaftlich genutzten Hochmooren kommt es zu einem direkten Eintrag von Stickstoff und Phosphor in den Torfkörper.

Naturnahe Hochmoore leiden stark unter Fragmentierung. In Deutschland sind wachsende Moore auf 1 % ihrer ehemaligen Ausdehnung zurückgedrängt worden (JOOSTEN 2012). Das führte zu einer Zerschneidung dieser ehemals landschaftsbestimmenden Lebensräume. Ehemals große Moorflächen finden sich nur noch mosaikartig als kleine Moorfragmente in der Landschaft. Für Restpopulationen von Flora und Fauna ehemals zusammenhängender Großlebensräume hat das zwei wichtige Konsequenzen: Sie werden auf Reliktflächen sowohl kleiner als auch isolierter. Dies führt zu einer Veränderung der Populationsstruktur, zum Verlust ihrer Ausbreitungsfähigkeit und zu einem Rückgang der genetischen Vielfalt. All das gefährdet das langfristige Überleben der Populationen (YOUNG, BOYLE & BROWN 1996). Aus den

ursprünglich weiträumig zusammenhängenden, gleitenden hydrologisch-hydrochemischen Gradienten sind oft nur noch kleine, isolierte hydraulische Moorfragmente verblieben.

Hochmoore sind vom Klimawandel besonders gefährdet, weil der Moorwasserhaushalt ausschließlich vom Regen und von hohen Wasserständen in der Landschaft geprägt wird. Die modellierten Klimaszenarien zeigen, dass viele Hochmoore bis zum Ende des 21. Jahrhunderts einem hohen klimatischen Risiko ausgesetzt werden. Die zu erwartende Erhöhung der Jahresdurchschnittstemperatur in Niedersachsen (Zunahmen um +0,8 bis +2,0 °C) würde für den Zeitraum 2021–2050 allein die Verdunstungsverluste in einigen Regionen Niedersachsens um bis zu 19 % steigen lassen (DWD 2018). Dies mindert die bisherigen Möglichkeiten zur Grundwasserneubildung (KLIMAKOMPETENZNETZWERK NIEDERSACHSEN 2019) und zur Wasserrückhaltung in Hochmooren. Zusätzlich ändert sich der Jahresverlauf des Niederschlags. Es gibt mehr Niederschlag im Winterhalbjahr und weniger im Sommerhalbjahr. Diese Verschiebung des Niederschlags spielt für die Hochmoore eine entscheidende Rolle, weil das Wasser in der Vegetationsperiode fehlt.

Diese Komponenten haben bereits Auswirkungen auf die Erfolgchancen von Hochmoorrenaturierungsvorhaben. Vermehrt lokale Starkregen bringen die technischen Einrichtungen zur Wasserrückhaltung durch kurzfristige Spitzenwasserlasten an ihre Grenzen. Extreme und längere Austrocknungsphasen führen zu Leckagen und Trockenrissen in Schwarztorfwällen und in nicht mehr überstauten, exponierten Resttorfschichten. Die dadurch früh vertrocknete Vegetation verursacht, u. a. durch Nahrungsmangel, Populationseinbrüche und Artenverluste bei davon lebenden Tier-Populationen (z. B. Insekten).

Mit dem Klimawandel verändert sich nicht einfach nur ein weiterer ökologischer Faktor. Es ändern sich damit die wesentlichen Rahmenbedingungen für sämtliche Hochmoorfunktionen. Die Risiken der Renaturierung sind dadurch auch für den Hochmoorschutz weiter gestiegen.

## 2. Hydrologische Kernprozesse von Hochmooren

LUDWIG STEGINK-HINDRIKS, HEINRICH HÖPER & MARTHA GRAF

Moore sind aufgrund besonderer Umweltbedingungen entstanden. Neben klimatischen Verhältnissen spielen dabei die Position in der Landschaft, die (hydro-)geologischen und hydrologischen Verhältnisse je Gebiet eine besondere Rolle. Viele Moore des niedersächsischen Tieflandes sind nach der letzten Eiszeit entstanden. Die damaligen Meeresspiegelanstiege führten in mehreren Schüben zu einem Rückstau der binnenländischen (Grund-)Wasserabflüsse. In Folge dessen verursachten steigende Grundwasserstände Versumpfungen und Moorbildungen in weiten Teilen des Binnenlandes. Durch dieses mineralisch geprägte Grundwasser kam es zunächst zu (minerogenen) Niedermoor-Bildungen. Auf diesen bildeten sich anschließend dort Hochmoorkuppen, wo sie dem mineralisch geprägten Grundwasseranstieg entwachsen konnten. Die (ombrogenen) Hochmoore sind also entweder als Kuppen auf Niedermooren aufgewachsen oder „wurzelecht“ direkt auf einem geringdurchlässigen, zumeist mineralischen Untergrund entstanden (GÖTTLICH 1990, SUCCOW & JOOSTEN 2001).

Um Hochmoore erfolgreich renaturieren zu können, ist es hilfreich, sich zunächst über ihre wesentlichen ökologischen Prozesse und die steuernden Hauptfaktoren Klarheit zu verschaffen. Das ist eine Anforderung an praktische Renaturierungsvorgaben (UN ENVIRONMENT PROGRAMME 2021). Weil Wasser eine entscheidende Rolle in Mooren spielt, befasst sich dieses Kapitel als Schwerpunkt mit den hydrologischen Kernprozessen von Hochmooren.

Es müssen Maßnahmen etabliert werden, die geeignet sind, hydrologische Verhältnisse einzustellen, die den noch vorhandenen Torfkörper bestmöglich konservieren und im Idealfall das Wachstum torfbildender Pflanzen sowie die Ablagerung von vertorfem organischen Material als Ausgangspunkt für eine Torfbildung initiieren und stabilisieren können.

### 2.1. Wie funktioniert ein unberührtes Hochmoor?

Die folgenden Ausführungen über die natürlichen hydrologischen Rahmenbedingungen eines unberührten Hochmoores bieten die Basis für ein besseres Verständnis von hydroökologischen Ansatzpunkten für nachhaltige Maßnahmeneffekte in degenerierten Hochmooren.

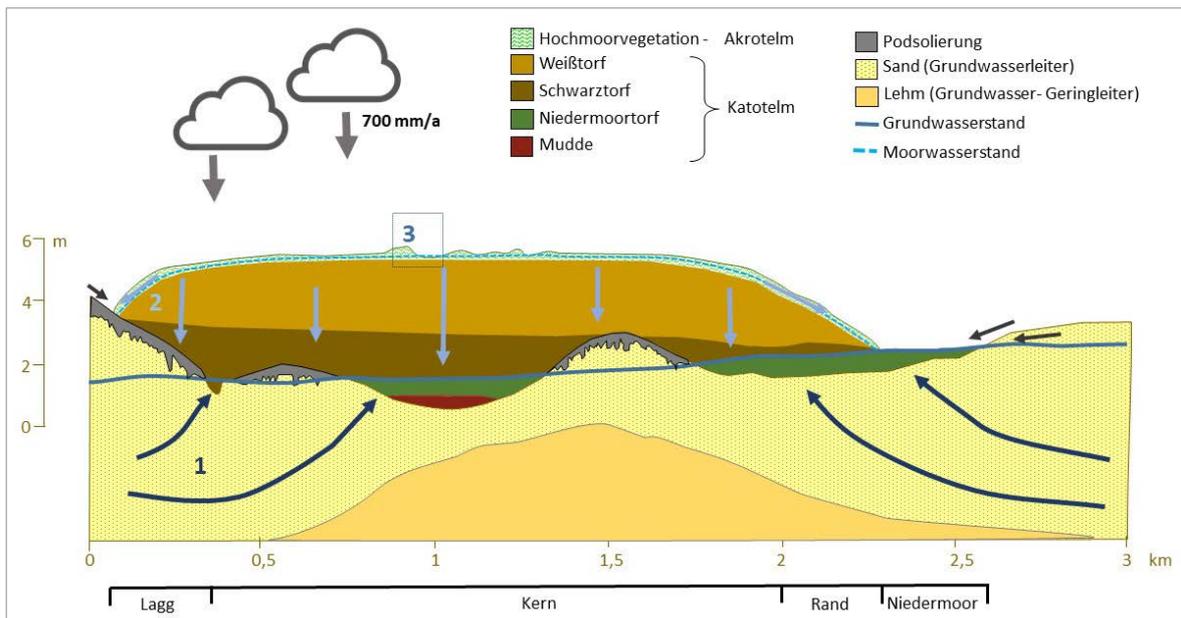


Abb. 2.1 Schema: Landschaftsposition, Wasserhaushalt und Torfbildung prägen die natürlichen Prozesse der Hochmoorbildung (zu den Ziffern 1, 2, 3 siehe nachfolgenden Text). Verändert, nach EGGELSMANN (1990), VAN DIJK et al. (2019), VAN DUINEN et al. (2018).

Die **Wechselbeziehungen im Wasserhaushalt** ungestörter Hochmoore (Abb. 2.1) lassen sich auf drei räumlichen Maßstabsebenen zusammenfassen:

**Großräumig zwischen dem Hochmoorsystem und seinem umgebenden (Grund-)Wassereinzugsgebiet (1):** Naturnahe Hochmoore sind von Regenwasser geprägte (ombrogene) Landschaftsbestandteile. Liegt die Hochmoortorfbasis in einem Teilgebiet auf nicht oder gering wasserleitenden Mineralbodenschichten (Podsole, Eisen- oder Eisen-Mangan-Bänder, Orterde, Geschiebelehm), ist sie dort wenig bis gar nicht vom Grundwasser beeinflusst. Die Renaturierung solcher (Teil-)Flächen ist, hydrologisch gesehen, einfacher, als wenn es solche Stauschichten nicht gibt. Der Grundwassereinfluss an der Moorbasis ist vor allem dort gegeben, wo Hochmoore auf grundwasserbeeinflussten Niedermoor-torfen aufgewachsen sind, oder im Lagg (Randsumpf) der Hochmoore.

**Innerhalb des Hochmoores (2):** Essentiell für ausbalancierte Wechselbeziehungen zwischen Torfbildung, Wasserhaushalt und wachsenden Torfmoosen sind hier lange Durchströmungstrecken von vorwiegend horizontal differenzierter Wasserbewegung in der obersten lebenden, torfbildenden Torfmoos-schicht (Akrotelm). Die

Wasserbewegung im Akrotelm hängt eng zusammen mit der darunter anschließenden zersetzten Torfschicht (Katotelm). Ihr Porenvolumen nimmt unterhalb des Akrotelms in kurzen Tiefenstufen um ein Vielfaches ab.

Dies bewirkt eine mit der Tiefe immer stärker zunehmende gehemmte vertikale Wasserdurchlässigkeit. Gleichzeitig bewirkt sie einen Rückstau in Richtung Akrotelm (Abb. 2.1). Durch die permanente Wassersättigung im Katotelm wird Kohlenstoff vor Mineralisation geschützt. Eine oxidative Kohlendioxid-Freisetzung bleibt somit unterbunden. Doch auch die für das Torfmooswachstum im Akrotelm wichtigen Methanbildungs- und -auftriebsprozesse haben hier, im Katotelm, ihren Ursprung.

Wasserspiegelschwankungen führen zur „Mooratmung“. Im Winterhalbjahr schwimmt die oberste Torfmoos-schicht mit zunehmendem Wasservorrat auf, wodurch Wasser gespeichert und ein oberflächlicher Wasserabfluss vermindert wird. Im Sommerhalbjahr, bei tieferen Wasserständen, senkt sich die Moorfläche, und die Torfmoose an der Oberfläche bleiben in der Nähe der gesättigten Schichten. Mooratmung ist der reversible Mechanismus, bei dem sich die Mooroberfläche bei viel Wasserangebot

hebt und bei wenig Wasserdargebot wieder senkt (SUCCOW & JOOSTEN 2001).

**Kleinräumig in der obersten, torfbildenden Hochmoor-Schicht (3):** Der Akrotelm (30 bis 70 cm mächtig) wirkt hydraulisch horizontal differenzierend durch seine prägenden Hochmoorbult- und -schlenkensysteme. Verursacht werden diese überwiegend horizontalen Wasserbewegungen durch die permanente Wassersättigung des darunter anschließenden Katotelm. Die stärker strukturierten Bult-Torfmoose können zwischen ihren groben Stängel- und Blattstrukturen und in ihren Zellen Wasser länger und höher halten als Schlenken-Torfmoose. Letztere können wiederum durch ihre hinfallige Struktur als flutende Pflanzenteppiche feine, jedoch dichtende Torfschichten aufbauen. Diese „wie Buchseiten“ feinen Torfschichtungen sind vertikal geringer durchlässig als die Torfe aus Bulten-Bildung. So bilden die Verbreitungsmuster von Bulten- und Schlenken-Systemen Ausgangspunkte für eine Differenzierung der Hochmoor-Torfe mit verschiedenem Porenvolumen und differenzierter Wasserdurchlässigkeit (REGAN et al. 2019). Sie sind auf diese Weise auch prägend für die Verbreitungsmuster von hochmoortypischer Vegetation und der Hochmoor-Fauna.

## 2.2. Welche hydrologischen Veränderungen kennzeichnen degenerierte Hochmoore?

Die ehemals prägenden, ökologisch zusammenhängenden Prozesse natürlicher Hochmoore sind heute hydrologisch zumeist fragmentiert oder stark verändert (degeneriert). Natürliche hochmoortypische Abläufe wie Wasserspeicherung, laterale und vertikale Durchströmung, CO<sub>2</sub>-Speicherung (Torfmooswachstum) oder Mooratmung können nur noch in deutlich geringerem Umfang stattfinden. Dies ist am

deutlichsten nach Abtorfungen. Die verbleibende Torfoberfläche des Hochmoor-Restes besteht dann nicht mehr aus dem Zusammenwirken von Akrotelm-/Katotelm-Prozessen, sondern hauptsächlich nur noch aus einem degenerierten Rest-Katotelm, auch Haplotelm genannt. Im Haplotelm kann weniger Wasser gespeichert werden als im Diplotelm-System (aus Akrotelm und Katotelm), da das Porenvolumen verringert ist und die aus Gefäßpflanzen bestehende Vegetation, im Gegensatz zu den ehemals etablierten Torfmoosen, nicht aufschwimmen kann. Ohne einen ganzjährig stabilen, flachen Wasserstand können Torfmoose sich schlecht etablieren. Denn der Wasserstand sackt in den feinporigen Resttorfen aufgrund des geringeren Gesamtporenvolumens in den Sommermonaten stärker und schneller ab. Der Haplotelm ist tief durchlüftet (aerob), sodass Torfakkumulation nicht möglich ist und Torf mikrobiell oxidiert wird (LINDSAY 2010). Statt CO<sub>2</sub>-Bindung erfolgt eine CO<sub>2</sub>-Freisetzung, und statt Wasserspeicherung erfolgt lateraler Wasserabfluss in den Wintermonaten und Austrocknung im Sommerhalbjahr. Einzelne Hochmoor-Arten wie Glockenheide und Wollgras können zwar auch hier lokale Populationen aufbauen, allerdings beschleunigt ihre verstärkte Durchwurzelung der Resttorfaufgabe den Luftzutritt und die weitere Torfzersetzung (Abb. 2.1).

Durch tief eingeschnittene, teils weitläufige Entwässerungsnetze sind die Reste der ehemaligen Hochmoore in kleine hydrologische Einheiten fragmentiert. Die Flächennutzung und die damit verbundene Entwässerung verändert sie weiter, und aus CO<sub>2</sub>-Speichersystemen wurden Treibhausgas-Quellen. Ihre ursprünglich gleitenden, graduellen ökologischen Übergänge zwischen Kern, Rand und Lagg sind einförmig überprägt und unterbrochen.

Die drei Ebenen aus Kapitel 2.1. bilden im Folgenden eine Referenz für Ansatzpunkte hydrologischer Maßnahmenkonzepte in degenerierten Hochmooren (Abb. 2.2).

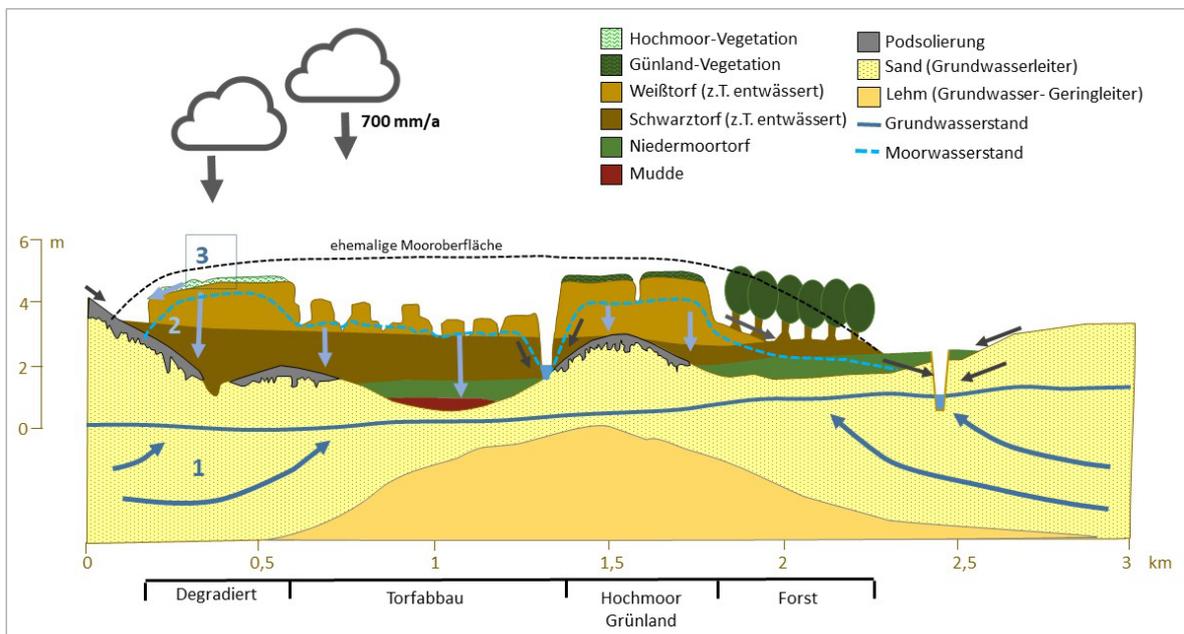


Abb. 2.2: Schema einer degenerierten Hochmoorlandschaft in Folge von Entwässerung und Hochmoor-Nutzung. Wesentliche Veränderungen in Hochmoor- und Landschafts-Wasserhaushalt entstehen durch Fragmentierung des hydraulischen Systems in kleine Einheiten. Die Ziffern 1, 2, und 3 der Abbildung verweisen auf wesentliche Wasserhaushalts-Ebenen von Hochmooren (Erläuterung der Ziffern: siehe nachfolgender Text). Verändert, nach EGGELSMANN (1990), VAN DIJK et al. (2019), VAN DUINEN et al. (2018).

Die Fragmentierung einer Hochmoorlandschaft durch Entwässerung (und Landnutzung) kann man auf drei Maßstabsebenen betrachten (Abb. 2.2):

**Großräumig lateral zwischen Hochmoorgebiet und gebietsumgebendem (Grund-)Wassereinzugsgebiet (1):** Die Fragmentierung der lateralen hydrologischen Austauschprozesse zwischen Wassereinzugsgebiet und Hochmoor trennt die natürlichen Hochmoorgradienten. Wasserentnahmen und eine Vertiefung der Landschaftsentwässerung bewirken für diese Moorbereiche Grundwasserabsenkungen an Moorrand und Torfbasis sowie verstärkte Wasserverluste und Zersetzung des Torfkörpers.

**Innerhalb des Hochmoores (2):** Durch die Fragmentierung ursprünglich langer lateraler Strömungstrecken direkt unterhalb der Mooroberfläche sind Hochmoorbiotopverbund und Torfbildungsprozess (Diplotelm) zerstört. Die Moorentwässerung und Nutzung durch Torfabbau, Landwirtschaft und Forst lassen kleinere und isolierte Hochmoorrelikte entstehen. Durch

die Vergrößerung der Distanzen zwischen Poldern sowie neue, stufige Geländehöhenunterschiede vermindert sich die Durchströmungskapazität. Die Geländehöhenunterschiede infolge Teilabtorfung, kleinräumig auch durch bäuerlichen Torfstich, führen zu einer starken Austrocknung exponierter Hochmoorblöcke und erschweren die Vernässung infolge der stark unebenen Geländeoberfläche. Lokal wird die Wasserspeicherungskapazität durch Entwässerung und die dadurch entstehenden irreversiblen Änderungen im Torf, vor allem durch Sackung und Schrumpfung, vermindert (s. Kap. 6.1.1).

**In oberster Resttorfschicht (3):** Nach Entwässerung und Nutzung mineralisiert die exponierte Resttorfschicht (Haplotelm) durch die ungehinderten Einwirkungen von Sauerstoff, durch Sonneneinstrahlung sowie Frost (THOM et al. 2019). Durch Sackung, Schrumpfung und Torfmineralisation kommt es zu einer Abnahme des Porenvolumens und damit der Wasserspeicherkapazität sowie der Wasserleitfähigkeit der Torfe. Überschüssiges Wasser wird stärker über die

Oberfläche und weniger durch die verdichteten Torfschichten lateral abtransportiert. Das Wasser wird durch Entwässerungseinrichtungen aus dem Gebiet herausgeführt. Dieses Wasser fehlt den Rest-Torfauflagen in den Sommermonaten, und dies führt zu einer starken Austrocknung der ehemals von einem +/- ganzjährig hohen Wasserspiegel geprägten Standorte. Verbreitungsmuster rezenter Torfbildungsprozesse und der Relikte von Hochmoorlebensgemeinschaften bieten hydrologische und ökologische Beispiele für die Ableitung regionaler Leitbilder und für die Zielsetzung von Renaturierungen.

### 2.3. Hauptkomponenten des Landschaftswasserhaushaltes

Für eine Hochmoor-Renaturierung gilt es, die Komponenten des Wasserhaushaltes dergestalt zu optimieren, dass Wasserverluste verringert oder die Wasserzufuhr erhöht wird, wobei

saisonale Effekte und die erforderliche (Regen-)Wasserqualität zu berücksichtigen sind und auch eine hochmoortypische Vegetation in ihrer Entwicklung gefördert wird.

Die Hauptkomponenten des Wasserhaushaltes lassen sich anhand der allgemeinen Wasserhaushaltsgleichung für Landschaften beschreiben (EGGELSMANN 1990). Auch die Wirkungskette zum Wasserhaushalt von Moorlandschaften lässt sich mit den gleichen Komponenten vereinfacht darstellen (Abb. 2.3).

Der Niederschlag (N) stellt in der Regel die bedeutendste Größe im Wasserhaushalt dar. Er kann in seiner Gesamtmenge und in seiner saisonalen Verteilung vor Ort nicht beeinflusst werden. Es gibt Hinweise, dass sich durch den Klimawandel die saisonale Verteilung der Niederschläge verändert, mit einer Zunahme der Niederschläge im Winterhalbjahr und einer Abnahme im Sommer (s. Kap. 1.5; ESSL, LEXER & SEIDL 2013).

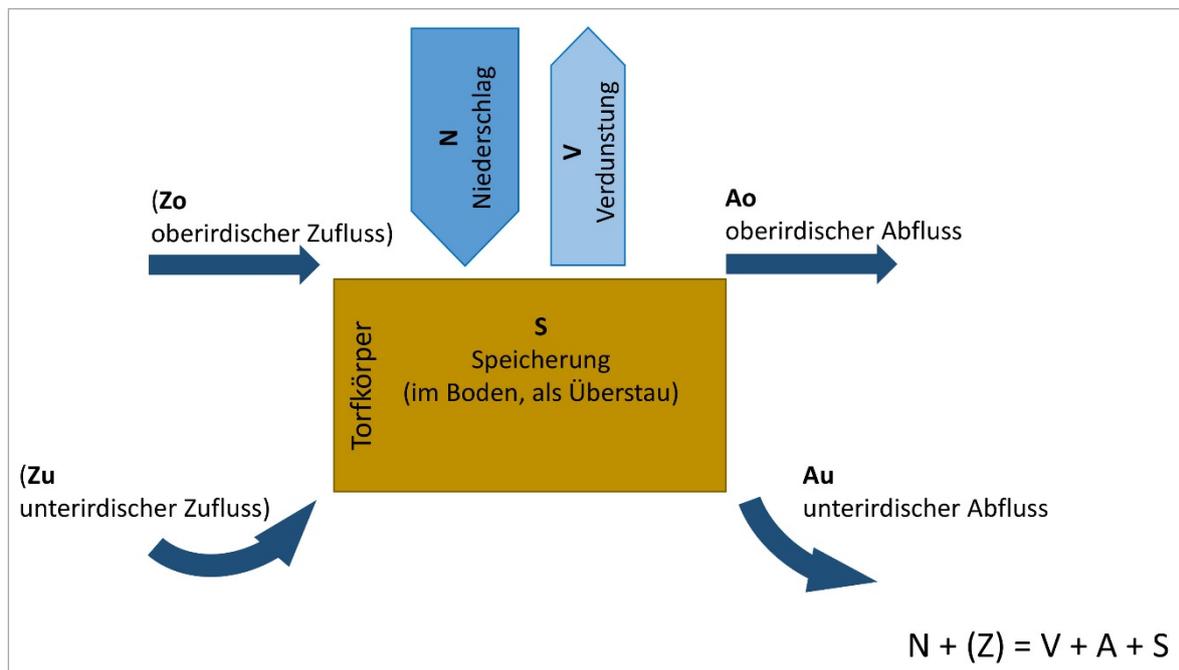


Abb. 2.3: Wasserhaushalt eines Hochmoores.

Bei der Verdunstung ( $V$ ) unterscheidet man die potenzielle und die tatsächliche Verdunstung. Bei der modellhaft abgeleiteten potenziellen Verdunstung wird eine Grasfläche mit vollständiger Vegetation bei ganzjährig hohen Wasserständen unterstellt. Die gute Wasserverfügbarkeit des Bodens, die ganzjährige Vegetation und das Sättigungsdefizit der Luft führen dann zu einer maximal möglichen Verdunstung. Die potenzielle Verdunstung lässt sich relativ einfach ermitteln bzw. es können standardisierte regionale Werte vom Deutschen Wetterdienst (DWD 2019) bezogen werden. Die tatsächliche Verdunstung ist vom tatsächlichen Bewuchs (z. B. Pflanzenarten und Bewuchsdichte, Größe offener Wasserflächen) und vom Wasserbedarf der Vegetation und damit auch den Wasserständen abhängig und aufwändiger zu ermitteln. Bei bewaldeten Mooren spielt auch die Interzeption eine Rolle. Die Klimawirkungsstudie von Niedersachsen prognostiziert eine steigende Verdunstung nicht zuletzt auch aufgrund einer längeren Vegetationsperiode (KLIMAKOMPETENZNETZWERK NIEDERSACHSEN 2019). Dabei sind auch regional unterschiedliche Ausprägungen der Landschaftswasser-Defizite zu erwarten. Am stärksten betroffen scheint das mittlere Niedersachsen (einschließlich Ost- und West-Niedersachsen) zu sein. Durch Vernässungsmaßnahmen mit Wasserstandsanhhebung wird die Wasserverfügbarkeit für die Vegetation und damit die Verdunstung erhöht, andererseits kann durch eine Veränderung der Vegetation, z. B. die Entnahme von Bäumen oder die Ansiedlung von Torfmoosen, die Verdunstung beeinflusst und die Wasserverfügbarkeit verbessert werden.

Die klimatische Wasserbilanz (KWB) als Differenz aus Niederschlag und potenzieller Verdunstung gibt einen ersten Anhaltspunkt für die Wassermenge, die witterungsbedingt am Standort zur Verfügung steht. Von besonderem Interesse ist hier das Wasserdefizit in den Sommermonaten, das im Rahmen von Vernässungsmaßnahmen durch Übertragung von winterlichem Überschusswasser oder durch Wasserzufuhr aus externen Quellen ausgeglichen werden muss.

Ein Zufluss kann oberirdisch ( $Z_o$ ) von benachbarten höher gelegenen Flächen (z. B. über Wasserscheiden im Einzugsgebiet oder lokal höherem Polder mit Überlauf) oder über Gräben aus anderen Gebieten kommen. Bei Hochmooren ist aufgrund der topografischen Lage meist ersteres der Fall. Jedoch kann, z. B. bei den

Geestrandmooren oder bei Gebirgsmooren, auch ein Zufluss über Hangwasser erfolgen. Bei der Nutzung von Zuflusswasser zur Moorvernässung ist auf geringe Nährstoffgehalte zu achten. Der oberirdische Zufluss kann durch Maßnahmen (z. B. Polderung oder Graben-Rückbau) beeinflusst werden. Bei zunehmender Sommertrockenheit infolge des Klimawandels kann es erforderlich werden, weiteres Zusatzwasser zuzuführen, um den Speicher ( $S$ ) aufzufüllen oder die Wasserverluste ( $V + A$ ) auszugleichen.

Der Zufluss kann auch unterirdisch ( $Z_u$ ) erfolgen. Innerhalb der Torfschichten kann ein Zufluss in hängigen Lagen aus höher gelegenen Flächen erfolgen. Von Bedeutung ist der Zufluss über das Grundwasser. Vor allem liegende Niedermoororte haben sich unter Grundwassereinfluss gebildet. Natürliche Hochmoorkörper sind dagegen aus der Reichweite des aufsteigenden Grundwasserspiegels herausgewachsen oder auch durch Stauschichten vom Grundwassereinfluss ausgeschlossen. Deshalb kann in degenerierten (Rest-)Hochmooren infolge von Abtorfung oder Sackung, zum Teil auch in Renaturierungsabschnitten mit schwach ausgeprägten Stauschichten, Grundwasser die neue Geländeoberfläche hydraulisch und nährstoffökologisch prägen. Im Gelände können sich dann, möglicherweise übergangsweise, auch niedermoorartige Pflanzengesellschaften einfinden.

Der Abfluss ( $A$ ) kann sowohl oberirdisch ( $A_o$ ) als auch unterirdisch ( $A_u$ ) stattfinden. Oberirdisch wird das Wasser mit der Neigung über die Mooroberfläche, über Gräben oder, bei Poldern, auch mit Überläufen abgeführt. Der oberirdische Abfluss kann durch Dämme, Anstau oder Verschluss von Gräben oder durch entsprechende Einstellungen der Polderauslässe verringert werden. Der unterirdische Abfluss kann sowohl lateral als auch vertikal erfolgen. Lateral kann Wasser durch gut wasserleitende Torfe (z. B. gering zersetzten Weißtorf) in benachbarte, tiefer gelegene Gebiete abfließen. Der unterirdische laterale Abfluss kann durch im Untergrund verdichtete Dämme oder auch Spundwände verringert oder gar verhindert werden (s. Kap. 4.3). Der vertikale Abfluss wird durch den Schichtenaufbau der liegenden Torfe und des mineralischen Untergrundes sowie durch den hydraulischen Druck des Stauwassers bestimmt. So bilden anstehende intakte Schwarztorfe ab einer bestimmten Mindestmächtigkeit eine weitgehend undurchlässige Schicht (s.

Kap. 3.5). Die Durchlässigkeit wird durch anstehenden Ortstein ebenfalls herabgesetzt. Liegende Niedermoortorfe, vor allem, wenn sie noch Holzbestandteile beinhalten, weisen dagegen höhere hydraulische Durchlässigkeiten auf. Der hydraulische Druck wird bestimmt durch die Differenz aus dem Stauwasserstand in und auf den Torfen (bei Überstau) sowie dem Grundwasserstand im Liegenden. Bei gleichen stratigrafischen Verhältnissen ist der vertikale unterirdische Abfluss umso größer, je höher das Stauwasser und je tiefer das Grundwasser steht. Für Vernässungsmaßnahmen, bei denen möglichst hohe Wasserstände im Torfkörper angestrebt werden, ist daher zum einen eine möglichst mächtige und intakte Stauschicht, andererseits ein möglichst hoher Grundwasserstand anzustreben. Der Gebietsgrundwasserstand wird neben der Witterung durch laterale Zuflüsse aus dem Einzugsgebiet sowie durch Grundwasserentnahmen beeinflusst.

Die Wasserspeicherung (S) stellt eine weitere wichtige Größe des Wasserhaushaltes dar. Bei Vernässung von ausgetrockneten Mooren ist zunächst der Speicher, d. h. luftgefüllte Poren in den Torfen, sowie ggf. ein Überstau aufzufüllen, so dass hier vorübergehend besonders viel zusätzliches Wasser benötigt wird. Wenn es gelingt, im Mittel der Jahre die jährliche Wasserbilanz aus Zufuhr und Abfuhr auszugleichen, kann nach Auffüllen des Speichers davon ausgegangen werden, dass die Speicheränderung über die Jahre  $\pm 0$  ist und somit bei Jahresbilanzen nicht mehr berücksichtigt werden muss. Der Klimawandel stellt dabei die handelnden Personen vor wachsende Herausforderungen. Jahreszeitlich spielt die Speicherfunktion in jedem Fall eine besondere Rolle. So ist es sinnvoll, den Wasserspeicher durch höhere Wasserstände, z. B. durch Überstau, in den Wintermonaten aufzufüllen, um Wasser für die Sommermonate mit ggf. negativer klimatischer Wasserbilanz zu bevorraten und das Abfallen der Wasserstände zu begrenzen (Abb. 5.3). In besonderen Fällen kann es auch möglich sein, externe Wasserspeicher anzulegen; dies wird aber aus Kostengründen nur selten zu realisieren sein.

Infolge der zahlreichen Wechselwirkungen zwischen den o. a. Komponenten des Wasserhaushaltes ist es schwer, pragmatisch Grenzwerte für einzelne Parameter zu benennen, z. B. für den Niederschlag. So sind in Niedersachsen Hochmoore sowohl bei niedrigen Nie-

derschlagsmengen im eher kontinental geprägten Osten (z. B. Großes Moor bei Gifhorn) als auch bei hohen Niederschlagsmengen in den Gebirgsmooren sowie im küstennahen atlantischen Klimabereich entstanden. In Kapitel 3 wird die klimatische Wasserbilanz im Sommerhalbjahr als ein Kriterium zur Abschätzung eines möglichen Renaturierungserfolges vorgeschlagen.

Bezüglich einer weitgehenden Minimierung vertikaler Abflüsse wird auf Abtorfungsflächen der Verbleib einer mindestens 50 cm mächtigen, geringdurchlässigen Stauschicht aus anstehendem, intaktem Schwarztorf als ausreichend angesehen. Dieser Wert wird angenommen, um nach Abtorfung eine erfolgreiche Renaturierung durch Vernässung sicherzustellen (MU 2011b).

#### 2.4. Interaktion von Vegetation und Wasserhaushalt in wachsenden Hochmooren

Zwei hydromorphologische prägende Torfschichten bestimmen wachsende Hochmoore. Sie werden als zusammenwirkende Schichten mit Akrotelm und Katotelm bezeichnet (Abb. 2.4). Dieser zweischichtige Aufbau (Diplolelm-Struktur) führt zu einer Optimierung der hydrologischen Bedingungen für Wachstum und Torfbildung durch Torfmoose.

Der Akrotelm ist die obere hydromorphologische Schicht typischer Hochmoore. Sie wird vor allem durch hydraulische Funktionen der Torfmoose als lebende Vegetationsschicht und als poröses Medium geprägt. Die unterste Übergangsschicht des Akrotelms zum Katotelm bilden die mit den darüberliegenden, lebenden Torfmoosstängeln noch verbundenen, jedoch abgestorbenen, weitgehend gut erhaltenen Pflanzenbestandteile, die den beginnenden Bereich der Torfbildung markieren. Der Akrotelm ist für den Wasserhaushalt wachsender Hochmoore und für das Torfwachstum sehr wichtig. Er besitzt eine Schwammstruktur, die ein Aufschwimmen und Absinken der Vegetation mit steigenden und fallenden Wasserständen erlaubt und infolge der guten Wasserleitfähigkeit die horizontale Wasserverteilung erleichtert. In Trockenphasen gehen die Torfmoose in einen Bleichzustand über, wodurch die Einstrahlung stärker reflektiert und die Transpiration herabgesetzt wird. Dadurch werden die Temperatu-

ren unterhalb der Torfmooschicht herabgesetzt und die Verdunstung verringert, so dass die Mineralisation der darunterliegenden Pflanzenbestandteile verlangsamt wird. Ein funktionsfähiger Akrotelm erlaubt es, höhere Wasserstände im Winterhalbjahr einzustellen, ohne dass die Hochmoorvegetation nachhaltig, z. B. infolge Überstaus, deutlich beeinträchtigt wird. In den Sommermonaten werden durch ihn die

Wasserverluste durch Verdunstung herabgesetzt, und die Vegetation weist eine gewisse Resilienz gegenüber Trockenheit auf (BLANKENBURG et al. 2022). Für die Gewährleistung möglichst guter hydrologischer Bedingungen in Hochmooren ist somit neben den abiotischen Faktoren eine Pflanzendecke aus hochmoortypischer Vegetation mit funktionierendem Akrotelm besonders wichtig (GÖTLICH 1990, SUCCOW & JOOSTEN 2001).

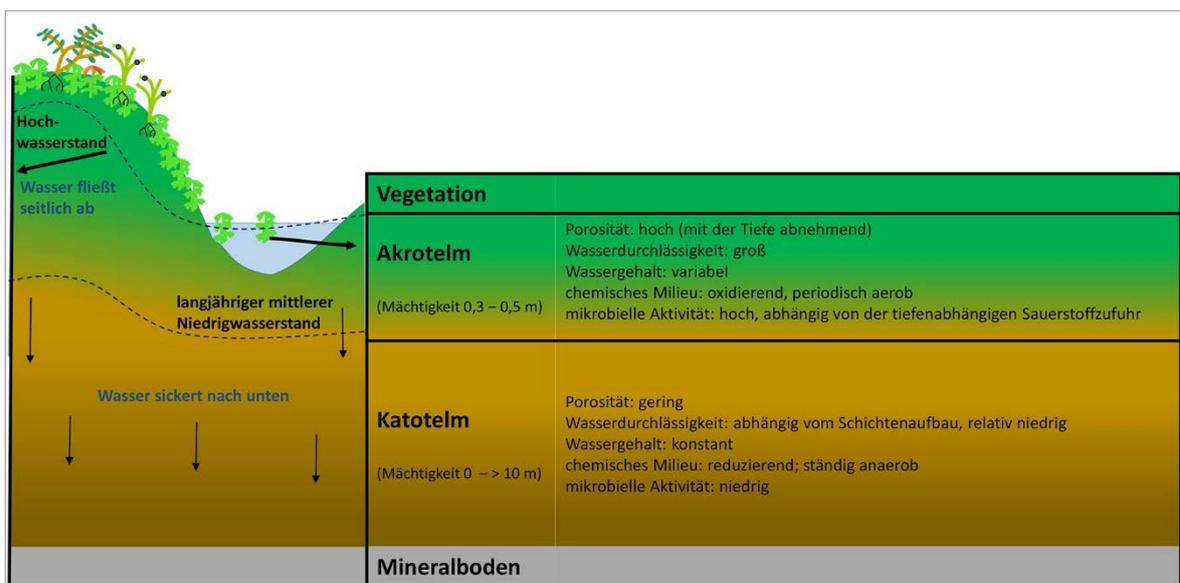


Abb. 2.4: Zweischichtiger Moorkörperaufbau: Akrotelm und Katotelm; geändert, nach SUCCOW & JOOSTEN (2001).

Der Katotelm ist der darunterliegende torferhaltende Bereich, der durch reduzierende Bedingungen gekennzeichnet ist. In diesem Bereich laufen überwiegend anaerobe Prozesse ab, die zu einer Produktion von Methan führen. Organische Bestandteile werden humifiziert, aber nicht mineralisiert, so dass die organische Substanz als Torf erhalten bleibt. Hydrologisch erfüllt der Katotelm zwei Funktionen. Die oberen, meist weniger zersetzten Torfschichten (teilweise Weißtorf) besitzen infolge der hohen Porosität ein hohes Wasserspeichervermögen und erlauben eine gleichmäßige horizontale Verteilung des Porenwassers in den gut wasserleitenden Torfen. Bei langjähriger Entwässerung und landwirtschaftlicher Nutzung der Moorstandorte kommt es zu Sackungsprozessen, durch die das Wasserspeichervermögen und die Wasserleitfähigkeit im oberen Katotelm heruntergesetzt werden (Abb. 2.2; s. Kap. 6.1). Die unteren,

stärker zersetzten Torfe (z. B. Schwarztorf) bilden einen Staukörper, der dazu führt, dass der Standort ein eigenes (Stau-)Wasserregime aufbauen kann. Bei abgetorften und für die Wiedervernässung vorgesehenen Mooren bleiben etwa 0,5 m anstehende Schwarztorfe als Staukörper stehen. Die hydrologische Funktion des oberen Katotelms, d. h. die horizontale Verteilung des Wassers in den grobporösen Schichten ohne Auftreten freier Wasserflächen, die anfällig für Wellenschlag wären, kann durch eine Abdeckung der Schwarztorfe mit nährstoffarmer Bunkererde oder durchgefrorenen Bröckeltorfen vorübergehend als Ausgangspunkt für eine Vernässung übernommen werden (GÖTLICH 1990, SUCCOW & JOOSTEN 2001).

Ziel der Renaturierung ist der langfristige Wiederaufbau einer Diplotelm-Struktur. Dies bedeutet das Vorhandensein des Akrotelms und Katotelms, das zu einem Stabilisieren der Hydrologie und Torfakkumulation führt.

### **3. Abschätzungsrahmen für den Erfolg von Wiedervernässungsmaßnahmen auf Hochmoorstandorten**

BERND HOFER, EVA ROSINSKI &  
JOACHIM BLANKENBURG

Die dauerhafte Rückhaltung von Regenwasser am Standort stellt die zentrale Voraussetzung für eine Besiedlung mit hochmoortypischen Tier- und Pflanzenarten und die Minimierung der Torfmineralisation (insbesondere mit Bezug auf die landwirtschaftlich vorgenutzten Flächen) dar. Das Ziel ist hierbei die möglichst schnelle Ausbildung eines neuen Akrotelms, um wieder zu einem stabilen, selbstregulierenden System zu kommen, das bei ausreichender Niederschlagszufuhr zu einer erneuten Hochmoorbildung und damit zur Kohlenstoffakkumulation führt (s. Kap. 2.4).

Niederschlagswasser kann aus der Fläche durch seitlichen Abfluss, Verdunstung oder Versickerung verloren gehen. Der seitliche Abfluss kann durch entsprechende ökotechnische Maßnahmen wie den Bau von Dämmen eingegrenzt werden (s. Kap. 4). Die Verdunstung ist eine kaum beherrschbare Verlustquelle, deren Bedeutung im Zuge des Klimawandels noch zunehmen wird (s. Kap. 1.5.5). Allenfalls kann durch die Beseitigung von Gehölzen eine temporäre Reduktion der Verdunstungsraten bewirkt werden. Die Versickerung, als dritter Verlustpfad, ist von einer Reihe von Standortfaktoren abhängig, die kaum beeinflussbar sind und in der Summe wirken.

Im Rahmen der Vorplanung einer Wiedervernässungsmaßnahme ist es sinnvoll, die am Standort vorhandenen möglichen Verlustpfade für die Versickerung zu ermitteln und sie in ihrer Wirkung aufzusummieren. Im Zusammenspiel mit der Verdunstung können im Ergebnis die Aussichten auf Wiedervernässung abgeschätzt werden. Als Entscheidungshilfe kann hierfür das im Folgenden beschriebene Punkteschema herangezogen werden. Hierbei werden den jeweiligen Faktorausprägungen Punkte nach ihrer Bedeutung im Wirkungsgefüge zugewiesen (Tab. 3.1). Die aufsummierten Einzelergebnisse ergeben das Abschätzungsergebnis, das in fünf Klassen ausgedrückt wird (Tab. 3.2). Das Schema ist unabhängig von der Nutzung bzw.

Vorgeschichte der Fläche anwendbar und zielt einzig auf die Ausprägung der abiotischen Standortfaktoren ab.

Um zu aussagekräftigen Ergebnissen bei Anwendung der vorgestellten Methode zu gelangen, bedarf es einer soliden Untersuchung und Bewertung der einfließenden Einzelergebnisse. Hierzu sind entsprechende Felderhebungen notwendig, die eingehende Fachkenntnisse in der Boden-, Moor- und Torfkunde voraussetzen. Bei sorgfältiger Durchführung führt die Anwendung dieser Methode zu einer Identifikation von Gebieten und Teilgebieten, die je nach festgestellten Eigenschaften unterschiedliche Aussichten auf eine erfolgreiche Wiedervernässung haben. Im Sinne eines wirtschaftlichen Mitteleinsatzes und zur Vermeidung unnötiger (weil nicht erfolgsversprechender) Eingriffe, lässt sich somit die weitere Planung und Maßnahmenausführung gezielt in die Räume lenken, die die höchsten Erfolgsaussichten hinsichtlich einer späteren Regenwasserrückhaltung haben.

Im Einzelnen werden die folgenden Indikatoren bei der Abschätzung betrachtet.

#### **3.1. Abiotische Indikatoren der Abschätzung**

##### **3.1.1. Bodenart/Körnung des Mineraluntergrundes**

In der Reihenfolge Sand – Lehm – Ton nimmt die Wasserleitfähigkeit der Bodenart ab, einhergehend mit verbesserten Wasserrückhalteeigenschaften. Grobsand (0 P) – Feinsand/Schluff (5 P) – Sandmudde, Schluffmudde, lehmiger/toniger Sand/Schluff (10 P) – Lehm (15 P) – Tonmudde, Ton (20 P).

Bewertung: 0–20 Punkte.

##### **3.1.2. Grundwasserstand im Mineraluntergrund**

Wünschenswert ist ein hoher Grundwasserstand im Mineraluntergrund, der auch in den Sommermonaten bis an die Torfbasis und im Idealfall gegen die stauende Torfschicht gespannt ist. Ein Grundwasserstand unter Moorbasis wird mit 0 Punkten bewertet, an Moorbasis mit 5 Punkten und gespannt bzw. über Moorbasis mit 10 Punkten bewertet.

Bewertung: 0–10 Punkte.

### 3.1.3. Stauschicht

Insbesondere in Sandböden war das Vorhandensein einer Stauschicht, die die Versickerung hemmt, wesentliche Voraussetzung für die Moorbildung. Hierbei handelt es sich in der Regel um Ortsteinschichten (Eisen- und/oder Humusverlagerungshorizont). Das Vorhandensein einer intakten Stauschicht erhält die höchste Punktzahl, dann ist die Höhe des Grundwassers im mineralischen Unterboden nicht mehr relevant. Beschädigungen (z. B. durch Dräne) oder nur lokale Ausprägungen führen zu Abschlägen.

In tonigen Lehmen oder reinen Tonböden stellt der Mineraluntergrund selbst den Staukörper dar. Diese Bodenarten enthalten keine separate Stauschicht. Sie werden mit der höchsten Punktzahl bewertet. Auch organogene oder mineralogene Mudden können als stauende Schicht eingestuft werden. Eine Mittelstellung nehmen z. B. Schluff-Horizonte des mineralischen Untergrundes ein.

Bewertung: 0–20 Punkte.

### 3.1.4. Qualität der Resttorfschicht hinsichtlich stauender Eigenschaften

Die anstehenden Torfe haben je nach Ausgangsmaterial und Zersetzungsgrad sehr unterschiedliche hydraulische Leitfähigkeiten. Gewachsene Weißtorfe oder bereits bewegte Torfe, sogenannte Bröckeltorfe, haben ebenso wie Niedermoortorfe hohe Durchlässigkeiten ( $0,1$  bis  $0,4 \text{ md}^{-1}$ ) und werden mit wenigen Punkten bewertet, während stark bis sehr stark zersetzte Hochmoortorfe (H7 bis H10 nach VON POST (1924)) gemäß EGGELSMANN (1981) sehr geringe Wasserleitfähigkeiten von  $< 0,01 \text{ md}^{-1}$  besitzen und mit einer hohen Punktzahl bewertet werden. Eine Mittelstellung nehmen stärker zersetzte Niedermoortorfe, mäßig zersetzte Hochmoortorfe (H6) oder zwar gering zersetzte, aber vertikal dichtere Cuspidata-Torfe ein.

Bewertung: 0–20 Punkte.

### 3.1.5. Mächtigkeit der Resttorfschicht

Mit zunehmender Schichtmächtigkeit der Torfe steigt deren Wasserrückhaltefähigkeit. Eine Schichtmächtigkeit gewachsener Torfe unter  $40 \text{ cm}$  wird dabei mit  $0$  Punkten bewertet, eine solche über  $80 \text{ cm}$  gewachsener Torfe mit  $20$  Punkten. Auch organogene Mudden können in die Mächtigkeit der Resttorfschicht einbezogen werden.

Bewertung: 0–20 Punkte.

Hinweis: Sobald am Standort rund  $1 \text{ m}$  stark zersetzter Hochmoortorf (H7 bis H10 nach VON POST (1924)) ansteht, bildet dieser einen eigenen, idealen Staukörper. Die Faktoren  $1$  bis  $5$  sind in diesem Fall in ihrer Einzelausprägung nicht mehr relevant. Die starke Hochmoorauf-lage überdeckt ggf. alle Defizite im Untergrund. In diesem Fall ist pauschal die Höchstpunktzahl der Faktoren  $1$  bis  $5$  mit  $90$  Punkten anzunehmen (s. Tab. 3.1, letzte Spalte).

### 3.1.6. Klimatische Wasserbilanz im Sommerhalbjahr

Die erfolgreiche Renaturierung von Hochmooren ist vollständig davon abhängig, ob ausreichend Niederschläge ( $> 700 \text{ mm/Jahr}$ ) in möglichst gleichmäßiger Verteilung zur Verfügung stehen und die sommerliche Verdunstungsrate die oberflächennahen Wasservorräte nicht aufzehrt. Dies drückt sich in einer positiven klimatischen Wasserbilanz während des Sommerhalbjahres aus. Soweit diese Rahmenvorgabe erfüllt ist, kann es gelingen, kleinere Defizite in den vorgenannten Faktoren zu kompensieren und im Idealfall die Bedingungen für ausgezeichnete Erfolgchancen der Vernässungsbemühungen zu bieten.

Grundsätzlich sind im atlantischen Bereich hierbei die günstigsten Bedingungen zu erwarten, während sich mit zunehmend kontinentaler Prägung im Osten und Süden Niedersachsens die klimatischen Voraussetzungen verschlechtern.

Diese regionale Differenzierung in den Erfolgsaussichten für Renaturierungen wird durch den Klimawandel verschärft. Auch im Westen und Nordwesten fallen die Sommer tendenziell trockener und mit hohen Verdunstungsraten aus, so dass die Wasserhaltung zunehmend auch hier zum Problem wird.

Zur Bewertung herangezogen werden soll die Karte der klimatischen Wasserbilanz im Sommerhalbjahr für 2021 bis 2050 des NIBIS® Kartenservers (KARTENSERVEN DES LBEG).

Bewertung: minus 25 bis plus 25 Punkte.

Tab. 3.1: Abschätzungsrahmen für den Erfolg von Wiedervernässungsmaßnahmen auf Hochmoorstandorten.

Faktoren der Wasserhaltung	Minimum	...	Maximum	Punkte	Resttorfschicht (flächendeckend)	
					< 100 cm Schwarztorf oder andere Torfe	> 100 cm Schwarztorf (H7–H10)
Bodenart/Körnung des Mineraluntergrundes	Grobsand	...	Ton	0–20		90
Grundwasserstand im Mineraluntergrund im Sommer	tief (unter Moorbasis)	...	gegen Hochmoorbasis	0–10		
Stauschicht unterhalb der Torfbasis	nicht vorhanden gestört	...	vorhanden intakt	0–20		
Qualität der Resttorfschicht	Niedermoortorf Bröckeltorf Weißtorf	...	Schwarztorf H7–H10	0–20		
Mächtigkeit der flächendeckenden Resttorfschicht	< 40 cm	...	> 80 cm	0–20		
Klimatische Wasserbilanz im Sommerhalbjahr	äußerst hohes bis hohes Defizit	...	hoher bis äußerst hoher Überschuss	-25 bis 25		
				Summe Punkte		

Für die aktuelle Bewertung eines Standortes sind die dargestellten Faktoren in ihrer Ausprägung zu ermitteln, anhand der untenstehenden Tabelle 3.2 zu gewichten und die aufsummierte Gesamtpunktzahl zu ermitteln.

Tab. 3.2: Die aufsummierte Gesamtpunktzahl zeigt die folgenden Aussichten auf Wiedervernässungserfolg.

Punktzahl	Note	Bewertung
≤ 10	5	sehr schlecht
10–29	4	schlecht
30–59	3	mäßig
60–79	2	gut
80–99	1	sehr gut
≥ 100	1+	hervorragend

Die vorgestellte Methode führt über die stufenweise Erhebung aller relevanten Teilparameter nach Erfahrung der Autoren zu aussagekräftigen Ergebnissen. Gleichwohl handelt es sich hierbei um ein Instrument, das Abschätzungsergebnisse liefert und damit eine Entscheidungshilfe sein kann. Die Anwendung und Interpretation liegen beim bzw. bei der jeweiligen Planer:in.

Diese Methode ist gut geeignet, um Prioritäten bei der Umsetzung von Vernässungsmaßnahmen für verschiedene Flächen zu setzen. Sie liefert Hinweise, auf welchen Flächen und mit welchem Aufwand eine gute Erfolgsaussicht für eine erfolgreiche Wiedervernässung gegeben ist. Sie dient nicht als Begründung dafür, dass keine Wiedervernässungsmaßnahmen durchgeführt werden sollen oder die Fläche keine Bedeutung für den Naturschutz hat. Für solche

Flächen sollte man andere Ziele haben oder Leitbilder formulieren, z. B. Moorbirkenwald oder feuchte Pfeifengrasflächen. Auch unvollständige Vernässungen sind besser zu bewerten, als der entwässerte Ausgangszustand.

Für die weitere Gebietsentwicklung können insbesondere in sehr naturnahen Bereichen weitere Untersuchungen aus den Bereichen Flora, Fauna und Hydrologie für die Entscheidungsfindung relevant sein, was dann zu einem vertieften Planungsansatz wie der landschaftsökologischen Analyse (s. Kap. 7) führen kann. Aber auch bei dieser Methode bildet die Beurteilung der hier besprochenen abiotischen Standortfaktoren die Grundlage für die Einschätzung der Aussichten auf Wiedervernässung.

### **3.2. Erschwerende oder begünstigende Faktoren für die Ausführungsplanung von Wiedervernässungsmaßnahmen auf Hochmoorstandorten**

Während die in der obigen Tabelle bewerteten Faktoren nicht oder kaum beeinflussbar sind, können die folgenden Faktoren im Rahmen der Ausführungsplanung berücksichtigt und mit unterschiedlich hohem Aufwand verändert werden. Die Verhältnismäßigkeit der Maßnahmen ist dabei projektbezogen zu beurteilen. Abhängig vom Gebiet kann diese Aufzählung um weitere Faktoren ergänzt werden.

#### **3.2.1. Oberflächenrelief**

Aufgrund des fehlenden Akrotelms sind zu vernässende Flächen in der Anfangssituation auf einen gleichmäßigen flachen Wassereinstau und Wasserüberstau angewiesen. Dies gelingt nur auf mehr oder weniger ebenen Flächen, die jedoch hochmoortypische Unebenheiten im Bereich von wenigen Dezimetern aufweisen können. Bereiche mit größeren Höhenunterschieden, wie solche mit (Hand-)Torfstichstrukturen oder ausgeprägtem Gefälle, z. B. an Kuppen des mineralischen Untergrundes, oder durch langjährige Acker- oder Grünlandnutzung stark unterschiedlich gesackte Flächen, stellen dabei ein Hindernis dar, wenn die Höhenunterschiede in einem Verwaltungsbereich (Polder) größer als 0,3 m werden. Diese Höhenunterschiede sind durch Planierungen zu beseitigen (s. Kap. 5.2.1).

#### **3.2.2. Ausbauzustand der Entwässerungseinrichtungen**

Eine konventionelle Nutzung von Moorstandorten ist mit der Anlage von Entwässerungseinrichtungen verbunden. Ein Grabensystem oder eine flächige Dränung des Torfkörpers sind für eine Wiedervernässung hinderlich.

Indikatoren für den Ausbauzustand der Entwässerungssysteme sind:

- Dimensionierung der Entwässerungsgräben,
- Dichte des Entwässerungssystems,
- Dränung im Torfkörper,
- Sohllage der Gräben innerhalb des Bodenprofils hinsichtlich Ausbau bis in den Mineraluntergrund,
- Funktion des Entwässerungssystems für Oberlieger.

Stark entwässerte Standorte zeichnen sich durch tief ausgebaute Gräben mit Funktion für Oberlieger und/oder Dränung im Torfkörper aus. Schwach entwässerte Situationen verfügen z. B. nur über ein flachgründiges Entwässerungssystem der Moorbrandkultur, Flurstücksgrenzgräben oder Wegeseitengräben entlang von Dämmen.

Ein Einschnitt der Entwässerungsgräben in den Niedermoortorf oder den mineralischen Untergrund hebt die Unabhängigkeit des hochmooreigenen Wasserregimes auf und führt zu einer Entwässerung in den Grundwasserkörper.

Der Ausbauzustand kann durch entsprechende Rückbaumaßnahmen in seiner Wirkung begrenzt oder zurückgenommen werden. Beim Rückbau von Entwässerungseinrichtungen auf Grundstücken mehrerer Eigentümer sind jedoch wasserrechtliche Planfeststellungs- oder Genehmigungsverfahren durchzuführen, die je nach Bedeutung der Gewässer für An- und Oberlieger sehr aufwändig sein können. Sobald bei der Dränung die Stauschicht zerstört wurde, ist dies als schwerwiegende Beeinträchtigung anzusehen und nur mit viel Mühe, z. B. eine Schwarztorf-Auflage oder Kammerung der Gräben, zu bewältigen.

### 3.2.3. Flächenzuschnitt

Ein ungünstiges Verhältnis von Länge zur Breite einer Fläche (z. B. langgestreckte Flächen) sowie ein hoher Anteil von Randbereichen (z. B. dreieckige Flächen), aber auch erhebliche Höhenunterschiede zu Nachbarflächen können bei der Durchführung von Maßnahmen hinderlich sein. So kann z. B. der Materialbedarf ungünstig hoch sein, oder Randeffekte können besonders stark auftreten.

### 3.2.4. Flächenzugriff

Der Anteil und die Verteilung von öffentlichem oder privatem Flächeneigentum kann sich ungünstig oder günstig auf ein Vorhaben auswirken. Mögliche Hindernisse auf Privatflächen sind prinzipiell durch Flächenankauf oder aber auch durch die Anordnung einer Duldung von Maßnahmen auf Grundlage des NAGBNAT-SCHG möglich.

## 4. Technische Maßnahmen

JOACHIM BLANKENBURG, FRIEDHELM NIEMEYER,  
HANS-GERHARD KULP, THOMAS BEUSTER,  
PETER GERMER & MARTHA GRAF

### 4.1. Allgemeine Hinweise

Ein gestörter Wasserhaushalt des Moores ist in der Regel die Hauptveranlassung für die Planung von Renaturierungsmaßnahmen. Sofern noch torfbildende Vegetation vorhanden ist, sind die Stauziele am natürlichen Moorwasserspiegel auszurichten, der z. B. bei Hochmooren jahreszeitlich bedingt zwischen der Geländeoberfläche und 0,35 m unter Flur schwankt (SUCCOW & JOOSTEN 2001). Letztlich laufen bei der Moorrenaturierung langsame biotische Prozesse ab, die ggf. auch einige Jahre lang suboptimale Stadien des Systems bedingen. Zum Beispiel werden Klimaschutzziele in den ersten Jahren insbesondere bei landwirtschaftlich vorgeutzten Flächen öfters nicht erreicht. Dies sollte toleriert werden, sofern „die richtige Richtung eingeschlagen wird“, denn ein ständiges Nachführen von Stauzielen ist technisch kaum möglich bzw. würde zu sehr aufwendigen Maßnahmen führen (LFU 2010). In diesem Kapitel werden die Maßnahmen beschrieben, die für alle Flächen gelten; vor allem die Erstinstanzungsmaßnahmen zur Wiedervernässung werden hier grundlegend erläutert.

### 4.2. Zeitpunkt der Maßnahmen

Das Zeitfenster für die Maßnahmenumsetzung liegt, entsprechend den naturschutzrechtlichen Vorgaben, grundsätzlich zwischen 1. Oktober und 28. Februar. Da ab Dezember die Umsetzung aufgrund der zunehmenden Nässe und der damit einhergehenden schlechten Befahrbarkeit der Flächen komplizierter bis unmöglich wird, wird eine Öffnung des Zeitfensters für Geländearbeiten schon ab Juli empfohlen. Eine entsprechende Biologische Baubegleitung ist dafür aber unerlässlich. Müssen vorbereitend Gehölze entnommen werden, um Trassen für die Dämme freizustellen, wird dies häufig im vorherigen Winterhalbjahr ausgeführt. Grundsätzlich gilt, dass die Befahrbarkeit der Moorböden immer situations-, witterungs- und standortabhängig ist.

Zwischen flächiger Holzentnahme und wasserbaulichen Maßnahmen sollten möglichst kurze Zeitspannen liegen. Je länger eine Fläche frei liegt, ohne dass der Wasserstand angehoben wird, desto wahrscheinlicher ist es, dass es zu einer starken Naturverjüngung der entnommenen Holzarten kommt oder dass invasive Arten wie die spätblühende Traubenkirsche massiv eindringen.

### 4.3. Entfernen von Gehölzbeständen zur Erstinstandsetzung

Die Entfernung von Gehölzen sollte erst dann umgesetzt werden, wenn auch die nachfolgende Wiedervernässung oder Dauerpflege sichergestellt ist. Unnötige Doppelarbeit ist sonst die Folge. Sofern keine Artenschutzbelange da-

gensprechen und auch keine flächigen Dauerpflegemaßnahmen wie Mulchen oder Schafbeweidung geplant sind, kann auf eine flächige Gehölzbeseitigung verzichtet werden. Im günstigsten Fall sterben die Birken durch den Wasseranstau ab. Die Gehölzbeseitigung kann daher oft auf den unmittelbaren Bausteifen für eine Verwallung reduziert werden.

Wenn die Wiederherstellung von offenen Moorlebensräumen angestrebt wird, sollen auf den forstlich vorgeutzten und naturnahen Flächen Gehölzbestände und Verbuschungen entfernt werden (Entkusseln). Gehölzaufwuchs ist einerseits ein Indikator für einen zu niedrigen Wasserstand im Torf, andererseits belasten Gehölze mit ihrer Transpiration und Interzeption (v. a. Nadelgehölze) den Wasserhaushalt des Moores.



Abb. 4.1: Oben links: Moorbagger mit hydraulischer Baumschere (Lichtenmoor, LK Nienburg/Weser, 2020; Foto: T. Beuster).  
 Oben rechts: Trecker mit Forstmulcher, durch zweimaliges Überfahren werden die Bäume komplett zerkleinert und die Stubben bodeneben abgefräst (NSG Holtorfer Moor, LK Nienburg/Weser, 2010; Foto: T. Beuster).  
 Unten links: Moorbagger mit Tellerrad zum Stubbenfräsen, geeignet für dickere Bäume, die vorher abgekniffen wurden (Lichtenmoor, LK Nienburg/Weser, 2021; Foto: T. Beuster).  
 Unten rechts: Entkusselung von Moorbirke durch Schnitt in einem Meter Höhe und Spaltung des Stammes (NSG Borner Moor, LK Cuxhaven; Foto: L. Kulp).

Die Größe und die Menge der Gehölze sind für die Wahl der Methode von entscheidender Wichtigkeit. Jüngere Birkenbestände können ohne Zwischenschritt gemulcht werden. Besonders, wenn in der Krautschicht wertvolle Moorheidearten wachsen (ohne Pfeifengras) und Vernässungen umgesetzt werden können, ist die Flächenentwicklung zu einer baumfreien Moorheide ohne weitere Dauerpflegemaßnahmen sehr aussichtsreich. Allerdings soll das Mulchen vor der Wiedervernässung durchgeführt werden, weil nach einer Wiedervernässung das Fahren mit Mähgeräten meist nicht mehr möglich ist oder große Schäden an der Vegetation verursachen wird. Bei älteren Baumbeständen erfolgt die Baumentnahme mit Moorbaggern und hydraulischer Baumschere (Abb. 4.1). Die Bäume sind bei der Entnahme tief abzukneifen.

Es bleibt abzuwägen, ob die Bäume vor Ort mit der Baumschere auf Haufen gelegt oder in Torfstichen abgelegt werden, um dort zu verrotten. Alternativ erfolgt die Ablage haufenweise auf dem Torfboden, wo i. d. R. die Aufarbeitung (Häckseln) mit Abtransport des Materials (Holzhackschnitzel) erfolgt. Somit können Nährstoffe aus dem Hochmoor aufgenommen und die Materialien energetisch genutzt werden. Bleiben die Bäume vor Ort, können Teile davon in die Torfentnahmekuhlen gelegt werden, um dort die Besiedlung mit Torfmoosen zu fördern. Alternativ können sie als Wellenbrecher vor den Damm positioniert werden, wobei dies oft technisch schwer umsetzbar ist, da die Bäume ein zweites Mal bewegt werden müssen und sich hierfür eine Baggerschaufel nicht eignet.

Die Verwertung des Holzes (Stamm und Krone) ist kostenintensiv, denn die Hochmoortorfe weisen eine geringe Tragfähigkeit auf, und so können nur geringe Mengen über den Untergrund transportiert werden. Der Erlös des Holzes deckt nur einen kleinen Teil der Kosten, die für Entnahme, Stubbenmulchen und Transport zu einem festen Verladeplatz anfallen. Die bodenschonendste Verwertung des Holzes ist das Häckseln zu Hackschnitzeln vor Ort, das Vorgehen von Holzhaufen zu Holzhaufen und die Abfuhr mit Kübelpistenraupen oder mit zwillingsbereiften Treckern und kleinen Wagen. Es bleibt auch zu beachten, dass unter dem Abtransport des Holzes die Torfdämme und Wege leiden, stellenweise müssen für den Abtransport extra Bereiche von Bäumen freigestellt werden. Teilweise ist eine aufwendige Wiederherstellung von Zuwegungen erforderlich, denn die Entnahme der Gehölze fällt in die nasse Jahreszeit, und der Abtransport konzentriert sich zum Schluss auf schmale Fahrstrecken.

Da solche Instandsetzungsmaßnahmen i. d. R. im Winterhalbjahr bei hohen Wasserständen durchgeführt werden, muss ggf. die Tragfähigkeit auf dem Transportweg mit Baggermatten unterstützt und die Vegetationsschicht geschützt werden (Abb. 4.2). Dauerpflegemaßnahmen (Mulchen, Mähen, Freischneidearbeiten, Beweidung mit Schafen) sind sorgfältig abzuwägen und bleiben in den Folgejahren recht wahrscheinlich, wenn die offene Moorheide entwickelt und erhalten werden soll, unabhängig davon, wie nachhaltig es gelingt, den Moorwasserspiegel wieder dauerhaft an die Torfbodenoberfläche zu bringen.



Abb. 4.2: Baggermatten zur Lastverteilung und Schonung der Kraut- und Moosschicht (LK Osterholz, NSG Heilsmoor; Foto: L. Kulp).

Je nach Örtlichkeit können die Bäume zum weiteren Abtransport einzelstammweise mit der Seilwinde an den Moorrand gezogen werden. Je nach Befahrbarkeit der Fläche und der vorherrschenden Vegetation in der Krautschicht kann auch ein Moorbagger mit hydraulischer Baumschere zum Einsatz kommen (s. Kap. 4.8) und ein entsprechender Abtransport der Bäume durch geeigneten Rückezug oder Häckseln vor Ort auf Kübelraupe durchgeführt werden.

Da die Moorbirke nach dem bodennahen Entkusseln i. d. R. vieltriebig wieder austreibt, ist eine erneute Pflege mit dem Mulcher schon nach wenigen Jahren wieder erforderlich. Als alternative Maßnahme hat sich das Absägen von Birken mit ca. 5–10 cm Brusthöhendurchmesser (Durchmesser eines Baumes in Brusthöhe) erwiesen. Die Bäume mit diesem Durchmesser werden in 1 m Höhe abgesägt, und die Schnittfläche kann zusätzlich mit der Axt leicht gespalten werden (Abb. 4.1, unten rechts). Danach erfolgt ein Austrieb mit nur wenigen Seitenästen, die nach ca. 2 Jahren vor Beginn der Brutzeit wieder manuell (mit der Machete) abgeschlagen werden müssen; teilweise werden diese jungen Triebe bevorzugt von Rehen abgefressen. Danach hat sich der Baum weitgehend

„verausgabt“, der gespaltene Stamm fault aus, und weitere Maßnahmen sind i. d. R. nicht erforderlich.

In Schleswig-Holstein wurde mit dem einfachen Absägen von Baumbeständen schlechte Erfahrung gemacht. Das Absägen führte zu einem verstärkten Wiederaustrieb, bei nicht ausreichender Vernässung zu einer Verbuschung und damit zum Verlust lichtliebender Hochmoorvegetation. Das Ringeln von Bäumen mit einem Durchmesser von mindestens 10–15 cm erwies sich als wesentlich erfolgreicher. Hierbei wird die Rinde eines Baumes in Bauch- bis Brusthöhe ringförmig abgeschält (Abb. 4.3). Mit dieser Methode sterben die Bäume langsamer, und die Waldstruktur bleibt noch eine Weile erhalten, was einen gewissen Windschutz und Schutz vor plötzlich starker Sonneneinstrahlung gewährleistet. Wertvolles Totholz entsteht, und bei dieser Methode können sich die Tiere langsam an die Veränderungen anpassen. Zusätzlich werden auch der Abtransport und die damit verbundenen Kosten und Flurschäden vermieden (BRETSCHNEIDER 2012).



Abb. 4.3: Links: Bäume werden mit der Motorsäge geringelt (Krähenmoor; Foto: T. Beuster).  
Mitte: frisch geringelte Bäume, rechts: geringelte Bäume nach 10 Jahren  
(Fotos: A. Bretschneider und H. Mordhorst-Bretschneider).

Die langfristige Offenlanderhaltung bedarf einer perspektivischen Planung und Maßnahmenverpflichtung und muss unbedingt vorab sichergestellt sein. Bereiche, in denen ein Offenhalten durch Beweidung und/oder mechanische Maßnahmen langfristig nicht gewährleistet werden kann, sollten zunächst nicht entkusselt werden.

#### 4.4. Bau von Dämmen

Erst Dämme, die auch Verwallungen genannt werden, bieten bei einem ausreichend dichten Untergrund die Grundvoraussetzung zur erfolgreichen Wiedervernässung.

Die Errichtung von Dämmen ist die wohl wichtigste ökotechnische Maßnahme bei der Wiedervernässung von Hochmoorflächen. Im Idealfall überwächst nach Jahrzehnten das neu entstandene, lebende Hochmoor die Dämme, und der Akrotelm übernimmt die Wasserhaltung und -regulierung, die hilfsweise während der Anfangssituation von den Dämmen gewährleistet wurde. Bis zum Einsetzen einer selbsttragenden Hochmoorentwicklung sind die Dämme das zentrale Element der Wasserhaltung und müssen daher an die Voraussetzungen angepasst eingerichtet sowie langfristig unterhalten werden.

Es gibt drei verschiedene Dammtypen: (1) Dämme aus Torf, (2) Torfdichtwand und (3) Spundwände aus Holz und Kunststoff. Die Auswahl richtet sich nach der Verfügbarkeit des Materials, den Eigenschaften der Resttorfe und der Neigung der Oberfläche des Renaturierungsgebiets. Dämme aus Torf werden am häufigsten gebaut, weil das Material meistens vor Ort verfügbar ist und diese Dämme relativ leicht sowie günstig gebaut werden können. Wenn die Torfoberfläche aus Weißtorf besteht, eignet sich die Einrichtung einer Torfdichtwand. Weißtorf ist als Baumaterial für Dämme schlecht geeignet, da die hydraulische Leitfähigkeit im Torf zu hoch ist, um das Wasser zu halten. In manchen Moorprojekten steht nur Weißtorf als Baumaterial für die Dämme zur Verfügung. In diesem Fall sollten die Dämme größer dimensioniert sein, um eine ausreichende Stauwirkung zu erzielen. Spundwände werden für hohe Dämme (mehr als 2 m) eingesetzt oder wenn kein Torf als Baumaterial zur Verfügung steht. Auch in vegetationskundlich besonders wertvollen Hochmooren bietet sich der Einbau von Spundwänden an, da der Einbau nur linearen Schaden an der Hochmoorvegetation verursacht.

#### 4.4.1. Dämme aus Torf

Grundsätzlich können Dämme mit auf den Flächen vorhandenen Torfen erstellt werden. Im Gegensatz zu Angaben in BLANKENBURG (2004) wird nicht mehr zwischen Haupt- und Zwischendämmen unterscheiden. Alle Dämme sind nach den gleichen Vorgaben zu erstellen.

Besonders wichtig sind die äußeren Dämme, die das Vernässungsgebiet begrenzen. Dort, wo seitliche Staukörper, wie gewachsene Torfabfuhrdämme und Torfwege, fehlen oder zu geringe Höhen aufweisen, sind Dämme aus anstehendem Torf erforderlich (Abb. 4.4).



Abb. 4.4: Links: Moorbagger (Hintergrund) baut hohen Damm unter Zuhilfenahme eines Nivelliergerätes. Im vernässen Torfstich links haben sich bereits Torfmoose ausgebreitet (NSG Oppenweher Moor, 28.08.2013). Rechts: Derselbe Damm mit Anstaufläche und aufgeschwommenen Torfmoosen im folgenden Sommer (NSG Oppenweher Moor, 05.06.2014; Fotos: F. Niemeyer).

Alle Dämme müssen ständig mit den erforderlichen Pflegegeräten befahrbar sein, um notwendige Pflege- und Reparaturarbeiten im vernässen Gebiet durchführen zu können. Hieraus ergibt sich eine Kronenbreite der Dämme von mindestens 3 m. Die Seiten sollten zwecks Stabilisierung und maschineller Pflegemöglichkeit

schräg gestaltet sein. Bei einer Böschungsneigung von 1:2 wird je laufenden Meter bei einer Höhe von 1 m ein Volumen von 5 m<sup>3</sup> Torf benötigt. In Tabelle 4.1 sind für unterschiedliche Dammgrößen die erforderlichen Volumina je laufenden Meter zusammengestellt.

Tab. 4.1: Erforderliche Torfmengen zum Bau von Dämmen, abhängig von der Dammhöhe und dem Böschungsverhältnis.

Dammhöhe	Böschungsverhältnis	Kronenbreite	Dammgrund	Volumen je laufenden Meter
[m]	1:	[m]	[m]	[m <sup>3</sup> ]
1,0	2	3	7	5,0
1,5	2	3	9	9,0
2,0	2	3	11	14,0
1,0	3	3	9	6,0
1,5	3	3	12	11,3
2,0	3	3	15	18,0

Gegenüber den Angaben in BLANKENBURG (2004) zum Bodenabbau werden heute höhere Dämme, in der Regel mit mehr als 1 m Endhöhe, gebaut. Die neu zusammengeschiebten bzw. aufgesetzten Dämme werden etwa ein Drittel bis zur Hälfte der Höhe durch Mineralisation der Torfe verlieren. Angesichts klimawandelbedingt feuchterer Winter- und trockenerer Sommerhalbjahre werden Dämme möglichst um einige Dezimeter höher gebaut, um die Höhenverluste zu kompensieren und Wasserüberschuss aus dem Winter für die anschließend trockenere Zeit als Reserve vorzuhalten. Mit dem höheren Wasserstand in oberhalb liegenden Poldern kann Wasser gestapelt und so für unterhalb liegende Polder in den Sommermonaten zur Bewässerung bevorratet werden.

Der Damm ist lagenweise zu verdichten und in der Höhe mittels Rotationslaser laufend zu kontrollieren, da der Untergrund ungleichmäßig hoch ist und eine einheitliche Bauhöhe nicht ausreichend ist. Die Höhenvorgabe sollte über einen fest im Gelände vermarkten Punkt, z. B. durch ein in den Mineralboden eingeschlagenes Rohr als Bezugspunkt, erfolgen. Die laufende Bauhöhenkontrolle erfolgt am besten mittels Rotationslaser und Laserempfänger am Baggerarm.

Je nach Gefälle sind Polderflächen häufig weniger als 5 ha groß, können aber eine Fläche von bis zu 10 ha und mehr erreichen. Die maximalen Höhenunterschiede der Zielwasserstände zwischen zwei Poldern sollten nur 0,3 m betragen. Die Lage und Anzahl der Dämme soll in Abhängigkeit vom Gelände mit Hilfe des digitalen Geländemodelles (DGM) erfolgen. Eine prinzipielle Darstellung hat EGGELSMANN (1987) für eine geneigte Oberfläche erstellt (Abb. 4.5).

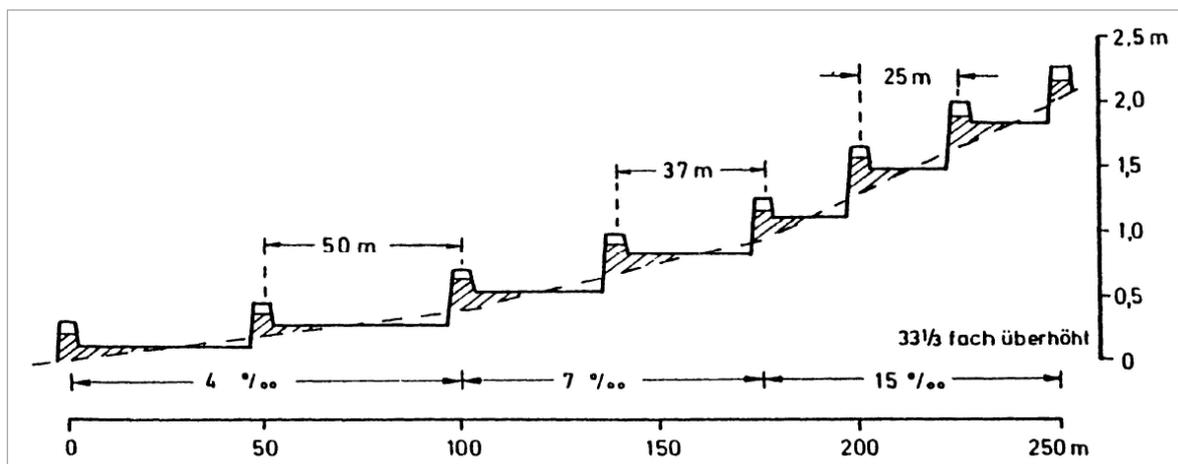


Abb. 4.5: Ökotechnisches Schema zur Hochmoorregeneration bei geneigter Moorfläche (= Niederschlagsretention mittels Überstau-Verfahren; EGGELSMANN (1987)).

Gibt es noch Resttorfschichten mit einer ausreichenden Mächtigkeit, dann lassen sich die Dämme mittels Bagger erstellen (Abb. 4.6 und 4.8).



Abb. 4.6: Moorbagger fördert am vernässten Torfstichrand Torf für Moorraupe (Pistenbulli), die einen Torfdamm quer über einen Moorweg als Staukörper aufbaut (NSG Rehdeener Geestmoor, 26.11.2014; Foto: F. Niemeyer).

Die Bodenentnahme für die Dämme sollte stets punktuell erfolgen und darf wasserhaltende Schichten auf der Stauseite nicht durchbrechen. Bodenentnahmen unterhalb des Damms können die Standfestigkeit gefährden. Nach Möglichkeit sollte zwischen Damm und Entnahmekuhle ein Abstand von 3 bis 5 m als gewachsener Torfstreifen stehen bleiben (Abb. 4.7). Dies erhöht die Standfestigkeit des Damms, da die Böschung nicht in den freien Torf der Entnahmekuhle übergeht, bzw. falls auf der Unterseite Torf entnommen werden muss, die Sickerwasserkurve im gewachsenen Torf ausläuft. Das Stehenlassen des Torfstreifens stellt auch ein Torfdepot dar, falls es Jahre oder Jahrzehnte später notwendig sein sollte, den Damm nachzuarbeiten. Entweder kann vom Damm aus auf dieses Depot zugegriffen werden oder der Moorbagger kann auf dem Streifen fahren. Bei größeren Höhenunterschieden (naturnahe Restmoorblöcke) zu Nachbarflächen sollte der Torfdamm aus Gründen der Standsicherheit mit ausreichendem Abstand zur Geländekante geplant werden.



Abb. 4.7: Verwallung 7 Jahre nach Bau; die Bäume sterben im Einstaubereich deutlich ab, und die Torfmoose wachsen auf (NSG Rehburger Moore, LK Nienburg/Weser, 2020). Durch zu schmale Freistellung der Arbeitsgasse erfolgte die Torfentnahme dicht an der Verwallung (Foto: T. Beuster).

Bei nur noch geringmächtigen Resttorfen lassen sich die notwendigen Torfmengen nur mittels Schubraupen oder Pistenbulli mit Kippmulde von einer größeren Fläche (bis ca. 50 m entfernt) zusammenschieben. Dies ist nur bei vegetationsfreien oder vegetationsarmen Flächen möglich, die keine wertvollen Pflanzen enthalten. Auf eine ausreichende Verdichtung der Torfe ist zu achten.

Sind aufgrund der örtlichen Gegebenheiten höhere Dämme erforderlich, dann sind auf der nicht mit Wasser beaufschlagten Seite befahrbare Berme anzulegen. Eine Berme ist ein horizontales Stück oder ein Absatz in der Böschung eines Dammes (s. Abb. 4.10 B). Ein Teil des Wassers sickert durch die recht unterschiedlich durchlässigen Torfe hindurch. Es ist darauf zu achten, dass an der Luftseite kein Wasser aus den Dämmen austritt, da ansonsten über eine rückwärtige Erosion der Damm zerstört werden kann. Insbesondere bei großen Höhenunterschieden zwischen Dammkrone und Luftseite ist darauf zu achten, dass der

Damm genügend Abstand von der Grenze des Moorblocks hat. Der nicht vernässte Bereich zwischen Damm und Moorrand dient dann als „Widerlager“ für den Torfdamm. Bei zu geringen Abständen kann es andernfalls aufgrund des Wasserdrucks aus dem Vernässungspolder zu Damm- oder Grundbrüchen kommen.

Die vorhandene Vegetation auf der Dammlinie ist abzutragen, damit keine dränende Matte entsteht und Torf auf Torf liegt. Falls möglich, sollte der Dammkern aus stärker zersetztem Hochmoortorf (Schwarztorf) aufgebaut werden (siehe auch Torfdichtwand). Nachdem der Damm aufgesetzt ist, kann er mit der vorher abgeschobenen Vegetation abgedeckt werden (Abb. 4.8). Ein geübter Baggerfahrer setzt die Vegetationsoden vom Untergrund auf das gerade aufgebaute Dammsegment auf. Als Abdeckung eignen sich Plaggen mit Pfeifengras oder Wollgräsern, aber auch schwach zersetzte Hochmoortorfe (Weißtorfe) oder Bunkerden. Mit der Abdeckung wird ein stärkeres Austrocknen des Torfdammes verhindert.



Abb. 4.8: Links: Bau einer überhöhten Verwallung (NSG Holtorfer Moor, LK Nienburg/Weser, 2015). Torfentnahme oberhalb des Walls, Wall abgedeckt mit Vegetationssoden. Im Vordergrund noch nicht abgedeckter Torfwall. Der Wall verläuft auf einem ehemaligen Graben, Entnahmekuhlen abgerückt und nicht durchgehend. Rechts: Blick von der Verwallung aus dem vorherigen Bild, 5 Jahre nach Bau. Das eingestaute Wasser reicht bis zum Damm, Torfmoose und Wollgräser breiten sich aus, Bäume sterben ab (NSG Holtorfer Moor, LK Nienburg/Weser, 2020; Fotos: T. Beuster).

In einigen Regionen gibt es Probleme mit dem Bisam. Eine möglichst flache Böschung auf der Wasserseite kann häufig das Problem schon lösen, da der Bisam unter Wasser Eingänge zu seinen Behausungen anlegt. Bei einer flachen Böschung mit schwankenden Wasserständen zwischen Winter und Sommer von 0,3 bis 0,4 m hat er kaum eine Möglichkeit, sich im Damm einzurichten.

#### 4.4.2. Torfdichtwand

Wenn mit horizontalen Sickerwasserverlusten durch stärker durchlässige Torfe zu rechnen ist,

(siehe hohe laterale Versickerungsverluste, Kap. 3) wird eine Torfdichtwand aus Schwarztorf oder stark vererdetem Oberboden empfohlen (STREEFKERK & CASPARIE 1989). Dieser Fall tritt häufig auf, wenn noch Weißtorfe auf der Fläche vorhanden sind. In Schleswig-Holstein werden hierzu die durchlässigeren Torfe bis zu einer maximalen Tiefe von 2 m mittels Bagger ausgehoben, und anschließend wird dieser Bereich mit weniger durchlässigem Torf verfüllt. Abschließend wird die Torfdichtwand mit einem Damm (Verwallung) aus Torf abgedeckt (Abb. 4.9; MORDHORST-BRETSCHNEIDER 2018).

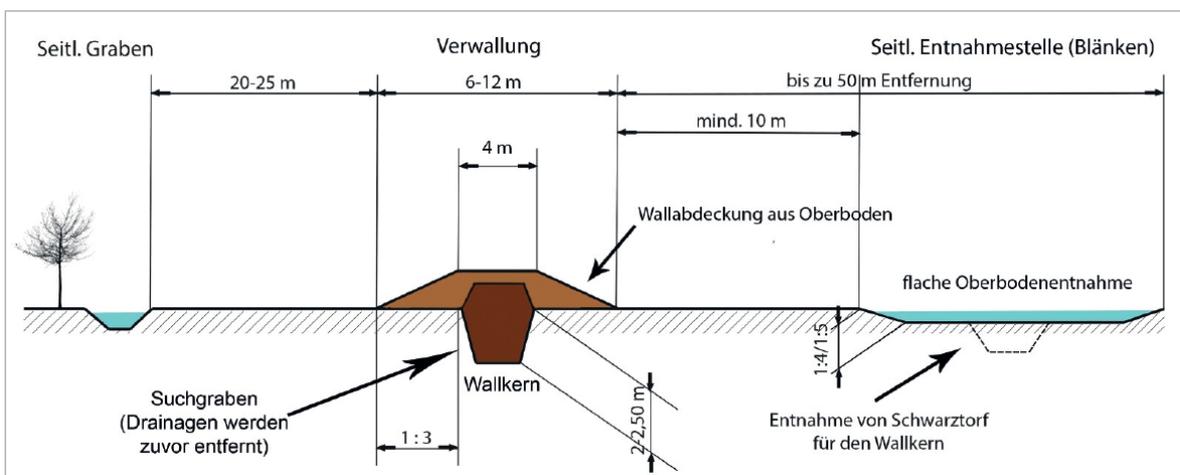


Abb. 4.9: Skizze zum Bau einer Torfdichtwand. Damm nach dem System Ehlers/Mordhorst-Bretschneider (MORDHORST-BRETSCHNEIDER 2018).

### 4.4.3. Errichtung von Spundwänden

#### Holzspundwände

In kritischen Bereichen, wie entlang hoher Dämme (zwischen 1 und 1,5 m) oder in stark durchlässigen Torfen, dienen Holzspundwände zur Stabilisierung von Dämmen. Im Roten Moor kamen je nach Stauhöhe zwei Varianten zum Einsatz. Es ist ein kostenaufwändiges Verfahren. Die Holzkonstruktionen sind hierbei voll-

ständig mit Torf bedeckt. Im Wasserwechselbereich ist die Haltbarkeit der Hölzer begrenzt. Eine Holzbohlenspundwand reicht für Stauhöhen geringer als 1 m, und für Stauhöhen größer als 1 m ist ein zweistufiger Fangedamm mit zwei Holzbohlenspundwänden zu empfehlen (Abb. 4.10). Stauhöhen von mehr als 1,5 m sollte man nicht durchführen, weil Torf zu instabil ist. Die Setzungen im Damm und im Untergrund sowie horizontale Bewegungen werden bei größeren Dammhöhen unberechenbar.

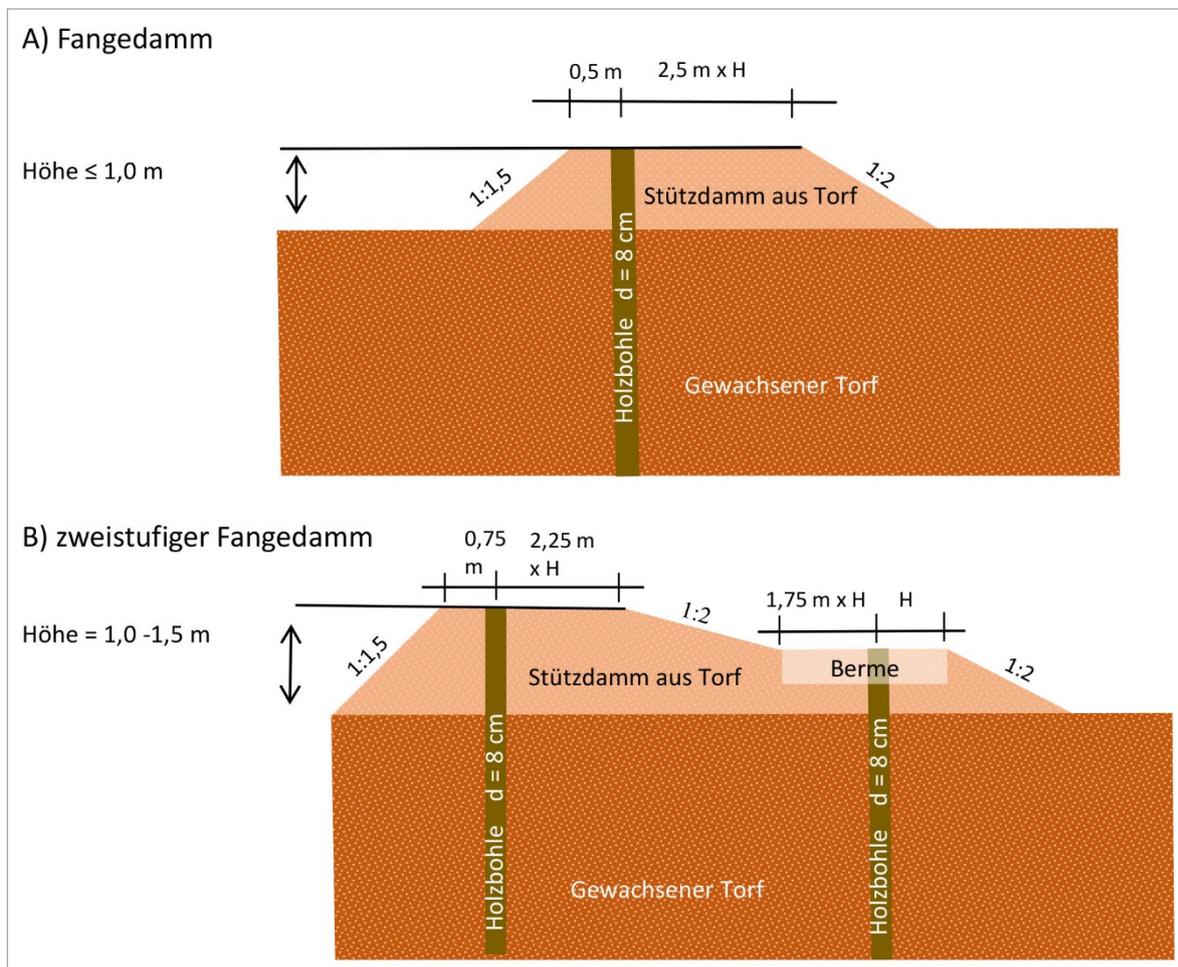


Abb. 4.10: Konstruktion von „Fangedämmen“ im Roten Moor; Wasser steht jeweils links vom Damm (EIGNER & SCHMATZLER 1991).

## Kunststoffspundwände

Seit einigen Jahren gibt es erste Erfahrungen mit dem Bau von Kunststoffspundwänden, um in kritischen Bereichen die Wiedervernässung deutlich nachhaltiger sicherzustellen. Die Sickerwasserverluste durch reine Torfdämme lassen sich hiermit deutlich reduzieren. Darüber hinaus kommt es zu deutlich geringeren Schäden an sensibler Hochmoorvegetation. In die-

sem Sinne wird auch die Errichtung von Spundwänden erprobt und entwickelt. In Baden-Württemberg und Schleswig-Holstein wurden größere Gräben mittels Kunststoffspundwänden angestaut, die seitlich weit in gewachsene Torfe eingebunden sind. Abgedeckt wurde die Spundwand mit Torfen (Abb. 4.11, rechts; KAPFER et al. 2011). Das Grabenwasser kann seitlich an den Dämmen breitflächig abfließen.



Abb. 4.11: Links: Hangparallele Kunststoffspundwand zum Auffangen des Oberflächenabflusses am Randgehänge. Hier fehlt die Torfabdeckung, die den Kunststoff vor UV-Strahlung schützt. Die Wände sind unnötig hoch und in dieser Form aus ästhetischen Gründen nicht gewünscht. Außerdem stellen sie ohne Torfüberdeckung eine Barriere für wandernde Tiere dar (NSG Heilsmoor, LK Osterholz; Foto: H.G. Kulp). Rechts: Spundwände werden meistens mit Torf zugedeckt, einerseits als ästhetischen Gründen und andererseits, um den Kunststoff vor UV-Strahlung zu schützen (Foto: J. Blankenburg).

Kunststoffspundwände haben gegenüber Metallspundwänden den Vorteil, dass das Material kostengünstig und leicht ist und mit Kleinbaggern verbaut werden kann. Gegenüber Spundwänden aus Holz ist die Haltbarkeit wesentlich länger. Der „Flurschaden“ durch die Baumaßnahme und der Flächenbedarf im Vergleich zu Dämmen aus Torf sind gering (Abb. 4.11). Gleichzeitig werden durch den Einbau von Spundwänden nicht nur der Abfluss von Oberflächenwasser, sondern auch horizontale Sickerungsverluste in weniger stark zersetzten Hochmoortorfen (Weißtorfen) unterbunden. Die Abdichtung kann deutlich verbessert werden, wenn Spundwandprofile zum Einsatz kommen, die in den Schlössern über eine Silikondichtung verfügen.

Bei flachgründigen Mooren ist es sinnvoll, dass die Profile bis in die abdichtende Schicht (Schwarztorf) gerammt werden. Wenn mit einem Bagger zunächst ein Schlitz gegraben wird, soll drauf geachtet werden, dass genug Schwarztorf über dem Mineralboden stehenbleibt. Bei tiefgründigen Torfen reicht eine Tiefe von 2 m. Der Boden kann nicht viel tiefer ausgehoben werden, um die Standsicherheit des Baggers nicht zu gefährden. Es gibt aber auch Situationen, in denen Wasserblasen im Torf liegen, die u. U. tiefer als 2 m reichen. Diese können nicht mehr mit Torf abgedichtet werden. In einem solchen Fall muss auch hier mit Spundwänden aus Kunststoff gearbeitet werden. Diese Spundwände können auf jeden Fall 3 bis 4 m in den Torf eingedrückt werden, müssen aber mit Holzpfehlen, die bis in den mineralischen Untergrund reichen, gestützt werden, bevor sie mit Torf abgedeckt werden (Abb. 4.12;

A. Bretschneider, persönliche Kommunikation). Handelt es sich um sehr mächtige Torfe oder stark von Bäumen durchwurzelte Horizonte, muss ggf. mit einer „Schablone“ aus Stahl mit identischem Spundwandprofil vorgearbeitet werden, da das Kunststoffmaterial gerade bei niedrigen Temperaturen empfindlich auf zu hohen Druck beim Einbau reagiert.

Landschaftsästhetisch sind die Kunststoffspundwände aber ein Problem, weil sie sehr fremdartig in der Moorlandschaft wirken

(Abb. 4.11, links). Deshalb sollten die Wände seitlich und aufliegend mit Mulchmaterial bzw. abgezogenem vererdetem Torf-Vegetations-Gemisch angeböschet werden (Abb. 4.11, rechts). Das Anfüllen mit Material erfüllt darüber hinaus noch den Zweck, dass die mögliche Barrierewirkung der senkrecht aus dem Boden stehenden Spundwand für Kriechtiere aufgehoben wird. Im Fall eines Moorbrandes sind Kunststoffspundwände problematisch, weil sie bei höheren Temperaturen schmelzen.

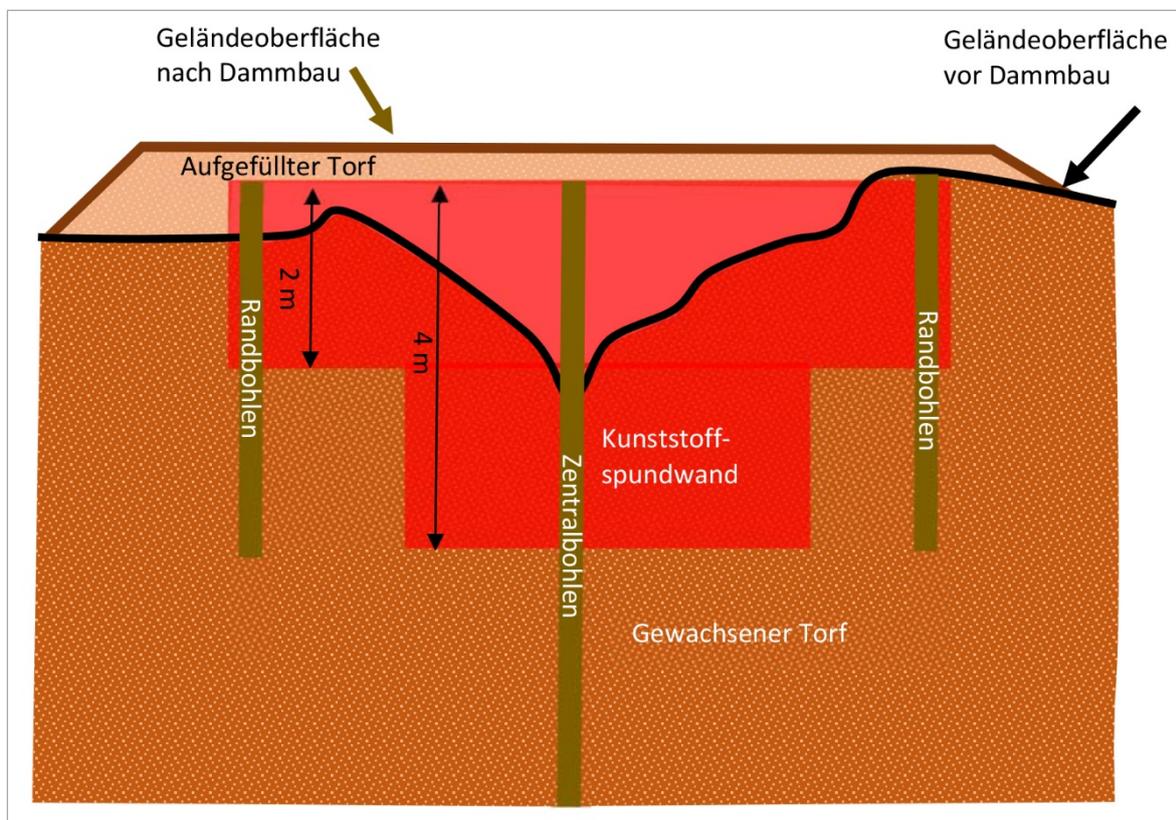


Abb. 4.12: Ausführungsplanung der torfüberdeckten Spundwand, siehe auch Abb. 4.11, rechts (nach KAPFER et al. 2011).

#### 4.4.4. Reparatur und Vorbeugung von Damnbrüchen

Bis die Hochmoorentwicklung der Zielsetzung nach zu einem selbsttragenden System gereift ist, übernehmen die Dämme die zentrale Aufgabe der Wasserhaltung und müssen langfristig erhalten werden. Nun werden die Dämme aber aus örtlich anstehendem Torf errichtet und damit aus einem nicht dauerhaften Baumaterial.

Sie unterliegen vielfachen Prozessen und Belastungen und damit einhergehendem Substanzverlust: Sackung nach Neubau, Erosion durch Wellenschlag, Oxidation der Torfe, Kompression und Abtrag durch Befahrung mit Pflegemaschinen sowie Untergrabung durch Bissam, Nutria und andere Tiere.

Daraus folgende Reparaturmaßnahmen sind überaus aufwendig. Je besser die Wiedervernässung gelingt, umso problematischer wird bereits die Heranführung von geeigneter Technik über die Dämme zur Reparaturstelle. Noch problematischer gestaltet sich die Materialgewinnung zur Verfüllung von Fehlstellen. Oftmals ist dies vor Ort nicht möglich, da die Torfauflage zu geringmächtig ist, die angrenzenden Flächen nicht mehr befahrbar sind oder die inzwischen erfolgte Besiedlung der Flächen mit Vegetation dieses verbietet. Das Anliefern von Torfmengen gestaltet sich als sehr schwierig, da hierfür nur kleine Kettenfahrzeuge benutzt werden können. Für solche Fälle wären Spundwände aus Kunststoff eine gute Alternative.

Aus all den möglichen zukünftigen Problemstellungen folgt, dass die Dämme in der Anfangssituation möglichst groß dimensioniert und stabil gebaut werden müssen. Eine Überdimensionierung von etwa 50 % ist empfehlenswert. Dämme, die schichtweise mit der Schubraupe aufgetragen und verdichtet werden, sind in der Regel fester als solche, die mit dem Hydraulikbagger aufgesetzt wurden. An Stellen zur Gewinnung von Torf für spätere Reparaturmaßnahmen ist während der Ausführungsplanung zu denken.

Als Bereiche mit besonders problematischen Baubedingungen haben sich Hochmoorestblöcke erwiesen. Aus ingenieurtechnischer Sicht ist die Standfestigkeit vernässter Restblöcke nicht bestimmbar, da es keine Grundlagenermittlungen zum Verhalten derartiger Untergründe gibt.

Hier ist auf zwei Umstände hinzuweisen:

#### **Instabilität innerhalb des Moorkörpers**

Die Restmoorblöcke sind durch die volle Torfauflage ideale Staukörper. Eine sehr gute Vernässung ist erzielbar. Hieraus folgt aber, dass das Torfmaterial wieder mit Wasser gesättigt und damit plastischer wird. Besonders bei hohen Weißtorfauflagen besteht die fortwährende Tendenz, dass die Aufschüttungen der Dämme durch ihr Eigengewicht in den Untergrund zurücksinken. Das Objekt gestaltet sich somit bei idealen Vernässungsbedingungen zur Dauerbaustelle.

#### **Instabilität der Grabenkanten**

Besondere Gefährdung geht von Kantensituationen aus, die durch Torfabbau entstanden sind. Das Hochmoor, als dauerhaft vernässte Ablagerung von Pflanzenresten, verfügt über schlechte statische Eigenschaften. Es ist nur so lange stabil, wie es in seinem uhrglasförmigen Aufbau alle seitlichen Kräfte gegeneinander abstützen kann. Künstlich geschaffene steile Kanten sind nur dann relativ standfest, wenn der Moorkörper entwässert ist. Durch die Wiedervernässung wird die Plastizität des Torfs stark erhöht, und die seitlichen Bindungskräfte sind im Torfmaterial lediglich schwach vorhanden. In der Folge steigt die Neigung zu Brüchen an steilen Übergängen an.

Derartige Ereignisse treten oftmals ohne erkennbare Vorzeichen auf. Besonders fatal sind sogenannte Grundbrüche, bei denen durch in senkrechte Spalten eintretendes Wasser ein Gleitfilm an der Torfbasis entsteht, auf dem kompakte Moorblöcke abreißen und ins angrenzende Unterfeld verdriften können (MCINERNEY, O'KELLY & JOHNSTON 2007). Bereits bei Höhenunterschieden von rund einem Meter sind Grundbrüche aufgetreten.

Um Dammbüche zu vermeiden, sollen Torfdämme mit möglichst großem Abstand zu derartigen Geländekanten gebaut werden. Wenn dies nicht möglich ist, ist die sicherste Empfehlung derzeit auch die aufwendigste: Höchste Sicherheit kann Vorlagerung von Mineralboden in Form eines Dammes bringen. Im Idealfall überragt diese Dammkrone den Moorblock in der Höhe und wirkt bei entsprechender Innenabdichtung mit Lehm, Ton oder Schwarztorf gleichzeitig als äußere Ringverwallung. Alle anderen Bauformen bergen nicht vorhersehbare Restrisiken.

#### **4.5. Verschluss/Stau von Entwässerungsgräben**

Entwässerungsgräben in Hochmooren verlaufen häufig beidseitig von Moorwegen oder entlang von Flurgrenzen, sie sind aber auch innerhalb von Torfabbauflächen vorhanden. Die Grabenform ist meist tiefer als breit und weist beiderseits stabile Steilkanten auf. Es sind bei Entwässerungsgräben zwei Fälle zu unterscheiden, erstens, die Grabensohlen schneiden den mineralischen Mooruntergrund nicht an und

zweitens, die Gräben sind bis in den mineralischen Untergrund ausgebaut. Grundsätzlich sind Grabenstau aus vorhandenen Torfen zu erstellen. Nur bei vegetationskundlich besonders wertvollen Flächen, größerem Gefälle und hohen Abflüssen sind Spundwände erforderlich (s. Kap. 4.4.3; ARMSTRONG et al. (2009)). Der Einsatz von Holzbauwerken wird nicht mehr empfohlen, da sich die Hölzer im Wasser-/Luftwechselbereich mittelfristig zersetzen.

Der Verschluss von Entwässerungsgräben erfolgt durch den Einbau von Staueinrichtungen aus anstehendem Torf, die Teilverfüllung dazwischenliegender Grabenabschnitte und die Abschrägung der Steilkanten. Die folgenden Abschnitte beschreiben das Vorgehen, je nachdem, ob die Grabensohle in den mineralischen Untergrund hineinreicht oder nicht.

Torfabfuhrdämme und Wege im Moor, auch wenn sie besandet sind, sind als gute Staukörper zu erhalten. Durch jahrzehntelange Entwässerung der Wege durch beiderseitige Wegeseitengräben ist ihr Torf stärker verdichtet und damit weniger durchlässig für Wasser. Teilweise liegen in den Wegen Rohre, die Gräben beidseits des Weges zwecks früherer besserer Entwässerung verbinden. Diese sind zu entfernen. Zwischen Weg und Torfdamm befinden sich oft Überfahrten aus Betonrohren, diese sollten vor dem punktuellen Stau ebenfalls entfernt werden. Punktuelle Staueinrichtungen in Gräben ergeben nur dann Sinn, wenn dadurch ein oberflächennaher Anstau in der angrenzenden Moorfläche erfolgt. Liegen diese Stau unterhalb der Mooroberfläche, sollte darauf verzichtet und der Graben im Zuge eines Damms mit angestaut werden.

#### **4.5.1. Grabensohle reicht nicht bis in den mineralischen Untergrund**

Diese Gräben gilt es mit Hilfe eines Moorbaggers mit Schwenklöffel an ausgewählten Punkten (Staupunkte) höhenabhängig in Abständen von 20 bis 40 m stauwirksam auf je ca. drei Baggerlöffelbreiten (5 bis 6 m) zu verfüllen. Dabei wird zunächst das Grabenprofil von Astwerk und Vegetation gesäubert und im Bereich des geplanten Staupunktes mit anstehendem, möglichst stark zersetztem Torf nach und nach verfüllt (Torf auf Torf). Zwischendurch verdichtet der Bagger die Torflagen. Der benötigte Verfülltorf wird benachbart zum Stau von den steilen Grabenrändern schräg abgezogen, sodass hier bereits die gewünschte Steilkantenabschrägung erfolgt, oder die Entnahme erfolgt in Entnahmekuhlen. Die Seiten des Staupunktes zum Graben hin werden schräg angedrückt.

Durch Renaturierungsmaßnahmen dürfen keine neuen Steilkanten entstehen. Die Gräben werden zwischen Staupunkten mit den anfangs entnommenen Vegetationsschichten und Torfen teilweise verfüllt, um mögliche vertikale Sickerungsverluste zu minimieren.

#### **4.5.2. Grabensohle liegt im mineralischen Untergrund**

Vor dem Bau der Staupunkte und dem Verfüllen der Gräben ist in jedem Fall eine Aufreinigung der Gräben erforderlich (Abb. 4.13). Möglichst stark zersetzter Schwarztorf ist aus seitlich anzuordnenden Entnahmegruben zu entnehmen. Der eingebrachte Torf muss nach der Verdichtung mindestens 50 cm mächtig sein. Hier gibt es Synergien zur Maßnahme: Abschrägen steiler Torfkanten, z. B. in Wegeseitengräben.

Die Dammhöhe soll mindestens 1 m höher als das geplante Stauziel liegen, da in den Folgejahren in jedem Fall noch mit Sackungen und Mineralisierung des Dammkörpers zu rechnen ist. Zusätzlich kann es zu Quellungen der Anstaufläche kommen. Zur Vermeidung größerer Versickerungsverluste in das Grabenprofil sind die angrenzenden Vernässungsflächen durch Dämme vom abgedichteten Grabenprofil abzdichten. Das Grabenprofil ist als gesonderter Polder zu planen.



Abb. 4.13: Links: Aufgereinigter Graben im Leegmoor vor dem Verfüllen mit Torf.  
Rechts: Graben im Leegmoor, einige Jahre nach dem Verfüllen mit Torf (Fotos: J. Blankenburg).

#### 4.6. Bau von Überläufen

In Nordwestdeutschland besteht ein mittlerer jährlicher Wasserbilanzüberschuss in den Hochmooren von 200 bis 250 mm. Bei nicht ausreichenden Schwarztorfschichten oder Anschnitten des mineralischen Untergrundes kann ein Teil dieser Wassermenge in den mineralischen Untergrund versickern, abhängig vom Grundwasserstand im liegenden Mineralboden. Der größte Teil fließt allerdings oberflächlich ab. Da bei einem nicht geordneten Abfluss die Torfdämme mittelfristig zerstört würden, sind ausreichend dimensionierte Überläufe in jedem Polder erforderlich. Die Ausgestaltung hängt von der Poldergröße und damit von der zu erwartenden Abflussspende ab. Die Überläufe sollen ein Überfließen der Dämme verhindern, um die Sicherheit des Damms zu gewährleisten. Sie sollen so angelegt sein, dass die Wasserstände nicht höher als 0,5 m unter Dammkrone ansteigen können.

Eine Übersicht über erforderliche Rohrgrößen ist in Tabelle 4.2 gegeben. Für einen Polder mit einer Größe von 10 ha reicht hiernach ein Rohrdurchmesser von DN 125 aus. Um ein Verstopfen der Rohre zu verhindern, wird ein Mindestdurchmesser von DN 200 empfohlen (Abb. 4.14). Häufig eingesetzt wurden „KG-Rohre“ aus PVC, diese Rohre werden im Bereich der Sonneneinstrahlung porös und bleichen aus. Stabiler und weniger lichtempfindlich sind Vollwandwasserrohre und Formstücke aus Polypropylen (PP) in der Farbe Grün, Bezeichnung KG 2000.



Abb. 4.14: Überlaufrohr mit Vegetationsresten am Einlauf (Foto: J. Blankenburg).

Tab. 4.2: Notwendige Rohrdurchmesser von Kunststoff-(KG)-Rohren zur sicheren Ableitung von Überschusswasser, abhängig vom Gefälle, bei einer Abflussspende von  $100 \text{ l/(s*km}^2) + 50 \%$  Sicherheitszuschlag.

Rohr- durchmesser	bei 2 % Gefälle		bei 5 % Gefälle	
	DN	[l/s]	max. Polder- größe [ha]	[l/s]
100	10	7	17	11
125	19	13	30	20
150	31	21	49	33
200	65	43	105	70
250	118	79	188	125
315	216	144	345	230
400	404	269	645	430

Die Zielwasserstände lassen sich gut einstellen, wenn am stauseitigen Rohrende  $90^\circ$ -Rohrwinkel eingebaut werden. Die Rohrwinkel können durch Aufsatzstücke verlängert werden. Der verstellbare Rohrwinkel sollte sicher arretiert werden können, um unsachgemäßes Verstellen durch Unbefugte zu vermeiden (Abb. 4.15). Die Rohre müssen mit ausreichend Bodenmaterial

überdeckt sein, damit deren Lage nicht durch Bodenfrost verändert wird. Die Überdeckung kann später, z. B. mit Mulchmaterial aus dem Seitenraum, erhöht und ertüchtigt werden. Ohne Überlaufrohr drohen sich verstärkende Erosionsrinnen zu etablieren und damit der Funktionsverlust der Anlage.

Rechtecküberläufe und Staue aus Holz haben sich aufgrund ungenügender Haltbarkeit nicht bewährt und werden daher nicht mehr empfohlen. Zur Sicherung der Rohre gegen ein Aufschwimmen sollten diese mit Pflocken aus Recycling-Kunststoff (vgl. Abb. 4.15) gesichert

werden. Sicherungen aus Metall sind unbedingt zu vermeiden, da diese bei zukünftigen Pflegemaßnahmen zu erheblichen Beschädigungen an den Pflegegeräten führen können.



Abb. 4.15: Verstellbarer Überlauf im Leegmoor, Konstruktion der Staatlichen Moorverwaltung (Foto: J. Blankenburg).

#### 4.7. Invasive Arten

Invasive Arten sind gebietsfremde Arten, die in ihrem neuen Areal die Biodiversität (Vielfalt der Lebensräume, Arten und Gene) gefährden (CBD 2002). Wie überall in der Landschaft haben sich inzwischen auch im Bereich von Hochmoorrenaturierungen invasive Arten etabliert. In der Regel handelt es sich um lokale Vorkommen. Beispielhaft sind der Japanische und der Sachalin-Staudenknöterich, die Kanadische und die Späte Goldrute, das Kaktusmoos und die Spätblühende Traubenkirsche, Amerikani-

sche Moosbeere, aber auch die Kulturheidelbeere zu nennen (s. Kap. 8.2.2). Bei den nicht-invasiven Arten mit Neigung zu starker Ausbreitungstendenz bis hin zur Flächendominanz sind das Jakobskreuzkraut (auf trockenen Sandböden), die Flatterbinse und der Adlerfarn zu nennen. Alle Arten deuten auf einen nicht hochmoortypischen Wasserstand hin und sind daher vorrangig durch Optimierung der Wasserstände zu beseitigen. Bestimmte Artenschutzgründe können jedoch für eine mechanische Beseitigung sprechen, sofern ein nachhaltiger Erfolg sichergestellt werden kann.

Die Arten treten entsprechend ihrer Standortfordernisse vor allem in trockenen bis mäßig feuchten Randbereichen und auf Dämmen auf. Eine Bekämpfung im eigentlichen Sinne ist kaum möglich, da diese nur beim Auffinden von Einzelpflanzen durch Ausreißen oder Ausgraben erfolgreich ist. Da die Bestände oftmals starke Ausbreitungstendenz haben und dabei Flächendominanz erreichen, ist es aus Artenschutzgründen angezeigt, zumindest die weitere Verbreitung einzudämmen oder zu hemmen. Dieses beschränkt sich auf den Einsatz von Freischneidern oder Mulchtechnik am Schlepper vor Samenreife. Die chemische Bekämpfung ist ökotoxikologisch problematisch und steht unter dem Vorbehalt der rechtlichen Vorgaben hierzu.

Im Bereich der Fauna sind Bisam und Nutria von besonderer Bedeutung. Nur diese beiden Arten und nicht die obengenannten Pflanzenarten sind invasive Arten nach § 7 Absatz 2 Nummer 9 BNATSCHG. Für diese Arten sind Managementmaßnahmenblätter im Einklang mit der Verordnung (EU) Nr. 1143/2014 festgelegt worden (EU 2018, EU 2019).

Der Bisam besiedelt wasserführende Flächen und verursacht Schäden durch Unterwühlen der Dämme (s. Kap. 4.4.4). Die Schäden sind in der Regel überschaubar. Wichtig ist daher, dass die Dämme breit genug ausgebildet sind, sodass der Damm nicht vollständig durchgraben wird. Dies würde durch den eintretenden Wasserfluss u. U. zur Erosion und zum Bruch des Dammes führen.

Während der Bisam in vielen Gebieten quasi flächendeckend zu erwarten ist, treten Nutria in reinen Hochmoorgebieten nur am Rande auf. Bedingt durch den wesentlich größeren Körperbau sind die Untergrabungen massiver und das Schadpotenzial höher, insbesondere auch für Pflegemaschinen, die beschädigte Dämme befahren.

Die Bekämpfung des Bisams liegt in Niedersachsen in der Zuständigkeit der Landwirtschaftskammer und wird in der Regel von örtlich ansässigen Privatfängern durchgeführt. Der Nutria unterliegt dem Jagdrecht, und seine Bekämpfung fällt damit in die Zuständigkeit des jeweiligen Jagdausübungsberechtigten. Für beide Arten werden wegen der zunehmenden Schäden, insbesondere an wasserbaulichen Anlagen, die Bekämpfungsstrategien laufend überarbeitet.

#### 4.8. Geeignete Maschinen für die Hochmoorrenaturierung

Torfe im Allgemeinen und insbesondere Hochmoortorfe haben mit zunehmender Wassersättigung eine geringe Tragfähigkeit. Die einzusetzenden Maschinen dürfen daher nur einen geringen Bodendruck aufweisen, wobei eine hohe Leistungsfähigkeit der Maschinen trotzdem gewährleistet bleiben muss. So lange die Fahrzeuge auf einer Vegetationsdecke fahren können, ist in der Regel durch den Wurzelfilz eine Befahrbarkeit gegeben. Reißt die Vegetationsdecke durch falsches oder zu häufiges Befahren auf, ist das Fahren auf dem wassergesättigten Torf häufig nur mit sehr breiten Ketten oder mittels Baggermatten möglich. Die Bergung eines versackten Fahrzeuges ist nur mit sehr hohem Aufwand möglich. Durch den Bergungseinsatz wiederum können erhebliche, nicht zu revidierende Schäden am Torfkörper entstehen. Darauf sollte bei allen Planungen und Ausschreibungen immer hingewiesen werden.

In der Praxis haben sich Raupenbagger mit breiten Ketten, mindestens 120 cm auf jeder Seite, die seitlich abgeschrägt (gekröpft) sind, bewährt. Diese Moorkettenlaufwerke haben den Vorteil, dass sie nicht so leicht in den Torfkörper einschneiden. Das ideale Laufwerk hätte ein Längen-/Breiten-Verhältnis von 1:1, würde sich also der quadratischen Form annähern und dreht sich am einfachsten. Die Breite ist natürlich durch Transportbreitenwünsche begrenzt. Ohne Polizeibegleitung erlaubt ist die Nutzung der Straße mit Fahrzeugen von maximal 3,49 m Breite.

Die Gewichtsklasse der Bagger liegt häufig bei 18–21 t, kleinere Bagger haben meist nicht die nötige Motorleistung und Reichweite, um effizient Torf für Dämme umzusetzen. Kleinere Maschinen sind eher im schwierigen Gelände gut geeignet.

Bei schwereren Fahrzeugen ist ein Bodendruck von maximal 230 g/cm<sup>2</sup> nur mit längeren und breiteren Laufwerken zu realisieren. Hier ist die Wendigkeit des Fahrzeuges oft nicht gegeben.

Anbaugeräte für Moorkettenbagger sind neben Schwenklöffeln hydraulische Baumzangen, Forstmulcher und Tellerräder (Stubbenfräsen). Werden mit dem Bagger Dämme aufgesetzt, sollte dieser am Baggerarm mit einem Empfänger für einen Rotationlaser zur Höhenkontrolle ausgestattet sein.

Sollen für Maßnahmen Torfe flach abgeschoben werden, bietet sich der Einsatz von umgebauten Pistenraupen an, da diese einen sehr geringen Bodendruck aufweisen. Für den Einsatz von Pistenraupen muss der Untergrund gut vorbereitet werden. Da diese aus der Schneepistenpräparation stammen, verfügen sie über ein leichtgebautes spezielles Laufwerk und einen leichtgebauten Fahrzeugrahmen – was zu den Gewichtsvorteilen und damit dem geringen Bodendruck führt – sind aber für schwere Schubarbeiten in rauem Gelände weniger geeignet. Der Grip der Planierschilder ist bei geschlossener Vegetationsdecke relativ schlecht. Hier muss mit schwerem Tellereggeneinsatz vorgearbeitet werden, sofern nicht durch Forstmulchereinsatz vorgearbeitet wurde.

Klassische Raupenfahrzeuge sind häufig zu schwer und haben zu schmale Laufwerke. Pistenraupen mit Kübel bieten sich an, um Torf über Strecken von mehr als 50 m zu transportieren. Diese Fahrzeuge sind auch geeignet, um im Gelände gehäckseltes Holz als Hackschnitzel abzufahren. Das Umsetzen von Torf mittels

Bagger ist oft ab 20–25 m nicht mehr wirtschaftlich. Auf dieser Transportstrecke bietet sich der Einsatz von Pistenraupen an, die den Torf in den Bereich der Dämme schieben. Der Transport von Torf mit Dumpfern ist oft unwirtschaftlich und stößt an technische Grenzen. Normale Kettenlumper können eingesetzt werden, wenn die Torfe so trocken sind, dass eine gute Tragfähigkeit gegeben ist.

Werden in Ausnahmefällen Trecker eingesetzt, sollten diese hinten und vorne mit 900er Breitreifen oder Zwillingsreifen ausgestattet sein. Die Bereifung hat dann einseitig auf der Hinterachse eine Breite von mindestens 150 cm. Die Transportwagen sollten ebenfalls Zwillingsreifen oder Kettenlaufwerke haben. Die Trecker mit Breit- bzw. Zwillingsreifen werden mit angebaute Forstmulcher zum Mulchen kleinerer Gehölze oder zum Fräsen der Baumstubben eingesetzt. Diese Arbeitsschritte sind erforderlich, um Flächen für das Befahren mit Baggern und Pistenraupen vorzubereiten und Gehölze im Bereich von geplanten Dämmen zu roden.



Abb. 4.16: Ein Schlitzpflug im Einsatz (Foto: A. Bretschneider und H. Mordhorst-Bretschneider).

In der folgenden Tabelle 4.3 werden die Geräte mit ihren Kennwerten vorgestellt.

Tab. 4.3: Überblick der Maschinen.

Maschine	Beschreibung	Wird eingesetzt zum
Allradschlepper/Schlepper mit Forstmulchgerät (wo Forstmulchen am Pistenbulli wg. Nässe noch nicht erforderlich)	<p>Schlepper mit Unterbodenplatte inkl. Forstmulchgerät</p> <p>Maschinenbeschreibung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Unterbodenplatte</li> <li>- Motorleistung mind. 130 kW</li> <li>- Hinter- und Vorderachse mit Doppelbereifung</li> <li>- breite Bereifung einseitig hinten mind. 120 cm</li> <li>- spezifischer Bodendruck max. 240 g/cm<sup>2</sup></li> <li>- Forstmulcher mit feststehenden Meißelzähnen</li> <li>- Arbeitsbreite mind. 200 cm</li> </ul> <p>oder vergleichbare Technik (Beschreibung erforderlich), inkl. Bedienung und Betriebsstoffe.</p>	<p>Forstmulchen von Gehölzaufwuchs aus Birke, Kiefer und Weidengebüsch, Mulchen von Stubben nach Vorgabe der Bauleitung.</p> <p>Durchmischt üblicherweise die oberste Bodenschicht, die sich zum Vermeiden von Nährstoffeintrag im Bedarfsfall gut mit dem Löffelbagger abziehen lässt. Kein Stockausschlag zu erwarten, da Wurzelstöcke zerstört sind. Faunarelevanter Eingriff (Reptilien u. a.), beachten!</p>
Raupenbagger mit Forstmulchgerät	<p>Raupenbagger mit Moorkettenlaufwerk (gekröpft/abgeschragt) und Unterbodenplatte sowie Forstmulchgerät</p> <p>Maschinenbeschreibung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Motorleistung mind. 75 kW</li> <li>- Einsatzgewicht Maschine mit Anbaugerät max. ca. 21,7 t</li> <li>- beidseitige Kettenbreite mind. 120 cm</li> <li>- Reichweite des Baggerarmes mind. 8 m</li> <li>- Bodendruck max. 230 g/cm<sup>2</sup></li> <li>- inkl. Bedienung und Betriebsstoffe.</li> </ul> <p>Ausreichende hydraulische Leistung des Baggers für den Forstmulcher sichern. Wenn möglich, soll der Bagger einen separaten Hydraulikkreislauf zum Antrieb des Forstmulchers haben.</p>	<p>Entfernen von Gehölzen an Graben- und Wegrändern und an Handtorfstichkanten oberhalb und unterhalb der Kante nach Vorgabe der Bauleitung. Kein Stockausschlag zu erwarten, da Wurzelstöcke zerstört sind. Faunarelevanter Eingriff (Reptilien). Sehr kleinräumig mögliches Arbeiten, sodass Schonung von Heide u. a. möglich.</p>
Raupenbagger mit Baumschere bzw. Baumzange	<p>Raupenbagger mit Moorkettenlaufwerk (gekröpft/abgeschragt) und Unterbodenplatte sowie Baumschere</p> <p>Maschinenbeschreibung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Motorleistung mind. 75 kW</li> <li>- Einsatzgewicht Maschine mit Anbaugerät max. ca. 21,7 t</li> <li>- beidseitige Kettenbreite mind. 120 cm</li> <li>- Reichweite des Baggerarmes mind. 8 m</li> <li>- Bodendruck max. 230 g/cm<sup>2</sup></li> <li>- Baumschere für Stammdurchmesser bis 35 cm</li> </ul> <p>oder vergleichbare Technik (Beschreibung erforderlich), inkl. Bedienung und Betriebsstoffe.</p>	<p>Entfernen (hydraulisches Kneifen) von Gehölzen an Graben- und Wegrändern und auf Flächen nach Vorgabe der Bauleitung. Abgekniffene Bäume/Büsche werden in Haufen an/auf Fläche zwischengelagert und anschließend gehäckselt, mit Abtransport der Hackschnitzel und deren energetischer Verwendung.</p>

Maschine	Beschreibung	Wird eingesetzt zum
Raupenbagger mit Moorkettenlaufwerk und Schwenkschaufel (Löffel)	<p>Raupenbagger mit Moorkettenlaufwerk (gekröpft/abgeschrägt) und Unterbodenplatte</p> <p>Maschinenbeschreibung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Motorleistung mind. 75 kW</li> <li>- Einsatzgewicht Maschine mit Anbaugerät max. 20 t</li> <li>- beidseitige Kettenbreite mind. 120 cm</li> <li>- tragende Kettenlänge mind. 450 cm</li> <li>- inkl. schwenkbarem Löffel mit mind. 1 m<sup>3</sup> Schaufelinhalt</li> <li>- Reichweite des Baggerarmes mind. 8 m</li> <li>- spezifischer Bodendruck max. 200 g/cm<sup>2</sup></li> <li>- Rotationslaser mit Maschinenempfänger für Rotationslaser am Baggerarm zur Maschinensteuerung bzw. Kontrolle der Dammkronenhöhen</li> </ul> <p>oder vergleichbare Technik (Beschreibung erforderlich), inkl. Bedienung und Betriebsstoffe.</p>	<p>Torf lösen und als Dämme höhengenaue mit Rotationslaser aufbauen.</p> <p>Ist nicht genügend Torf im direkten Umfeld zur Verfügung, wird Torf durch Pistenraupe mit Kübel bereitgestellt. Die Baggerstunden zum Beladen der Pistenraupe sind ebenfalls in dieser Position enthalten.</p> <p>Außerdem: Abschrägen steiler Handtorfstich- und Grabenkanten sowie Anlage von Staupunkten in Grabenverläufen (nach Anweisung der Bauleitung).</p> <p>Ein zweiter Bagger könnte zur Torfentnahme und anderer Nebenarbeiten (nach Anweisung der Bauleitung) dienen.</p>
Kettendumper/Pistenbulli mit Kübel	<p>Kettendumper/Pistenbulli mit Moorkettenlaufwerk (gekröpft/abgeschrägt), inkl. Ladekübel mit Kippvorrichtung oder Schubboden; Beladung erfolgt durch o. g. Bagger mit Schwenklöffel</p> <p>Maschinenbeschreibung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Motorleistung mind. 200 kW</li> <li>- Arbeitsbreite mind. 3 m</li> <li>- Gesamtgewicht max. 10 t unbeladen</li> <li>- Kettenbreite beidseitig mind. 120 cm</li> <li>- tragende Kettenlänge mind. 450 cm</li> <li>- Transportvolumen Kübel mind. 8 m<sup>3</sup></li> <li>- spezifischer Bodendruck max. 100 g/cm<sup>2</sup></li> </ul> <p>oder vergleichbare Technik (Beschreibung erforderlich), inkl. Bedienung und Betriebsstoffe.</p>	<p>Transport und Ablage von Hochmoortorf nach Vorgabe der Bauleitung.</p>
Schlepper mit Muldenkipper/Dumper	<p>Schlepper mit Unterbodenplatte inkl. Mulde oder Dumper</p> <p>Maschinenbeschreibung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Motorleistung mind. 130 kW</li> <li>- Hinter- und Vorderachse mit Breit- bzw. Doppelbereifung</li> <li>- breite Bereifung einseitig hinten mind. 120 cm</li> <li>- Transportvolumen Mulde oder Dumper mind. 12 m<sup>3</sup></li> <li>- spezifischer Bodendruck max. 320 g/cm<sup>2</sup></li> </ul> <p>oder vergleichbare Technik (Beschreibung erforderlich), inkl. Bedienung und Betriebsstoffe.</p>	<p>Transport von Hochmoortorf im Maßnahmengebiet nach Anweisung der Bauleitung.</p>

Maschine	Beschreibung	Wird eingesetzt zum
Pistenraupe mit Planierschild	Pistenraupe mit Moorkettenlaufwerk (gekröpft/abgeschrägt) inkl. schwenkbarem Planierschild Maschinenbeschreibung: - Motorleistung mind. 200 kW - Arbeitsbreite mind. 3 m - Gesamtgewicht max. 10 t - Kettenbreite beidseitig mind. 120 cm - tragende Kettenlänge mind. 450 cm - spezifischer Bodendruck max. 100 g/cm <sup>2</sup> oder vergleichbare Technik (Beschreibung erforderlich), inkl. Bedienung und Betriebsstoffe.	Planierarbeiten/Verbringen von Hochmoortorf im Maßnahmengebiet nach Anweisung der Bauleitung.
Pistenraupe mit Forstmulcher	Pistenraupe mit Moorkettenlaufwerk inkl. Forstmulcher Maschinenbeschreibung: - Motorleistung mind. 200 kW - Arbeitsbreite mind. 2,25 m - Gesamtgewicht max. 10 t - Kettenbreite beidseitig mind. 120 cm - tragende Kettenlänge mind. 450 cm - spezifischer Bodendruck max. 100 g/cm <sup>2</sup> oder vergleichbare Technik (Beschreibung erforderlich), inkl. Bedienung und Betriebsstoffe.	Auf weniger tragfähigem, meist teilvernässtem Mooruntergrund werden Gehölze inkl. der Wurzelstöcke sowie stark ausgebildete Pfeifengrasbulke zerkleinert und geebnet, nach Vorgabe der Bauleitung.
Pistenraupe mit Schlegelmulcher mit Auswurfvorrichtung und Ladekübel	Pistenraupe mit Moorkettenlaufwerk inkl. Grasmulcher und Ladekübel Maschinenbeschreibung: - Motorleistung mind. 200 kW - Arbeitsbreite mind. 2,25 m - Gesamtgewicht max. 10 t - Kettenbreite beidseitig mind. 120 cm - tragende Kettenlänge mind. 450 cm - Transportvolumen Kübel mind. 8 m <sup>3</sup> - spezifischer Bodendruck max. 100 g/cm <sup>2</sup> oder vergleichbare Technik (Beschreibung erforderlich), inkl. Bedienung und Betriebsstoffe.	Jungbirken, Altheide und Pfeifengras werden tief abgemulcht, sofort im Kübel gesammelt, abgefahren und nach Angabe der Bauleitung abgekippt zur weiteren Verwendung.

Maschine	Beschreibung	Wird eingesetzt zum
Rückebug mit Laufbändern als Selbstfahrer oder schleppergezogen	Rückebug mit Ladekran Räder mit Laufbändern (Breite mindestens 120 cm) vorne und hinten oder Schlepper mit Doppelreifen als Zugmaschine 16 t Gesamtgewicht spezifischer Bodendruck max. 200 g/cm <sup>2</sup>	Herausfahren von Kopf- und Stangenholz nach erfolgter Freistellung. Material wird bodenschonend an einen ausreichend erschlossenen Weg transportiert. Hier wird das Material gehäckselt.
Raupenbagger mit Moorkettenlaufwerk und Schwenklöffel, Zusatzgerät: Schlitzpflug (Abb. 4.16; Konstruktion: E. Ehlers, Landschaftsbau und Moorrenaturierung)	Bagger mit Moorkettenlaufwerk (gekröpft/abgeschrägt) und Unterbodenplatte Maschinenbeschreibung: - Motorleistung mind. 175 kW - Einsatzgewicht Maschine mit Anbaugerät max. 20 t - beidseitige Kettenbreite mind. 120 cm - Kettenlänge 5,5 m - inkl. Schwenklöffel 60 cm breit - Reichweite des Baggerarmes mind. 8 m - Bodendruck max. 150–200 g/cm <sup>2</sup> Schlitzpflug mit 2 Folienrollen für Deponiefolie bis zu einer Breite von 2,50 m	Der Schlitzpflug wird mit einer Kette oder dem Schwenklöffel vom Bagger gezogen, bei festeren Torfböden wird er mit der Kette gezogen und mit dem Schwenklöffel auf den Boden gedrückt. In den eingeschnittenen Schlitz wird gleichzeitig die Folie eingezogen. Die erforderliche Breite der Folie hängt davon ab, bis in welche Tiefe der laterale Abfluss im Torfboden unterbunden werden soll. Die oben herausragende Folie wird mit einem Torfwall abgedeckt. Statt die Folien aneinander zu kleben, werden sie wenige Meter überlappend eingezogen. Anwendung bei wertvollen Vegetationsbeständen (z. B. Heidekrautstadien), sehr weichen Torfböden oder bei nur geringer Verfügbarkeit von Torf zum Bau einer Torfdichtwand.

## 5. Renaturierung industrieller Torfabbauflächen

JOACHIM BLANKENBURG & BERND HOFER

### 5.1. Vornutzung

Seit dem 19. Jahrhundert wird in Niedersachsen industrieller Torfabbau betrieben. Über das Niedersächsische Moorschutzprogramm (1981) sollten wertvolle Moorgebiete sofort unter Naturschutz gestellt werden. Weitere degenerierte und in Abtorfung befindliche Moore sollten nach Beendigung der genehmigten Abtorfung ebenfalls unter Naturschutz gestellt werden. Mit der Verabschiedung des Niedersächsischen Naturschutzgesetzes (1989) wurden naturnahe Hochmoorlebensräume unter besonderen Schutz gestellt. Aufgrund der Vorgaben der Eingriffsregelung (§§ 7ff NNatG) wurde der ganz überwiegende Teil der in den vergangenen 30 Jahren beantragten Abtorfungen mit der Verpflichtung zur Wiedervernässung nach Abbau genehmigt (ML 1981, 1986). Die derzeit gültigen Torfabbaugenehmigungen enden weitestgehend bis 2050. Für das Jahr 2022 wird für Niedersachsen noch eine Abbaufäche von ca. 6.000 ha angenommen. Von den Torfabbaufächen sollen ca. 30.000 ha für die Renaturierung hergerichtet werden (SCHMATZLER 2015)

Der Abbau von Torf wird seit 1981 durch das Niedersächsische Naturschutzgesetz (NAGB-NATSCHG) geregelt. Die Anforderungen an Antragsunterlagen und notwendige Randbedingungen für die Hochmoorrenaturierung werden in der aktuellen Version des „Leitfaden[s] zur Zulassung des Abbaus von Bodenschätzen unter besonderer Berücksichtigung naturschutzrechtlicher Anforderungen“ ausführlich beschrieben (MU 2011a). In Anlage 3 werden „Technische Hinweise für die Herrichtung von Torfabbaufächen“ gegeben (MU 2011b). Aufbauend auf diesen technischen Hinweisen werden weiterführende praktische Handreichungen vorgestellt.

Insbesondere werden in der Abtorfungsgenehmigung die Laufzeit und die Folgenutzung geregelt. Darüber hinaus finden sich in den Genehmigungen detaillierte Vorgaben zu

- Verbleib von Bunkerde (Vegetationsschicht mit Samen und Sporen von Hochmoorflora),

- Abbauabschnitte,
- Abtorfungsverfahren,
- notwendige Resttorfmächtigkeiten als Stauschicht (stark zersetzte Hochmoortorfe) und Bunkerdemächtigkeiten als Wasserspeicher,
- Moorwasserständen, den Grundwasserständen und den Wasserständen in den umliegenden Vorflutern,
- Entwässerung (auch ggf. der mineralischen Untergrundlage), Herrichtungs- und Überlaufhöhen der zukünftigen Vernässungspolder,
- Bauweise der Dämme (Verwallungen) und Überläufe in Bauart und Höhe,
- zukünftige Unterhaltung der geschaffenen Anlagen.

Mit Abnahme der Herrichtung endet i. d. R. die Verantwortung der Torffirma als Genehmigungsinhaberin. In jüngeren Genehmigungen wird diese Verpflichtung zum Erhalt der technischen Einrichtungen, Regelung der Wasserstände oder auch Offenhalten der Flächen auf eine Zeitspanne von bis zu 10 Jahren definiert.

Eine landwirtschaftliche Vornutzung der Torfabbaufäche verursacht große Änderungen im Nährstoffhaushalt. Bei Untersuchungen in West-Niedersachsen zeigten sich in solchen Flächen leicht erhöhte Nährstoffgehalte gegenüber nicht vorgeutzten Flächen (ROSINSKI 2012). Dies deutet auf eine vertikale Verlagerung der im Oberboden angereicherten Nährstoffe im Zuge der Abbautätigkeit durch nicht fachgerechten Oberbodenabtrag hin. Während wiedervernässte ehemalige Abbaufächen mit landwirtschaftlicher Vornutzung oftmals zunächst Dominanzbestände der Flatterbinse (*Juncus effusus*) aufweisen, kann sich auf abgetorften Flächen ohne landwirtschaftliche Vornutzung unter günstigen hydrologischen Voraussetzungen relativ schnell eine Dominanz von hochmoortypischen Arten einstellen.

Flatterbinsen-Bestände auf nicht vorgeutzten Flächen sind vor allem mit lokal höheren Nährstoffgehalten verbunden. Vorkommen finden sich z. B. an feuchten bzw. nassen Sanddurchragungen, auf freigelegten Niedermoortorfschichten, in Bereichen mit Grundwasseranschluss oder -zustrom, mit hohem Diasporendruck aus der Umgebung oder mit Eutrophierung durch Wasservögel.

## 5.2. Torfabbauverfahren

Die unterschiedliche Art und Weise des Torfabbaus hat Auswirkungen auf die Herrichtung der Abtorfungsflächen für die Wiedervernässung. Bis etwa zur Mitte des vorigen Jahrhunderts war der Handtorfstich in den niedersächsischen Hochmooren prägend (s. Kap. 8). Der großflächige maschinelle Torfabbau erreichte sein Maximum im 20. Jahrhundert. SCHMATZLER & SCHMATZLER (2010) geben in den Hintergrundtexten in ihren Bildbänden einen hervorragenden Überblick über die Moorlandschaften in Niedersachsen nach dem industriellen Torfabbau. In diesen Bildbänden sind alle damaligen Torfabbauflächen in Karten dargestellt. Für jede Fläche liegen Informationen zu Erschließung, Nutzung, Abbauverfahren, Vornutzung, Stand der Wiedervernässung und Renaturierung sowie zur Bedeutung für den Naturschutz vor. Die in Niedersachsen typischen und aktuellen Abbaufahren sind im Detail beschrieben. Nachfolgend eine kurze Beschreibung der wichtigen aktuellen Verfahren mit Hinweisen zu möglichen Herrichtungsmaßnahmen (SCHMATZLER & SCHMATZLER 2010).

### 5.2.1. Sodenstichverfahren

Das Sodenstichverfahren für den Abbau von Weißtorf findet nur noch auf kleinen Flächen statt. Die Sicherung der Bunkerde während des Abbaus bereitet keinerlei Probleme. Mit jedem Weißtorfstich reichert sich die Bunkerde mit Weißtorfbröckeltorf an. Die Bedeutung dieser Bunkerde liegt in einer gegenüber Schwarztorfen höheren Wasserspeicherkapazität. In der Bunkerde können sich rezente Pflanzenreste erhalten, die zu einer schnellen Besiedlung führen (ARBEITSKREIS „MOORNUTZUNG-LANDESPFLEGE“ 1990). Das Samen- und Sporenpotenzial ist auf der abgetorften Fläche nur gering (RODERFELD 1992). Nach Abtorfungsende ist die Bunkerde auf den Flächen einzuplanieren. In einigen Mooren sind nach Beendigung des Torfabbaus große Wollgrasbestände entstanden. Sehr günstige Bedingungen für die Renaturierung entstehen, wenn die Bunkerden nach der Wiedervernässung aufschwimmen (Abb. 5.1; BEETS 1993).



Abb. 5.1: Aufgeschwommene Bunkerde mit Torfmoosen im Ahlen-Falkenberger Moor (Foto J. Blankenburg).

### 5.2.2. Frästorfverfahren

Beim Frästorfverfahren wird großflächig die oberste Torfschicht zum Auflockern und Trocknen der Torfe bearbeitet. Dieses Verfahren wird heutzutage großflächig eingesetzt. Die Bunkerde kann bei diesem Verfahren nur in gesondert ausgewiesenen Ruheflächen erhalten werden. Es gab viele Diskussionen zum Erhalt der Bunkerde beim Fräsen, daraufhin wurde vom ARBEITSKREIS „MOORNUTZUNG-LANDESPFLEGE“ (1990) ein mögliches Verfahren mit diesem Ziel beschrieben. Auf vielen Flächen ist die Bunkerde jedoch im vorherigen Weißtorfabbau mit abgebaut worden und fehlt nun. Beim Abbauende verbleibt eine geneigte Oberfläche mit Gefälle zu den Entwässerungsgräben. Diese Flächen sind daher vor der Vernässung zu planieren. Fehlen Bunkerden am Ende eines Abbauezeitraums, muss aus Schwarztorfen ein gewisser Ersatz geschaffen werden. Hierzu werden Schwarztorfe vor dem Winter aufgelockert. Durch Frost kann es zum Aufsprengen der Torfstruktur kommen. Die Wasserspeicherfähigkeit erhöht sich durch diese gezielte Frostsprengung (FIKUART 1977). Dieses Verfahren wird Humintorfgewinnung genannt.

### 5.2.3. Kombiniertes Bagger-/Frästorfverfahren

Mit dem kombinierten Bagger-/Frästorfverfahren, auch als Ober-/Unterfeldverfahren bekannt, werden die Torfe nach einem vorherigen Sodenstichverfahren meist in einem Arbeitsgang bis zur genehmigten Abbautiefe entnommen und auf die mit Bunkerde bedeckten Oberfelder abgelegt. Zur weiteren Bearbeitung dient das Frästorfverfahren. Nach der ersten Ernte der Flächen wird die Bunkerde vom nächsten Abbaustreifen in das Unterfeld geschoben. Während des Abbaus kann das Unterfeld bereits vernässt werden. Bei diesem Verfahren entstanden im Gnarrenburger Moor bereits Schwimmdecken während der Abtorfung (SCHMATZLER & SCHMATZLER 2010).

## 5.3. Erstinstandsetzungsmaßnahmen auf ehemaligen Abtorfungsflächen

### 5.3.1. Planieren

Das Planieren der Fläche ist in den meisten Fällen erforderlich, wobei die im Abtorfungsantrag festgesetzten Abbaukoordinaten in m Normalhöhennull (NHN) einzuhalten sind oder über die erforderliche Resttorfmächtigkeit (50 cm gewachsener Hochmoortorf + 30 cm Bunkerde = 80 cm) fixiert werden. In Einzelfällen kann bei einem sehr gering durchlässigen oder unebenen Untergrund die geforderte Mächtigkeit der gewachsenen Hochmoortorfe verringert werden und sogar den mineralischen Untergrund anschneiden. Die Festsetzung einer m-NHN-Höhe für die Herrichtung und Kontrolle durch die Genehmigungsbehörde ist am einfachsten zu kontrollieren und erleichtert die praktische Durchführbarkeit. Innerhalb eines Polders ist grundsätzlich eine horizontale Oberfläche zu schaffen, wobei eine raue Oberfläche  $\pm 0,1$  m angestrebt wird. Auf keinen Fall soll eine geneigte Oberfläche verbleiben. Kleine erhobene Inseln können stehen bleiben und aus der Ebene herausragen, um eine leicht unebene Fläche zu erhalten. Da diese Inseln zur Gehölzansiedlung neigen und nicht mechanisch gepflegt werden können, sollte in Gebieten, in denen ein offenes Landschaftsbild gewollt ist, darauf verzichtet werden. In den ersten Jahren wird ein größtmöglicher Regenrückhalt auf den Flächen angestrebt.

### 5.3.2. Oberflächenbearbeitung

Nach dem Planieren kann eine weitere Oberflächenbearbeitung erforderlich werden. Wenn Bunkerde vorhanden ist, ist ein Auflockern der obersten Schichten nicht notwendig. Fehlt Bunkerde, dann sind durch Grubbern oder Fräsen die oberen 10 cm zu lockern, um in den stärker zersetzten Torfen (Schwarztorf) sekundäre Hohlräume zu schaffen und ein extremes Austrocknen zu verhindern. Gehen diese gelockerten Torfe wassergesättigt in den Winter, dann lassen sich bei Frost weitere zusätzliche Poren schaffen (wie bei der Humintorfgewinnung, s. Kap. 5.2.2). Die Schaffung von sekundären Schlenken mittels eines Einscharpflugs haben sich nicht bewährt. Im überstauten Bereich lagert sich Torfschlamm ab, und die künstlichen Mulden füllen sich mit Torfsedimenten.

### 5.3.3. Dämme

Sofern die Dämme nicht bereits beim Abbau ausgespart wurden, lassen sich im Rahmen der Planierungsarbeiten die erforderlichen Dämme mittels Schubraupen erstellen, da die Flächen meist vegetationsfrei und noch relativ trocken sind (s. Kap. 4.8).

### 5.3.4. Sanddurchragungen

Bei der Abtorfung kommt es immer wieder vor, dass trotz Einhaltung des vorgeschriebenen Bohrrasters zur Abbauplanung einzelne Kuppen oder längliche Rücken des mineralischen Untergrunds nicht erfasst worden sind und so später durch den Abbau freigelegt werden. Diese zufälligen Entdeckungen werden während des Abbaus gemacht, da das Relief des mineralischen Untergrundes häufig viel kleineräumiger differenziert ist, als es sich auf Karten abbilden lässt.

Als Sanddurchragung werden zwei Fälle unterschieden: punktuelle Freilegung des mineralischen Untergrundes und linienhafte Freilegungen. Als punktuelle Freilegung kommt nur eine maximale Flächengröße in Frage, die genau zwischen vier Bohr- oder Peilpunkten liegt. Bei dem häufig geforderten Peilraster von 50 x 50 m sind die punktuellen Sanddurchragungen kleiner als 0,25 ha groß.

Als linienhafte Sanddurchragungen lassen sich z. B. alte Dünen ansprechen. Häufig sind diese fossilen Böden podsoliert. Die linienhaften Sanddurchragungen werden aber nahezu immer bei der Anwendung eines Peilrasters von 50 x 50 m erfasst, wobei nur die exakte Größe nicht vollständig bekannt ist. Im Genehmigungsverfahren ist diese Besonderheit zu berücksichtigen. Bei podsolierten Böden ist nicht damit zu rechnen, dass die Wiedervernässung der Hauptabtorfungsfläche durch diese Sanddurchragungen beeinträchtigt wird. Die Sandfläche selbst kann nicht vernässt werden. Im Lichtenmoor z. B. ist die Vernässung bis direkt an die Sanddurchragung möglich, obwohl das Grundwasser im liegenden Mineralboden ca. 2 m tiefer als das Moorwasser ansteht.

### 5.3.5. Poldergrößen und Wahl des Materials für die Torfdämme

Wenn eine Torfabbaufäche für die Wiedervernässung hergerichtet wird, wurden bisher Polder durch umgebende Dämme in der Größe von meist 1–15 ha eingerichtet. Innerhalb eines Polders wird eine horizontale Geländeoberfläche mit maximalen Höhendifferenzen von 0,1 m gefordert. Das Geländegefälle der Fläche bestimmt somit entscheidend die Poldergröße. Mit abnehmender Größe der Polder steigt das benötigte Torfvolumen für die Herrichtung der Dämme. Torfdämme sind, abhängig vom Material, für Wasser unterschiedlich durchlässig. Schwarztorfe und Weißtorfe mit einem hohen Substanzvolumen weisen kf-Werte kleiner oder gleich 0,02 m/d auf. Weißtorfe mit einem mittleren Substanzvolumen erreichen schon 0,25 m/d und veredete Hochmoortorfe (Kulturschicht/Oberboden) noch 0,15 m/d (AD-HOC-AG BODEN 2005). Mit einem Rechenansatz von NAZARI GIGLOU, NAZARI GIGLOU & MINAEI (2013) konnten Sickerwasserverluste durch Torfdämme berechnet werden. Bei einer Kronenbreite von 3 m und einem Böschungsverhältnis von 1:2 errechnen sich die in Tabelle 5.1 genannten Sickerwassermengen in Kubikmeter je Meter Dammlänge und Jahr, abhängig von der mittleren jährlichen Wasserspiegeldifferenz beidseitig des Torfdammes. Wird einem Polder aus einem vergleichsweise höher gelegenen Polder Wasser zugeführt, können höhere Sickerwasserverluste toleriert werden. Für das Leegmoor (BLANKENBURG 2001) wurde eine mittlere oberirdische Abflusssumme aus den vernässen Flächen von 86 mm/Jahr (Zeitraum 1984 bis 1992) gemessen. Dies entspricht einer Wassermenge von 860 m<sup>3</sup> je Hektar und Jahr. Im Leegmoor darf maximal diese Wassermenge durch einen Damm sickern. Eine quadratische, 1 ha große Fläche benötigt eine Dammlänge von 400 m, somit könnten 2,15 m<sup>3</sup> je Meter Dammlänge und Jahr versickern. Von einer 10 ha großen quadratischen Fläche könnten dagegen 6,8 m<sup>3</sup> je Meter Dammlänge und Jahr versickern. Besonders bei sehr kleinen Poldern und größeren Wasserspiegeldifferenzen sind daher diese Sickerwasserverluste zu berücksichtigen. Die Wahl von Torfen, die weniger für Wasser durchlässig sind, stellt sich für den Dammbau bei sehr kleinen Poldern als besonders wichtig heraus.

Tab. 5.1: Berechnete Sickerwassermenge (m<sup>3</sup>/m Dammlänge je Jahr) durch einen Torfdamm.

<b>kf [m/d] / Wasserspiegeldifferenz [m]</b>	<b>0 m</b>	<b>0,2 m</b>	<b>0,4 m</b>	<b>0,6 m</b>	<b>0,8 m</b>
0,01 m/d (Schwarztorf SV3–5)	0	0,02	0,11	0,25	0,48
0,02 m/d (Weißtorf SV4–5)	0	0,05	0,21	0,51	0,95
0,25 m/d (Weißtorf SV3)	0	0,62	2,65	6,32	11,93

Soweit nach den Gegebenheiten eine Wahl des zu verwendenden Materials gegeben ist, lassen sich folgende Kriterien benennen:

- stärker zersetzte Torfe sind undurchlässiger als schwach zersetzte und daher zu bevorzugen,
- bei gleicher Zersetzung sind Hochmoortorfe undurchlässiger als Niedermoortorfe und daher zu bevorzugen,
- Durch die landwirtschaftliche Nutzung veränderte Torfe (landwirtschaftlicher Oberboden) sind im oberen Profilverteil durch die Entwässerung und Bewirtschaftung stärker zersetzt und somit grundsätzlich für einen Einbau in die Polderdämme geeignet.

#### 5.4. Dauerpflegemaßnahmen

Damit die erstellten Dämme möglichst lange ihre Funktion erhalten können, ist eine Kontrolle und Pflege besonders in den ersten Jahren erforderlich. Mögliche Schäden der Dämme können durch Gehölzaufkommen, Höhenverluste infolge von Sackungen der Torfe, Versinken in den Untergrund, Erosion durch Wellenschlag oder durch fließendes Wasser entstehen. Die Funktionsfähigkeit der Überläufe muss sichergestellt werden.

Die größte Gefahr besteht durch Wellenschlag von vegetationslos überstauten Flächen. Innerhalb kürzester Zeit kann ein Damm weggespült werden. Die Luvseiten sind gegen Erosion zu

schützen, am einfachsten ist dies mit abgeschlagen Gehölzen oder Stubben, die bei der Abtorfung freigelegt wurden, möglich. Die Dämme bieten aufgrund der dort trockeneren Torfe ideale Wuchsstandorte für Birken und Kiefern, der unbedingt vermieden werden muss, um die Funktionsfähigkeit der Dämme zu gewährleisten. Ein Freihalten der Dämme mittels Mulcher oder Schafbeweidung in einem Intervall von zwei Jahren muss daher sichergestellt werden.

#### 5.5. Steuerung der Wasserstände

Auf vielen Flächen reicht die Wasserspeicherkapazität in den obersten Torfen für eine erfolgreiche Renaturierung nicht aus. Um im Sommer genügend Wasser für die Wiederansiedlung hochmoortypischer Pflanzen zu halten, ist ein winterlicher Überstau erforderlich. Beispielsweise ist für die Fläche im Leegmoor (Nick et al. 2001) mit Schwarztorfen und schwarztorfhaltigen Bunkerden eine winterliche Überstauhöhe von ca. 0,4 m erforderlich, damit die Torfe im Sommer noch wassergesättigt sind (Abb. 5.2). Mit Veränderung des Klimas, d. h. trockeneren und wärmeren Sommern, werden diese winterlichen Überstauhöhen vermutlich nicht mehr ausreichen. Im Jahr 2020 erfolgten hydrologische Untersuchungen im Leegmoor, um anhand von Modellen zukünftig notwendige winterliche Überstauhöhen kalkulieren zu können.

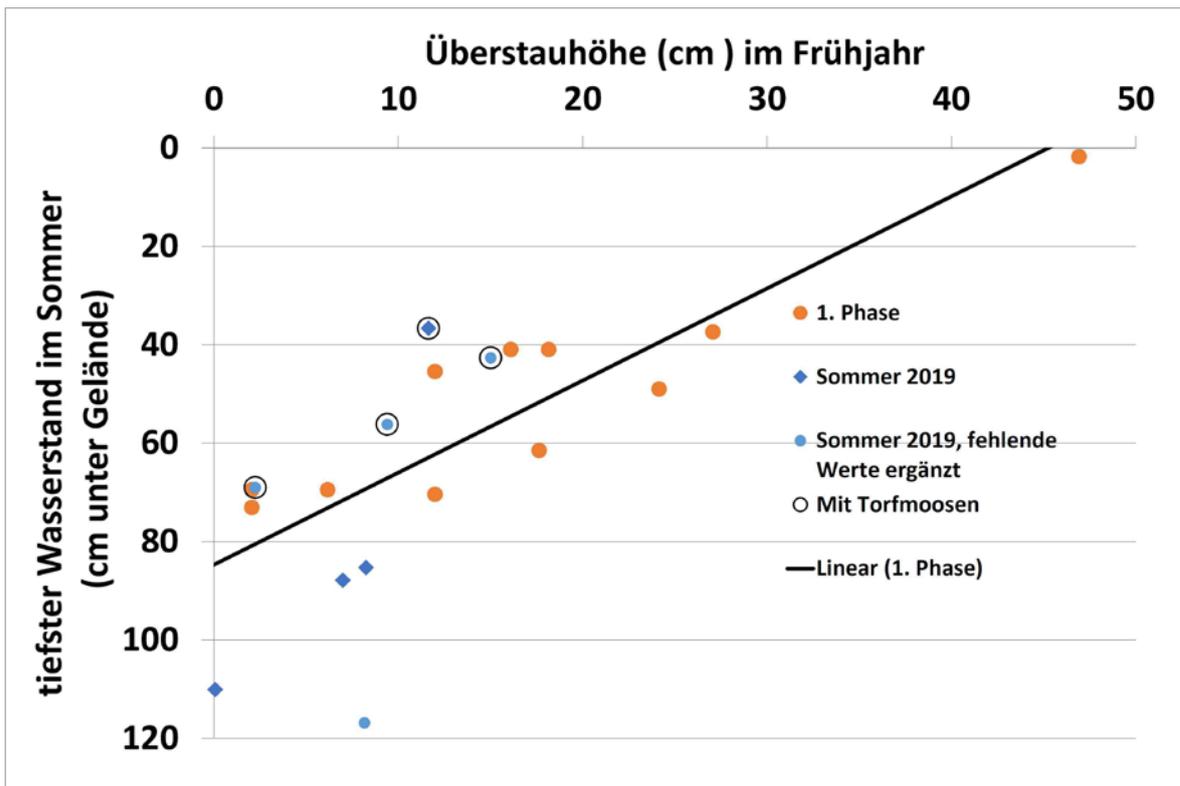


Abb. 5.2: Abhängigkeit der sommerlichen Tiefwasserstände von der winterlichen Überstauhöhe im Leegmoor (negative Zahlen = Wasserstände über Geländeoberfläche; BRUX et al., in Vorbereitung).

Bisherige Erfahrungen in Wiedervernässungsflächen zeigen, dass eine Steuerung bzw. Anpassung der möglichen Überstauhöhen in den ersten Jahren zu empfehlen ist. Nach Fertigstellen der Planierarbeiten und der Dämme kann mit dem ersten winterlichen Rückhalt der Niederschläge meist schon ein geringer Flächenüberstau erreicht werden. Nach Aufsättigung der Torfe ist es für vegetationsfreie Flächen günstig, wenn die Wasserstände zum nächsten Winter wieder so weit abgesenkt werden, dass die Flächen in den Sommermonaten gerade trockenfallen können. Unter diesen Bedingungen ist die Erstbesiedlung mit Wollgras oder Pfeifengras möglich. Sobald sich eine schütterere Vegetation ausgebildet hat, sind die winterlichen Überstauhöhen wieder anzuheben. Hiermit wird die verstärkte Wellenbildung verhindert, und es

werden günstige Ansiedlungsplätze für *Sphagnum cuspidatum* im Windschatten der Wollgräser oder des Pfeifengrases geschaffen. Auch können sich die Torfmoose sehr gut im wechselfeuchten Bereich ansiedeln (Abb. 5.3).

Eine gezielte Steuerung der Wasserstände im Jahresverlauf ist nicht notwendig und auch nicht möglich. Sehr wichtig ist die laufende Überwachung der Stauanlagen. Damit dies rationell möglich ist, müssen die Stauanlagen gut zugänglich sein, und es dürfen nicht zu viele in einer Fläche sein. Ein Monitoring ist wünschenswert, aber nur in wenigen Fällen aufgrund der hohen Kosten realisierbar. Die Übernahme der Wartungskosten der Stauanlagen und die Zuständigkeiten für die dauerhafte Pflege der Dämme sind rechtzeitig zu klären.

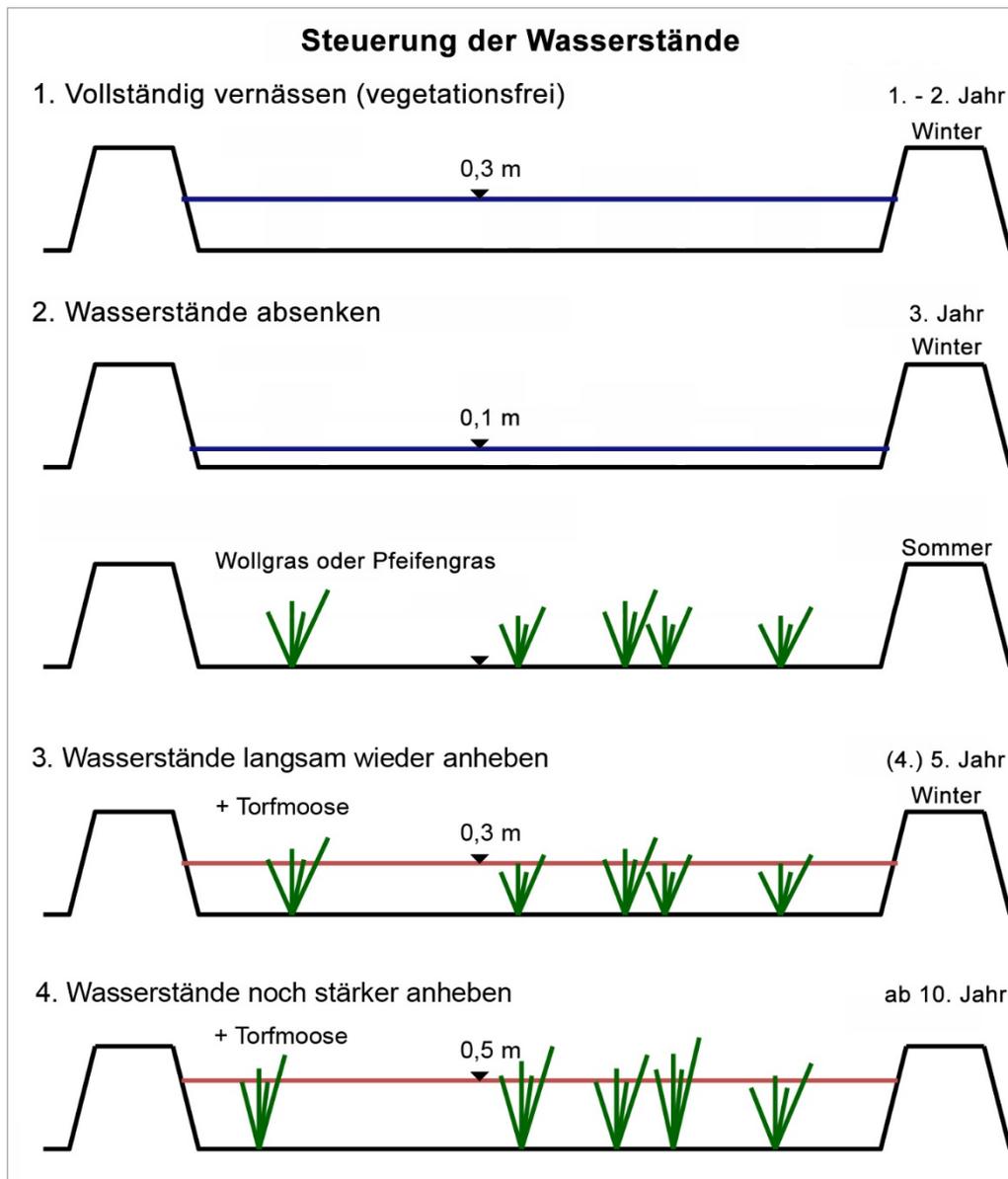


Abb. 5.3: Steuerungsvorschlag der Wasserstände innerhalb der ersten Jahre (verändert, nach MONEY (2004)).

## 5.6. Abnahme der Flächen

Nachdem die Flächen planiert sind und die notwendigen Dämme erstellt wurden, sollte die Abnahme der Flächen durch die Genehmigungsbehörde erfolgen. Liegen Abbauordinaten in  $m$  über NHN fest, dann lässt sich mit einem Kontrollnivellement die Abnahmesituation dokumentieren. Bei der Festlegung auf eine einzuhaltende Resttorfmächtigkeit ist eine Kontrollpeilung erforderlich. Hierfür eignen sich nur

Peilstangen mit einer Verdickung am Ende, damit ein Eindringen in den mineralischen Untergrund verhindert wird. Die genauesten Ergebnisse lassen sich mit dem Gutsbohrer (Bohrstange mit einer offenen Nut) erzielen. Zur Kontrolle der Peilungen werden punktuelle Aufgrabungen mit dem Spaten empfohlen. Auch der Einsatz eines Georadars ist eine geeignete Methode zur Erfassung der Resttorfmächtigkeit (HOFER 2007).

Da sich die Torfe durch Wasseraufnahme oder Frost in ihrer Struktur und ihrem Volumen verändern können, ist die Abnahme der Flächen in noch trockenem Zustand, bevor mit der Wiedervernässung begonnen wird, durchzuführen. In den Nebenbestimmungen der Genehmigung wird häufig die Durchführung der Überprüfung durch einen unabhängigen Dritten gefordert.

### **Textbox 5.1: Wissenschaftliche Nachuntersuchung des E+E-Vorhabens „Leegmoor“ (1984–1996), Universität Bremen**

HOLGER BRUX

#### **Beschreibung der Fläche**

Das Naturschutzgebiet „Leegmoor“ (NSG WE 136) ist ca. 450 ha groß und liegt im Nordwesten von Niedersachsen am Rande der Esterweger Dose (Nr. 159 Leegmoor und EU-Vogelschutzgebiet V14 Esterweger Dose). Das Gebiet ist Teil eines ursprünglich sehr viel größeren Moorgebietes. Der größte Teil im Norden wurde ab 1950 bis auf geringe Schwarztorfmächtigkeiten abgetorft. Hierdurch entstanden ungünstige Ausgangsbedingungen für die Wiederansiedlung von Moorarten. 1983 wurde das Erprobungs- und Entwicklungsvorhaben (E+E) „Wiedervernässung abgebauter Schwarztorfflächen im Leegmoor/Landkreis Emsland“ begonnen. Die wissenschaftlichen Begleituntersuchungen 1984–1996 (Nick et al. 2001) und 2018–2021 (BLANKENBURG et al. 2022) konzentrierten sich auf eine nach der Abtorfung 1983 zunächst vegetationsfreie Projektfläche von ca. 27 ha.

#### **Ziele 1984–1996**

Mit dem E+E-Vorhaben „Leegmoor“ sollten im Leegmoor erstmals großflächig praktikable Methoden zur Wiedervernässung von Schwarztorfflächen nach tiefgehendem industriellem Torfabbau beispielhaft erprobt und weiterentwickelt werden. Hauptziele waren die Minimierung der Versickerung von Wasser in den Untergrund und die Initialisierung der Hochmoorregeneration durch schnelle flächendeckende Besiedlung durch Hochmoorarten bei Vermeidung der Sukzession unerwünschter Vegetation (Nick et al. 2001).

#### **Ziele 2018–2021**

35 Jahre nach Beginn der Wiedervernässung sollen im Rahmen der Nachuntersuchung die langfristigen Auswirkungen der unterschiedlichen Herrichtungsmaßnahmen auf Fauna und Flora, Klima und Treibhausgase sowie Nährstoffdynamik und bodentypologische Veränderungen untersucht werden. Kernfrage ist, ob die äußeren Bedingungen, u. a. vor dem Hintergrund des Klimawandels und der Nährstoffbelastung, langfristig die Weiterentwicklung zu einem durch Regenwasser gespeisten, torfakkumulierenden Hochmoor und damit eine Hochmoorregeneration zulassen. Die Ergebnisse sollen die Basis für Handlungsempfehlungen werden, die von bundesweitem Interesse sind.

#### **Durchgeführte Maßnahmen**

Wesentliche Maßnahmen waren die Schaffung geeigneter abiotischer Bedingungen (Herstellung von Poldern mit ebenen Flächen zur Rückhaltung von Niederschlagswasser, Grabenabdichtung/-anstau/-verfüllung) und die Einbringung von Hochmoororganismen mit verschiedenen Methoden (Ansaat bzw. Anpflanzung von Glocken- und Besenheide, Wollgräsern und Torfmoosen, Einbringung von Plaggen (genaue Artenzusammensetzung der Pflanzen und (wirbellosen) Tiere unbekannt)). Durch die Staatliche Moorverwaltung wurden und werden bis heute bedarfsweise Entkusselung, Reparaturen an Poldern und Pflege von Dämmen durchgeführt.

#### **Wissenschaftliche Begleitung und Ergebnisse**

Das intensive wissenschaftliche Programm verfolgte und dokumentiert in einer Wiederholungsuntersuchung die meteorologischen, hydrologischen, bodenkundlichen, botanischen und zoologischen (Laufkäfer, Web-spinnen) Entwicklungen. Die 1984–1986 eingerichteten vegetationskundlichen Dauerquadrate, Fallenstandorte, Messpunkte und Pegel wurden mit denselben Methoden wie damals untersucht (Abb. 5.4) und z. T. ergänzt.

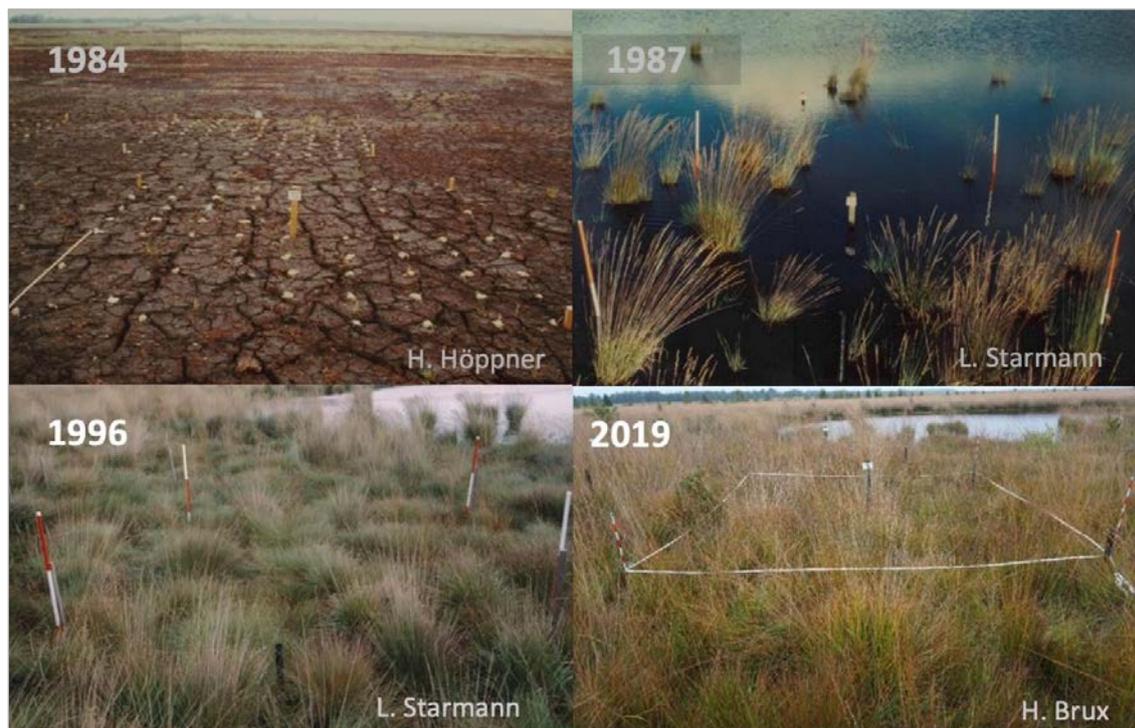


Abb. 5.4: Dauerquadrat 14 mit Anpflanzung des Spieß-Torfmooses (*Sphagnum cuspidatum*). Diese Art deckt seit 1992 ca. 60–80 % der Fläche.

Gegenüber der ersten Untersuchungsperiode waren die Wassergehalte im Boden signifikant höher und die Nährstoffgehalte i. d. R. geringer. Die verbesserten Nährstoffverhältnisse in den Böden sind im Wesentlichen auf eine Translokation in die Biomasse zurückzuführen, die im Untersuchungszeitraum erheblich zugenommen hat (NACHTIGALL & GIANI 2022).

Die leichte Zunahme der Niederschläge in den vergangenen Jahrzehnten hat bislang mit der temperaturbedingten Zunahme der potenziellen Verdunstung Schritt gehalten, sodass die klimatische Wasserbilanz nahezu unverändert geblieben ist und weiterhin deutlich im positiven Bereich liegt.

Die Initialisierung hochmoortypischer Vegetation ab 1984 war insgesamt erfolgreich. Sie war sinnvoll, da im Gebiet entsprechende Arten kaum vorhanden waren und mit einer Einwanderung über benachbarte Flächen nicht zu rechnen war. Wollgräser, Heidearten und Schlenkentrifmoose sind in vielen Bereichen vertreten, es wurde beginnende Torfakkumulation auf Schwarztorf festgestellt (Abb. 5.5).



Abb. 5.5: Lebende Torfmoose und schwach humifizierte jüngere Weißtorfe auf dem zu Beginn der Renaturierung 1984 vorhandenen Schwarztorf.

In den trockenen Sommern 2019 und 2020 blieb es in einigen Bereichen nass, stellenweise konnten schwach humifizierte neu gebildete Hochmoortorfe und die lebende Torfmoosvegetationsdecke einen Teil der Niederschläge ähnlich einem Schwamm aufnehmen und dadurch gute Bedingungen für weitere gefährdete Moorarten bieten. Erste Ergebnisse zeigen z. B. in gut vernässten Teilbereichen eine Zunahme hygrophiler Moor-Charakterarten der Laufkäfer. Allerdings besteht auf vielen Flächen eine Dominanz des Pfeifengrases, wobei die Streuauflage des Pfeifengrases die Verdunstung im Frühjahr reduziert. Bultbildende Torfmoose wurden 1984 nur in geringem Umfang über Plaggen und Anpflanzung in vegetationsfreie Schwarztorfflächen eingebracht und haben sich dort z. T. etabliert, jedoch nur wenig ausgebreitet. Weitere Bulttorfmoose wurden 2020 vor allem im Bereich von Heideflächen festgestellt. Ausgehend von diesen Ergebnissen führt der Landkreis Emsland im Rahmen des Hotspot-23-Projektes seit 2021 weitere gezielte Anpflanzungen von Bulttorfmoosen durch (BRUX et al., in Vorbereitung).

Die Flächenunterhaltung der Moorverwaltung hat nicht nur die Zugänglichkeit für die Untersuchungen ermöglicht, sondern auch durch Entfernung von Gehölzaufwuchs und Arbeiten an Poldern und Dämme sehr zu diesen positiven Ergebnissen beigetragen.

#### **Ausblick**

Die Ergebnisse der langjährigen Untersuchungen geben zu vorsichtigem Optimismus Anlass, dass die Erhaltungsziele – u. a. die Wiedervernässung und Renaturierung der Abtorfungsflächen mit der Wiederherstellung großflächiger, offener Hochmoorbereiche mit Bult-Schlenken-Komplexen (LK EMSLAND 2009) – langfristig erreichbar sind. Auch bei einem moderaten weiteren Temperaturanstieg dürften die klimatischen Bedingungen im Emsland für eine Hochmoorregeneration ausreichen. Die Klimaeffekte sind ebenfalls positiv: Es wurden Freisetzungsraten an drei unterschiedlichen Standorten von  $-1,1 \text{ t CO}_2\text{-Äq. ha}^{-1}\text{a}^{-1}$  bis  $+3,9 \text{ t CO}_2\text{-Äq. ha}^{-1}\text{a}^{-1}$  durch HÖPER (2015) gemessen, wobei in jedem Fall eine Kohlendioxidfestlegung stattfindet. Die Ergebnisse zeigen auch, wie wichtig fortgesetztes Monitoring und Management sind, um die Chance auf Erreichung der Ziele von Naturschutz und Klimaschutz zu wahren.

## 6. Renaturierung landwirtschaftlich genutzter Flächen

BERND HOFER, HERMANN WREESMANN,  
VYTAS HUTH, ANNA BARTEL &  
GERALD JURASINSKI

### 6.1. Die Geschichte der landwirtschaftlichen Nutzung

Die landwirtschaftliche Nutzung der Hochmoore in Niedersachsen begann im 17. Jahrhundert mit der Moorbrandkultur. Diese erfolgte über ein Abflammen der Moorvegetation nach oberflächiger Entwässerung. Die ursprüngliche Hydrologie der Flächen, deren Trophiegrad und Artenspektrum blieben vorerst weitgehend intakt. Teilweise erfolgte zwischen den Brennperioden eine Beweidung durch Schafe, was die Entwicklung von Heidevegetation begünstigte. Das Brennen führte außerdem zu Verlusten an Torfsubstanz, insbesondere in den oberen

Weißtorfschichten (EGGELSMANN & BLANKENBURG 1990). Ab dem 20. Jahrhundert wurden die Hochmoore systematisch entwässert, und mit der Entwicklung der deutschen Hochmoorkultur und später der Sanddeckkultur war eine intensive Grünlandnutzung bis hin zum Ackerbau auf den Hochmoorflächen möglich (Abb. 6.1; BLANKENBURG 2015).

Für die heutige landwirtschaftliche Nutzung wurden ab etwa dem 20. Jahrhundert die vorher ungenutzten Moorflächen zunächst entwässert, dann gekalkt, aufgedüngt und das Saatgut des Wirtschaftsgrünlands eingebracht. Die Entwässerung des Torfkörpers führt zu Sackung, Schrumpfung und oxidativem Torfschwund (KUNTZE 1983). Allein durch Sackung und Schrumpfung entsteht ein Höhenverlust von bis zu einem Drittel der gesamten Torfmächtigkeit (BLANKENBURG 2015). Diese Höhenverluste setzen sich durch den oxidativen Torfschwund fort, die bei einer Grünlandnutzung, je nach Intensität, ca. 1 bis 2 cm im Jahr betragen kann (BLANKENBURG 2015). Bei einer Ackernutzung steigert sich der Höhenverlust sogar auf 2 bis 10 cm pro Jahr.



Abb. 6.1: Landwirtschaftliche Nutzung auf Torfböden; links Maisacker, rechts Intensivgrünland (Foto: Hofer & Pautz GbR).

### 6.1.1. Vorbelastung aus der landwirtschaftlichen Nutzung

Häufig wurden die Flächen nicht nur oberflächlich durch die Gräben und Grüben entwässert, sondern zusätzlich im Untergrund dräniert. Dies geschah zunächst mit Tonrohren (Abb. 6.2), heute mit Kunststoffdränungen. Durch die Mächtigkeitsverluste der entwässerten Torfe

nimmt der Flurabstand der Dränung über die Jahre ab – die Dränungen „wachsen heraus“. Durch diese Höhenverluste entsteht ein Teufelskreis in der Moornutzung. Immer wieder müssen neue Dränungen gesetzt und Vorfluter vertieft werden, weil die Oberfläche mit der Zeit zu nah an die Dränungen gelangt bzw. die Vorflut für die Dränungen nicht ausreicht (KUNTZE 1983).



Abb. 6.2: Tondränungen im Querschnitt mit landwirtschaftlichem Oberboden auf der Oberfläche und im Drängraben (Foto: Hofer & Pautz GbR).

Die Dränung und landwirtschaftliche Nutzung verursachen irreversible Änderungen der Moorhydrologie und -trophie sowie einen völlig veränderten Akrotelm in der oberen Torfschicht (ca. 30 cm, im Folgenden „Oberboden“). Der landwirtschaftliche Oberboden zeichnet sich durch höhere Zersetzungsgrade (Vererdung) aus (Abb. 6.3). Die Bodenbildungsprozesse unter Entwässerung, veränderten pH-Werten (Kalkung) und Nährstoffgehalten (Düngung) haben zu einer relativen Anreicherung der mineralischen Bestandteile des Torfes geführt („Mineralisation“).



Abb. 6.3: Landwirtschaftlicher Oberboden im Bohrstock mit 23 cm Mächtigkeit, darunter Weißtorf (Foto: Hofer & Pautz GbR).

Eine landwirtschaftliche Nutzung von Hochmoorböden ist nur bei einem vorhandenen, dränfähigen Weißtorfkörper möglich. Ist dieser durch Abtorfung ganz oder teilweise entfernt oder durch Torfschwund aufgebraucht, wirkt sich das gravierend auf die Hydrologie aus, da Porenvolumen und hydraulische Leitfähigkeit im darunterliegenden Schwarztorf drastisch abnehmen. Dies führt schnell zu Staunässe oder Trockenheit. Ein konstantes Wasserniveau, das von vielen Kulturpflanzen benötigt wird, wird nicht mehr gewährleistet, was die landwirtschaftliche Nutzung dieser Flächen um einiges erschwert. Will man derartige Standorte weiter landwirtschaftlich nutzen, bleibt nur die Sandmischkultur, sofern Untergrund und Vorflut dieses zulassen. Das wäre jedoch mit einer irreversiblen Zerstörung des Hochmoorkörpers verbunden und ist inzwischen zumindest in Niedersachsen auf Grundlage des § 2a NAGB-NatschG auf Grünlandstandorten verboten. Diese fortwährenden Degenerationsprozesse können schlussendlich nur durch die Wiedervernässung der Flächen gestoppt werden.

Weiterhin ist der landwirtschaftliche Oberboden durch das Samenpotenzial der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen und ihrer Begleiter („Unkräuter“) geprägt (Abb. 6.4). Nach entsprechend langer Nutzung ist davon auszugehen, dass ggf. auch der Unterboden, z. B. durch Einwaschung von Nährstoffen, negativ beeinflusst worden ist. Bei Standorten mit Sanddeckkultur wurde zusätzlich max. 20 cm Sand aus dem mineralischen Untergrund auf den Torfkörper aufgespült, um die Trittfestigkeit des Standortes zu verbessern (HUTH et al. 2019). Auf solchen Standorten fehlen heute hochmoortypische Diasporen meist fast gänzlich (HUTH et al. 2019, RATH & BUCHWALD 2008).

Der Abtrag des landwirtschaftlichen Oberbodens würde daher aufgrund der Vorbelastungen zu einer deutlichen Reduzierung der Nährstoff- und Samenbelastung der Flächen führen (HUTH et al. 2019, Abb. 6.4 und 6.5) und damit die Erfolgsaussicht der Renaturierung von Hochmoorbiotopen verbessern (ROSINSKI et al. 2021).

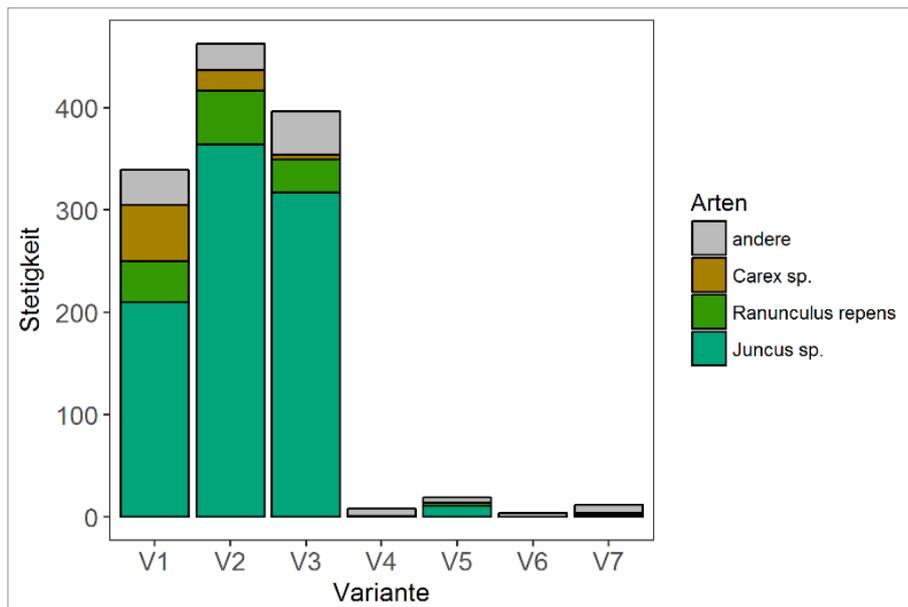


Abb. 6.4: Absolute Stetigkeit der gekeimten Individuen im Torfprofil der Varianten ohne und mit Oberbodenabtrag des OptiMoor-Projektes (HUTH et al. 2019). Die Varianten werden in Abbildung 6.9 beschrieben. Gattungen/Arten mit weniger als 5 % Anteil an der Gesamt-Individuenzahl sind unter „andere“ zusammengefasst.

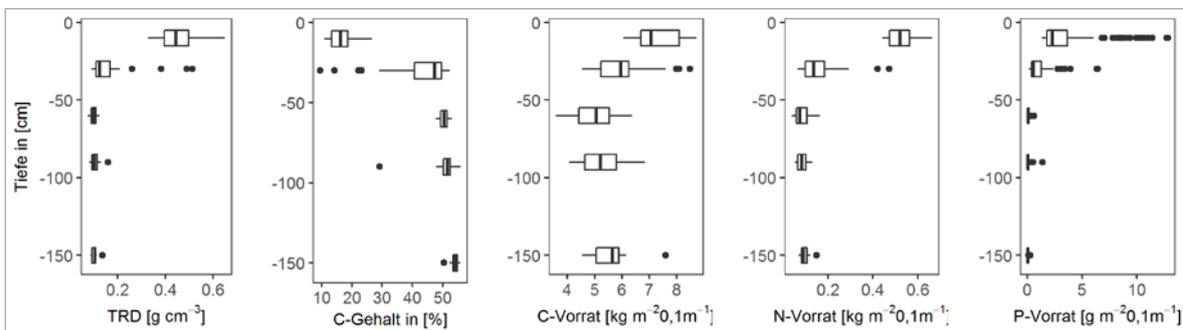


Abb. 6.5: Trockenrohddichte (TRD, in  $\text{g cm}^{-3}$ ), C-Gehalt (% der Trockenmasse) sowie Boden-C-, -N- ( $\text{kg m}^{-2}$   $0,1 \text{ m}^{-1}$ ) und P-Vorräte ( $\text{g m}^{-2}$   $0,1 \text{ m}^{-1}$ ) im Torfprofil der Versuchsfläche des OptiMoor-Projektes (aus HUTH et al. 2019).

### 6.1.2. Entwicklungspotenzial landwirtschaftlich vorgeutzter Hochmoorstandorte für Natur- und Klimaschutz

Die Flächen der deutschen Hochmoorkultur und Sanddeckkultur haben eine hohe Bedeutung für die Renaturierung zum Zwecke des Natur- und Klimaschutzes, weil der ursprüngliche Torfkörper nicht mit dem mineralischen Untergrund gemischt wurde und beide Schichten noch in gewachsener Form erhalten sind.

Aktuell stellt die landwirtschaftliche Nutzung auf circa 54 % der Hochmoorflächen die größte Nutzungskategorie der niedersächsischen Hochmoore dar (MU 2016). Manche dieser kultivierten Hochmoore weisen hohe, insbesondere faunistische Naturschutzwertigkeiten auf, denen mit eigenständigen Schutz- und Entwicklungszielen bei der Planung von Renaturierungsmaßnahmen Rechnung getragen werden muss. Diese Flächen setzen sich aus verschiedenen Typen des Seggen- und binsenreichen Nassgrünlands einschließlich Pfeifengraswie-

sen (GN), Borstgrasrasen (RN) sowie sonstigem Extensivgrünland (GM, GF) zusammen (Biotoptypen nach VON DRACHENFELS (2021)).

Sofern diese unmittelbaren Naturschutzwertigkeiten nicht gegeben sind, wären denkbare Entwicklungsziele auf den in der Regel intensiv landwirtschaftlich vorgeutzten Flächen Vernässungsvarianten mit oder ohne Oberbodenabtransport (vgl. Kap. 6.2).

### 6.1.3. Abtorfung landwirtschaftlich vorgeutzter Hochmoorstandorte

Eine Renaturierung nach landwirtschaftlicher Nutzung ist in der Vergangenheit nicht selten als Folge einer Abtorfung mit der Folgenutzung „Wiedervernässung“, als Auflage für die Abtorfungsgenehmigung, geschehen (FRANK et al. 2021). Dabei wurde in der Regel im Hinblick auf eine wirtschaftliche Ausschöpfung der Lagerstätte der Torf so tief wie möglich entnommen, dabei jedoch eine Restmächtigkeit an Schwarztorf belassen, um die Dichtigkeit des Standortes für die Vernässung weitmöglich zu erhalten. Die Fläche wurde anschließend verwaltet, planiert und bei Bedarf gepoldert, d. h. in Teilflächen unterschiedlicher Geländehöhe in Anpassung an die Topographie des mineralischen Untergrundes unterteilt (Kap. 5).

Im Gegensatz zu Abtorfungen auf nicht landwirtschaftlich vorgeutzten Hochmoorstandorten ist zu berücksichtigen, dass bei der Renaturierung landwirtschaftlich vorgeutzter Hochmoorstandorte der eutrophe Oberboden nicht wieder auf die Fläche verbracht werden soll, sofern eine Wiedervernässung vorgesehen ist. Die erfolgreiche Wiederbesiedlung mit hochmoortypischen Arten wird davon abhängen, wie gründlich der landwirtschaftliche Oberboden von der Fläche entfernt worden ist.

Kapitel 6.1.2. (Entwicklungspotenzial) betrachtet die Wiedervernässung und Renaturierung von Hochmoorflächen mit einer landwirtschaftlichen Vornutzung im Sinne des Biotop- und Klimaschutzes. Grundsätzlich sind zwei Entwicklungspfade zu differenzieren:

- Entwicklung nach Torfabbau,
- Entwicklung ohne vorherigen Torfabbau.

Die Entwicklung nach Torfabbau wird im Kapitel 5 behandelt und hier nicht weiter betrachtet.

Dieses Kapitel behandelt die Renaturierung landwirtschaftlich vorgeutzter Flächen ohne vorherigen Torfabbau. Dies betrifft Flächen der Deutschen Hochmoorkultur und der Sanddeckkultur, bei denen die unteren Torfschichten ungestört sind (BLANKENBURG 2015). Tiefgepflügte oder baggergekühlte Flächen sind sehr schwer geschädigte Moorstandorte und können nur mit sehr viel Aufwand und in sehr langen Zeiträumen wieder in Richtung eines Hochmoorbiotops entwickelt werden. Da solche Standorte aber nach wie vor sehr hohe Treibhausgasemissionen aufweisen können (TIEMEYER et al. 2016), wären diese aus Klimaschutzgründen dennoch zu vernässen. Sofern der Staukörper (Schwarztorfschicht oder Podsolierungshorizonte) vollständig zerstört ist, können diese Flächen nicht mehr erfolgreich vernässt werden.

### 6.2. Erstinstandsetzungsmaßnahmen auf ehemals landwirtschaftlichen Flächen

Viele Projekte auf landwirtschaftlich vorgeutzten Hochmoorstandorten zielen darauf ab, eine Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen zu bewirken und gleichzeitig langfristig auf großer Fläche hochmoortypische Vegetation zu entwickeln. Allerdings wird der jeweilige Zielerreichungsgrad stark durch die Trophie und die ganzjährige Konstanz und Höhe der Wasserstände sowie die Wasserqualität bestimmt. Mit entsprechendem Aufwand lassen sich grundsätzlich beide Parameter möglichst optimal gestalten. So ist es technisch möglich, den eutrophen Oberboden abzutragen, um ein nährstoffarmes Niveau für die hochmoortypische Vegetation zu erzeugen (s. Kap. 6.1.1). Bei Vorhandensein eines intakten Staukörpers kann durch Planieren, Verwallen und Abflusskontrolle Niederschlagswasser auf der Fläche zurückgehalten und zur Vernässung genutzt werden. Die Wasserstandshöhe wird allerdings durch die saisonale (Winter vs. Sommer) und interannuelle (trockene vs. nasse Jahre) Variabilität bestimmt. In Einzelfällen (z. B. für die schnelle Etablierung von Torfmoos-Spenderflächen) kann es technisch möglich und finanziell vertretbar sein, durch ein aktives Wassermanagement ganzjährig oberflächennahe Wasserstände abzusichern, sofern nährstoffarme Wasserquellen, vorwiegend aus Oberflächenwasser (z. B. aus Torfstichen), in ausreichender Menge und Qualität zur Verfügung stehen.

Aufgrund der begrenzten personellen und vor allem finanziellen Ressourcen im Klima- und Naturschutz ist es jedoch wichtig, mit diesen Ressourcen so umzugehen, dass Aufwand und Ertrag in einem angemessenen Verhältnis zueinander stehen. Es ist daher in jedem Einzelfall sorgfältig abzuwägen, ob ein naturschutzfachlich wünschenswertes Optimum für die Schaffung hochmoortypischer Vegetation mit höheren CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die dafür erforderlichen Abträge akzeptiert werden soll, oder ob suboptimale Voraussetzungen für die Entwicklung einer Hochmoorvegetation akzeptiert werden, um möglichst wenig Torf zu lösen und so die CO<sub>2</sub>-Emissionen in engen Grenzen zu halten. In der Praxis wird oft ein Mix aus keinem Oberbodenabtrag und Oberbodenabtrag bis zur Anstauhöhe zur Umsetzung kommen. Nur so lassen sich mit ökonomisch vertretbarem Aufwand annähernd ebene Polderinnenflächen (+/- 10 cm) schaffen und Material für die randlichen Dämme gewinnen.

Grundsätzlich kommen zwei Varianten zur Umgestaltung von landwirtschaftlich genutzten Hochmoorstandorten im Sinne des Biotop- und Klimaschutz in Betracht:

#### **Umgestaltung mit partieller Oberbodenverlagerung**

Bei dieser Variante wird ein weitgehend undurchlässiger Damm aus stark zersetzten Torfen des Oberbodens geschaffen. Die Entnahmemenge und die Polderhöhe orientieren sich am Torfbedarf für die Dämme (analog zum Vorgehen in Schleswig-Holstein; s. Kap. 6.5). Diese Flächen entwickeln sich zu nassem, z. T. nährstoffreichem Offenland (ggf. mit Dauerpflege) oder Wildnisbereichen (ohne flächige Dauerpflege) mit kleineren Bereichen ohne Oberboden, in denen sich nach ein paar Jahren zumeist Schlenkentangmoose etablieren. Diese ergänzen im Idealfall angrenzende Hochmoorlebensräume. Beispiele dafür sind die Varianten 2 und 3 des OptiMoor-Projektes (Textbox 6.1, Abb. 6.9) und das Wilde Moor bei Schwabstedt, Schleswig-Holstein (Textbox 6.2). Die Wertigkeit dieser neu geschaffenen Biotope für den Naturschutz hängt stark von der Effektivität der geschaffenen Vernässung und vom Trophiegrad des Oberbodens ab.

#### **Umgestaltung mit Oberbodenabtransport**

Bei dieser Variante wird der gesamte vererdete Oberboden entfernt. Damit fallen große Volumina an Oberboden an, die z. T. in die Dämme eingebaut werden könnten und z. T. von der Fläche abtransportiert werden müssten. Diese sehr aufwändigen Maßnahmen können Hochmoorregenerationsbereiche mit Potenzial zur langfristigen Entwicklung naturnaher Hochmoorlebensräume schaffen. Beispiele dafür sind der Bereich südlich des Ewigen Meeres, Tannenhausen, LK Aurich oder die OptiMoor-Varianten 4 und 5 (Textbox 6.1, Abb. 6.9).

Die Tiefe des Abtrags lässt sich nicht pauschal als Vorgabe festlegen, sondern wird durch verschiedene flächenspezifische Parameter bedingt:

- Oberflächenrelief,
- Stratigraphie,
- Dräntiefe,
- Hydrologie,
- Leitbild.

Bei einer Sanddeckkulturfläche würde man ebenfalls die oberste Schicht aus Sand entfernen. Der Sand ist nicht für Dammbau oder Substratverwertung geeignet. Es sind daher andere Verwertungspfade für dieses Substrat zu suchen.

Es sollte für die Renaturierung von Hochmoorbiotopen nach landwirtschaftlicher Nutzung die Prämisse des maximal möglichen Torferhalts gelten. Daher ist höchstens so viel Oberboden abzutragen, wie nötig ist, um günstige Ausgangsbedingungen (s. Kap. 6.1.1) für eine hochmoortypische (= torfmoosdominierte) Vegetationsentwicklung zu schaffen.

Das Material sollte mit dem Hydraulikbagger im „Rückzug“ abgezogen werden, d. h. dass die abgezogenen Flächen anschließend nicht mehr befahren werden sollen, um erneute Einschleppung von Nährstoffen und Samen der landwirtschaftlichen Nutzung zu vermindern. Anschließend kann das Material vom Bagger entweder direkt in den Dammbau eingebracht oder mit dem Dumper abgefahren werden (Abb. 6.6). Alternativ ist auch der Abtrag des Oberbodens mithilfe von Moor- oder Pistenraupen denkbar und gegebenenfalls wirtschaftlicher. Bei allen eingesetzten Maschinen ist auf eine dem Torf-

boden angepasste Ausrüstung mit Moorlaufwerken oder Zwillingsreifen für einen verringerten Bodendruck zu achten.



Abb. 6.6: Oben: Teilabtrag des landwirtschaftlichen Oberbodens mit Hydraulikbagger und Moor-Kübelraupe, unten: Der abgetragene Oberboden eignet sich für Dämmebau (Lichtenmoor, Fotos: T. Beuster).

Wenn passiver Wasserrückhalt durch Planieren, Dämme und Überläufe für die Wasserversorgung nicht ausreicht, kann über aktives Wassermanagement nachgedacht werden. Sofern technisch mit vertretbarem Aufwand realisierbar und personell umsetzbar, können Maßnahmen

zum aktiven Wassermanagement umgesetzt werden. Das örtliche Wasserdargebot in Menge und Qualität (Trophie) ist dabei besonders zu berücksichtigen. Vorteilhaft wäre, dass zumindest in den ersten Jahren nach Wiedervernäs-

sung die hydrologischen Bedingungen aktiv gesteuert werden könnten, bis sich ausreichend hochmoortypische Vegetation etabliert hat, die das Moor zur hydrologischen Selbstregulation befähigt. Im Niedermoor sind mit diesem Ansatz positive Ergebnisse erzielt worden (VEGELIN et al. 2009).

### 6.2.1. Erstinstandsetzung mit partieller Oberbodenverlagerung

Ziel ist es, neben der Aufhebung vorhandener Dränungen den seitlichen Abfluss von Niederschlagswasser durch die Anlage von Dämmen zu verhindern. Die Polderinnenflächen werden dazu zunächst in den Bereichen gefräst, aus denen Dammbaumaterial entnommen werden soll. Der Polderinnenbereich wird auf ein einheitliches Niveau (+/-10 cm) planiert. Da langjährig genutztes Hochmoorgrünland in der Regel ein sehr unebenes Geländere relief mit Höhenunterschieden von bis zu 100 cm aufweist, ist eine Vernässung ohne partielle Oberbodenverlagerung in der Praxis kaum möglich. Senken unterhalb der Anstauordinate können unbearbeitet bleiben.

Die Größe der Polder orientiert sich am Geländere relief und dem für den Damm benötigten Oberboden. Der bei der Planierung anfallende Oberboden wird als randlicher Damm (ca. 1 m über Stauziel, 3 m Kronenbreite, Böschungsneigung 1:2) eingebaut. Beim Bau von Dämmen auf landwirtschaftlich vorgemuteten Standorten sind das Geländere relief, die Stratigraphie sowie die aktuelle Dränungssituation zu berücksichtigen. Um laterale Wasserbewegungen nicht nur oberflächennah, sondern auch in tieferen Schichten zu unterbinden, sollte im Bereich der Dammtrasse der Boden mindestens bis zur Dränungstiefe, besser jedoch zum anstehenden Schwarztorf durchgegraben werden (MORDHORST-BRETSCHNEIDER 2018). Regelbare Überläufe verhindern zu hohe Wasserstände und damit Beschädigungen an den Dämmen. Je nach Wasserdargebot, Trophiegrad und Diasporenpotenzial wird sich hochmoortypische Vegetation, wenn überhaupt, erst nach Jahren oder Jahrzehnten und vermutlich zuerst in den abgehobenen Bereichen einstellen.

### 6.2.2. Erstinstandsetzung mit Oberbodenabtransport

Sofern die Zielvorgabe die Wiederherstellung hochmoortypischer Lebensräume ist, kann ein Oberbodenabtransport dazu dienen, den Trophiegrad zu senken und die hydrologischen und physikalischen Eigenschaften am Standort für die Etablierung einer hochmoortypischen Vegetation zu verbessern (s. Kap. 10; HUTH et al. 2019, ROSINSKI et al. 2021). Transportkosten für das abzutragende Material und dessen Klimarelevanz sind dabei zu berücksichtigen. Im Zusammenspiel mit einem aktiven Wassermanagement und aktiver Übertragung mit Torfmoosen konnte so auf kleinen Versuchsflächen im OptiMoor-Projekt (vgl. Abb. 6.7) nach drei Jahren ein bis zu 20 cm mächtiger Torfmoosrasen entwickelt werden, der nicht nur die hydrologische Selbstregulation verbessert, sondern auch die Ansiedlung unerwünschter Gehölze zu erschweren scheint (ROSINSKI et al. 2021). Dies reduziert wiederum den Pflegeaufwand nach der Maßnahmenumsetzung (Entkusselung etc.). Versuchsflächen im Praxismaßstab (mindestens 3–5 ha) fehlen bisher dazu.

Bei einem Oberbodenabtransport wird die ganze physikalisch veränderte obere Bodenschicht abgetragen (Kap. 6.1.1). Die Unterkante des vererdeten Oberbodens verläuft oft nicht plan, sondern orientiert sich mehr oder weniger am Oberflächenrelief und der Dränungssituation. Ein Abtrag garantiert somit keine neue ebene Oberfläche aus ungestörtem Torf. Der darunterliegende, ungestört gelagerte Torf bildet im besten Fall die neue ebene Oberfläche (+/-10 cm) und soll einplaniert werden (s. Kap. 5.3.1). Soweit dies technisch möglich ist, sollten die obersten 10 cm, die durch einen hohen Anteil an organischer Masse (rezente Wurzeln), Samenpotenzial und Nährstoffe geprägt sind, getrennt abgezogen und für den Dammbau genutzt werden. Sofern es sich nicht um übersandete Standorte handelt, eignet sich dieses Material aufgrund der höheren Zersetzungsgrade besonders zum Bau von Dämmen und lässt sich gut verdichten.

Es verbleiben in gedränten Flächen in einem Abstand zwischen wenigen Metern und 20 m die tiefer greifenden Gräben, in denen die Dränung liegt. Diese Gräben sind ebenfalls mit landwirtschaftlichem Oberboden gefüllt und gliedern teilabgetragene Flächen. In der anschließenden Vegetationsentwicklung zeichnen sich diese Streifen deutlich ab (HUTH et al.

2019, ROSINSKI et al. 2021). Will man vollständig nährstoffarme Standorte realisieren, sind alle Dränstränge vor dem Bau der Dämme mit dem Bagger aufzusuchen und die in den Drängräben lagernden nährstoffreichen Schichten zu entfernen. Diese Herangehensweise ist mit hohem technischen und finanziellem Aufwand verbunden und hinterlässt zunächst eine „wellige“ Oberfläche, die anschließend einplaniert werden muss, um eine ebene Polderfläche zu gewährleisten. Darüber hinaus ist es unverzichtbar, im Zuge des Dammbaus die Randbereiche von Vernässungspoldern gezielt bis auf Dräntiefe umzugraben, um sicherzustellen, dass alle Dränstränge zerstört und damit funktionslos sind.

### 6.2.3. Verwertung des Abtrags

Beim Oberbodenabtransport kann in vielen Fällen nicht das gesamte Material in den Dammbau und das Schließen der Gräben eingebracht werden. Aus klimatischer Sicht wäre dies aber zu bevorzugen (BARTEL et al. 2019). Daher ist die praxisnächste Variante jene, welche nur die Mengen bzw. Teilflächen abträgt, die benötigt werden, um Grabenschließung und Dammbau zu gewährleisten und die Polderinnenflächen einzuebnen. Diese Variante ist mit dem geringsten technischen Aufwand verbunden, bedeutet aber, dass sich die nicht abgetragenen Bereiche aufgrund des höheren Nährstoff- und Diasporenpools des Oberbodens erst mittelfristig in Richtung Hochmoorbiotop entwickeln werden (Kap. 6.1.1, Abb. 6.7).



Abb. 6.7: Oberbodenabtrag mit verbleibenden Dränstreifen – OptiMoor (Fotos: Hofer & Pautz GbR). Links: Variante 4 „Oberbodenabtrag 30 cm“ bei Flächeneinrichtung März 2017, rechts: Variante 5 „Oberbodenabtrag 30 cm mit Torfmoosbeimpfung“ im Juni 2018 (vgl. Abb. 6.9). Die Dränstreifen zeichnen sich in der ansonsten geschlossenen Torfmoosdecke deutlich durch die Keimung von Grünlandvegetation ab (v. a. Hahnenfuß und Binsen).

Sofern großflächig abgetragen werden soll, ist eine Verwertung des abzutransportierenden Materials zu gewährleisten, welches für die Projektfläche klimarelevant wird (Kap. 6.2). Dies kann z. B. im Landschaftsbau zur Bodenverbesserung in der Landwirtschaft auf armen Standorten oder durch die Erden- und Substratindustrie geschehen, was im Zuge der Genehmigungsverfahren transparent zu kommunizieren und zu bilanzieren wäre. Auch eine Lagerung in den dann breiter zu gestaltenden Verwallungen wäre denkbar. Auf dieser Grundlage kann eine Entscheidung gefällt werden, in welchem Umfang ein Oberbodenabtransport durchgeführt werden soll.

#### 6.2.4. Grabenschluss/Dränung

Um das Baufeld nicht unnötig zu vernässen, stellt der Verschluss von Gräben in der Regel den letzten Schritt der Vernässung dar. Sofern diese in den mineralischen Untergrund einschneiden, ist die Grabensohle entsprechend mit stark zersetztem Torf abzudichten (vgl. Kap. 4.2.2). Die in den Gräben führenden Dränungen sind vor dem Dammbau gründlich zu zerstören. Um keine Dränstränge zu übersehen, kann es sinnvoll sein, im Bereich der Dammbauten diese Dräne mit Suchgräben zu identifizieren und funktionslos zu machen.

#### 6.2.5. Entwicklung der Vegetation

Sofern die hydrologischen Voraussetzungen gegeben sind (ganzjährig oberflächennahes, nährstoffarmes Wasser), können zur Beschleunigung der Bildung eines Akrotelms Torfmoose eingebracht werden (s. Kap. 10). Es muss geprüft werden, ob die sich nach der Erstinstanzentwicklung entwickelnde Vegetation es zulässt, dass sich neben den schnell einstellenden Schlenkentangmoosen auch Bultorfmoose etablieren und wachsen können. Bei noch intakten Grasnarben oder einem geschlossenen Binsenbestand ergibt es wenig Sinn, Bultorfmoose auszubringen. Wenn Nährstoffgehalt und pH zu hoch sind, werden zunächst Gefäßpflanzen wie Binsen, Seggen, Rohrkolben und Schilf die Fläche dominieren und höchstens Platz für Schlenkentangmoose lassen. Flächen, die eine extensive Vornutzung hatten (ohne Düngung und Aufkalkung), oder auf denen der eutrophe Oberboden beseitigt wurde, haben daher eine

bessere Chance auf eine erfolgreiche Etablierung der Torfmoose.

Pflegemahd zum Entzug von Nährstoffen könnte insbesondere in den ersten Jahren nach Maßnahmendurchführung das Erreichen der Zielvegetation beschleunigen. Diese ist allerdings technisch anspruchsvoll und mit hohen Kosten für den Abtransport und die Entsorgung des Mähgutes verbunden. Das Kosten-Nutzen-Verhältnis einer Pflegemahd ist daher sorgfältig abzuwägen. Sofern keine Pflegemaßnahmen erforderlich oder gewollt sind, werden sich unterschiedliche Sukzessionsstadien nieder- bis übergangsmoorartiger Vegetation einstellen.

### 6.3. Klimawirkung der Hochmoorrenaturierung nach landwirtschaftlicher Nutzung

Die fortwährende Degeneration von landwirtschaftlich genutzten Hochmoorböden kann nur durch die Wiedervernässung gestoppt werden (Kap. 6.1.1). Diese reduziert insgesamt deren Klimawirkung, da durch die Wiedervernässung vor allem hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden werden, deren Wirkung um ein Vielfaches höher ist, als die der nach Vernässung auftretenden Methanemissionen (GÜNTHER et al. 2020, IPCC 2014, TIEMEYER et al. 2020). Das liegt daran, dass fortdauernde CO<sub>2</sub>-Emissionen einen kumulativen Erwärmungseffekt haben, weil der atmosphärische Abbau extrem langsam ist, während die Klimawirkung von Methan schnell durch das Gleichgewicht aus fortdauernden Emissionen und fortwährendem atmosphärischem Abbau bestimmt wird. Dauerhafte Methanemissionen können somit näherungsweise mit einer einmaligen CO<sub>2</sub>-Emission verglichen werden.

Durch Oberbodenabtrag lässt sich die Erfolgsaussicht der Renaturierung von Hochmoorbiotopen substantiell verbessern (Kap. 6.1.1, ROSINSKI et al. 2021). Verbleibt der Oberboden auf der Projektfläche (z. B. in Gräben und Dämmen), gilt: Je geringer der flächenmäßige Anteil durchlüfteter Torfe und Oberbodenreste, desto niedriger werden die THG-Emissionen (GÜNTHER et al. 2017). Daher ist hier mit einer dauerhaften Festlegung für einen Teil des im abgetragenen Oberboden gespeicherten Kohlenstoffs zu rechnen (BARTEL et al. 2019).

Wird zum Zwecke der Hochmoorrenaturierung mehr Oberboden abgetragen, als auf der Fläche verbaut werden kann, muss der Überschuss, der von der Fläche entfernt wird, als einmalige CO<sub>2</sub>-Emission in die Klimawirkung der Projektfläche einfließen. Im OptiMoor-Projekt entsprechen 30 cm Oberbodenabtrag knapp 20 kg m<sup>-2</sup> C-Verlust, 60 cm Abtrag fast 40 kg m<sup>-2</sup> C-Verlust, entsprechend bei vollständiger Zersetzung 733 bzw. 1.466 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>. Die Bewertung der Klimabilanz hängt dann maßgeblich von drei Faktoren ab: 1.) wie viel Oberboden wird von der Fläche abgetragen, 2.) wie schnell wird der im Oberboden gespeicherte Kohlenstoff abgebaut und 3.) wie klimawirksam wäre die Vernässung ohne Abtrag des Oberbodens. Dazu kommt auch die Frage, inwieweit der abgetragene Oberboden an anderer Stelle dergestalt verbaut werden kann, dass die o. a. vollständige Zersetzung nicht zum Tragen kommt (vgl. auch Kap. 6.3.3).

Wird kohlenstoffreicher Oberboden von der Projektfläche entnommen (so, wie im OptiMoor-Projekt, V4–V7, s. Textbox 6.1), ist er, je nach Abbautiefe, für ein paar Jahre bis Jahrzehnte klimawärmender als die entwässerungsbasierte Nutzung und die Wiedervernässung ohne Oberbodenabtrag (HUTH et al. 2021). Unter der Annahme realistischer Abbauraten von 1–10 % jährlich (CLEARY et al. 2005) ist ein mittlerer Oberbodenabtrag von ca. 30 cm mittelfristig vergleichbar mit der Vernässung von nährstoff- und biomassereichem Moorgrünland (Abb. 6.6), weil dort i. d. R. höhere (dauerhafte) Methanemissionen auftreten und gleichzeitig die CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht vollständig gestoppt werden können (IPCC 2014; HUTH et al. 2020, 2021). Beim OptiMoor-Projekt erwies sich der Oberbodenabtrag bis unter die Dränung (im Mittel 60 cm) als klimatisch schlecht und nicht zu empfehlen, da bereits bei 30 cm Abtrag die nährstoffarmen Bedingungen für ein hinreichendes Torfmooswachstum (= Netto-C-Speicherung auf der Fläche) erreicht werden konnten (HUTH et al. 2021, ROSINSKI et al. 2021). Aus klimatischer Sicht sollte für die Renaturierung von Hochmoorbiotopen nach landwirtschaftlicher Nutzung daher höchstens so viel Oberboden abgetragen werden, wie nötig ist, um günstige Ausgangsbedingungen für eine beschleunigte hochmoortypische (= torfmoosdominierte) Vegetationsentwicklung zu schaffen.

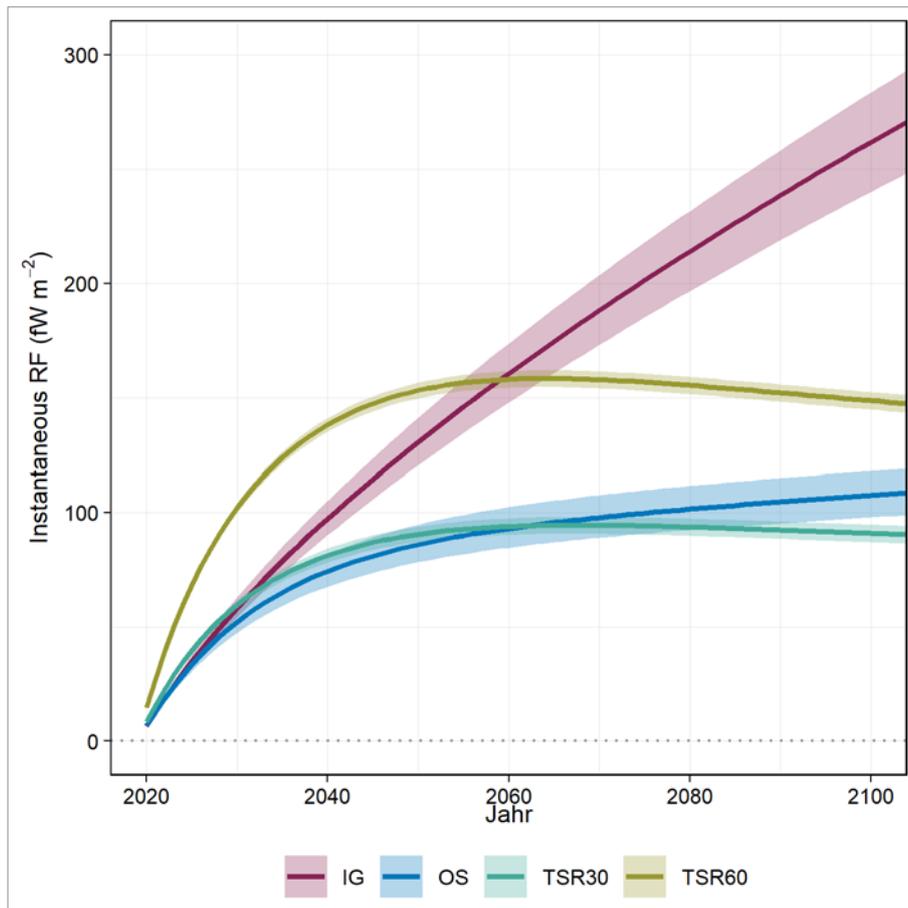


Abb. 6.8: Strahlungsantrieb der OptiMoor-Varianten, wenn man Emissionsfaktoren (IPCC 2014) für die verschiedenen Varianten und die Menge des abgetragenen Oberbodens aus dem OptiMoor-Projekt zugrunde legt (s. HUTH et al. 2021, Table 2), hier dargestellt unter der Annahme einer jährlichen Abbaurrate des abgetragenen Oberbodens von 5 % (für höhere und niedrigere Abbauraten s. HUTH et al. 2021). Die entwässerungsbasierte Grünlandnutzung (IG), verglichen mit drei Renaturierungsansätzen ohne Oberbodenabtrag (OS) oder mit ca. 30 bzw. 60 cm Abtrag (TSR30 bzw. TSR60). Die Ansätze mit zusätzlichen Maßnahmen (Torfmoosbeimpfung bzw. Mahd) fehlen, da diese die gleichen Emissionsfaktoren haben, wie die vergleichbaren Varianten. Zuerst publiziert in Restoration Ecology am 22. Juli 2021 (DOI: 10.1111/rec.13490), angepasst von Anke Günther am 13. Oktober 2021.

Für den Fall, dass kohlenstoffreicher Oberboden von der Projektfläche entfernt wird, ist zudem eine Ökobilanzierung zu empfehlen, die dessen Verwertungspfad betrachtet, um die Klimawirksamkeit des Moorschutzprojektes insgesamt beurteilen zu können. Möglich wäre z. B. der Verbau auf einer anderen Projektfläche oder die Beimengung in Gartensubstraten als Substitut für Weißtorf oder Schwarztorf in Gartenerden. Dessen Wirtschaftlichkeit muss allerdings noch geprüft werden.

### Textbox 6.1: Fallstudie OptiMoor

VYTAS HUTH

Das Projekt „OptiMoor – Erprobung und Entwicklung der Optimierung der Hochmoorsanierung auf landwirtschaftlich vorgenutzten Standorten zur Erhöhung von Biodiversität und Kohlenstoffspeicherung“ ist ein Erprobungs- und Entwicklungsvorhaben des Bundesamts für Naturschutz (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit) und wird vom EFRE-Förderprogramm „Klimaschutz durch Moorentwicklung“ des Landes Niedersachsen kofinanziert. Ziel des von 2016 bis 2021 laufenden Projektes ist es, einen kurzen, wissenschaftlichen Leitfaden für die Wiederherstellung von Hochmoorbiotopen nach intensiver, landwirtschaftlicher Nutzung zu entwickeln.

Im Frühjahr 2017 wurde auf einer 1 ha großen Fläche im Hankhauser Moor (nahe Oldenburg) ein Parzellenversuch (je 8 x 24 m) eingerichtet. In sechs Parzellen mit kontrolliertem Wassermanagement wurden verschiedene Wiederherstellungsansätze natur- und klimaschutzfachlich untersucht, eine Parzelle (Variante V1) stellt die entwässerungsbasierte, intensive Grünlandnutzung dar (Abb. 6.9).

Die Flächeneinrichtung, -pflege und das Wassermanagement wurden vom Europäischen Fachzentrum Moor und Klima Wagenfeld GmbH durchgeführt. Die wissenschaftliche Begleitung wurde von der Landschaftsökologie und Standortkunde der Universität Rostock betreut. Die Hofer & Pautz GbR und weitere Partner waren an der Entwicklung des Feldversuches, des Monitorings und der Interpretation der Ergebnisse beteiligt.

Untersuchungen vor der Flächeneinrichtung zeigten, dass die biogeochemischen Voraussetzungen von langjährig intensiv genutztem Hochmoorgrünland aufgrund hoher Nährstofffrachten und hoher pH-Werte als schlecht anzusehen sind. Außerdem war das Vegetations- und Diasporenpotenzial zur Wiederherstellung von Hochmoorbiotopen dramatisch gering, so dass die kurzfristige Etablierung einer Zielvegetation nur durch Oberbodenabtrag und Beimpfung mit Torfmoosfragmenten, einhergehend mit einem konstanten Wassermanagement, etabliert werden konnte (HUTH et al. 2019).

Die kontrollierte Wiedervernässung hat in den Varianten ohne Oberbodenabtrag zu einer Ausbreitung der Nässe- und Feuchtezeiger geführt. Durch den Oberbodenabtrag wurden konkurrenzarme Bedingungen geschaffen, die z. T. nur spärlich angesiedelten Arten entstammen dabei vor allem der Diasporenbank von Oberbodenresten und der unmittelbaren Umgebung. Auf den beimpften Varianten haben sich die eingebrachten moortypischen Arten etabliert, und es konnte ein nennenswertes Torfmoos-Höhenwachstum beobachtet werden (ROSINSKI et al. 2021).

Bezogen auf die Klimawirkung wurde sichtbar, dass der landwirtschaftlich genutzte Oberboden die Hauptquelle für Methan nach der Wiedervernässung ist. Periodisch oder dauerhaft überstaute Bereiche desselben sind Hotspots für Methan (HUTH et al. 2020). Oberbodenabtrag kann diese Hotspots entfernen; der damit verbundene C-Export entspricht aber (abhängig von der Abbautiefe und Abbaurate des Oberbodens) den CO<sub>2</sub>-Emissionen einiger Jahre bis Jahrzehnte entwässerungsbasierter Grünlandnutzung (HUTH et al. 2021). Ohne Einbeziehung des Oberbodenabtrags sind die Abtragsvarianten mit Torfmoosbeimpfung von Beginn an THG-Senken. Bei im Mittel 30 cm Oberbodenabtrag ist die Klimawirkung mittelfristig vergleichbar mit der Vernässung nährstoffreicherer Standorte ohne Oberbodenabtrag (HUTH et al. 2021).

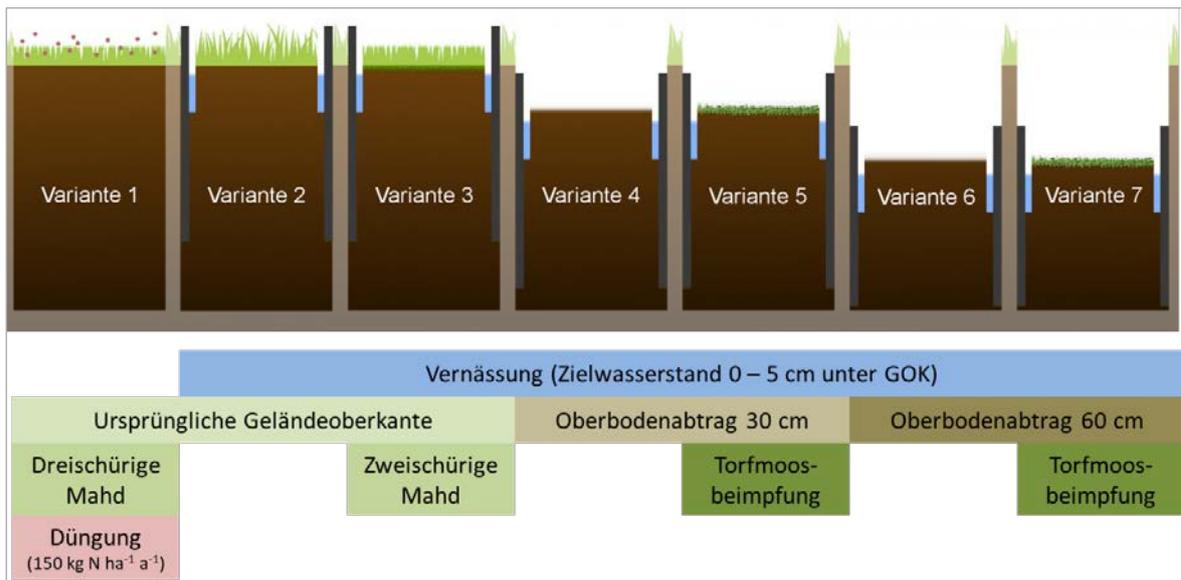


Abb. 6.9: Die Maßnahmenkombinationen der Referenzfläche (Variante 1) und der sechs Wiederherstellungs-Varianten.

### Textbox 6.2: Torfmooswachstum im Wilden Moor bei Schwabstedt, Schleswig-Holstein

ANGELIKA BRETSCHNEIDER

Das Wilde Moor bei Schwabstedt wurde entweder nach Torfnutzung oder auch ohne vorherigen Torfabbau landwirtschaftlich genutzt. Bereits in den 1960er Jahren fielen erste Flächen wegen Unwirtschaftlichkeit wieder brach, gingen in öffentliches Eigentum über und wurden zum Teil mit dem Ziel des Nährstoffaustrags zur extensiven Nutzung verpachtet.

Im Jahr 1986 wurde für das 631 ha große Moor eine Renaturierungsplanung beauftragt, deren Bestandteil eine Vegetationskartierung (MORDHORST 1986) war. In einem 43 ha umfassenden Untersuchungsgebiet wurden 1997 (GOTTBURG 1998) und 2012 (TREBER 2013) vergleichende Vegetationsuntersuchungen durchgeführt, die auch auf das Torfmooswachstum eingehen.

Seit Ende der 1960er Jahre war die Nutzung des Hochmoorgrünlands rückläufig, viele Flächen fielen bis in die 1980er Jahre brach. Der darauffolgende sukzessive Anstau der Gräben hat zu einer deutlichen Rückquellung des Torfes geführt. Das ehemalige Hochmoorgrünland hat sich durch die Ansturmaßnahmen zu einem Sumpfreitgras-Sumpf und einem Binsen- und Simsenried entwickelt, durchsetzt von Moorregenerationskomplexen mit Pfeifengras und Wollgras sowie deutlichem Torfmoosaufwuchs in den gut vernässten Bereichen. Vor allem *Sphagnum fimbriatum* hat sich ausgebreitet und dichte Torfmoosdecken gebildet, während in Teilbereichen in den letzten 30 Jahren etwa 25 cm starke *S. palustre*-Decken auf Grünland aufgewachsen sind und damit eine rezente Torfbildung stattgefunden hat. Es kommen jedoch vereinzelt auch *S. fallax* und *S. magellanicum* vor.

Seit Anfang der 1980er Jahre bis 2002 wurden mittels Grabenverschlüssen aus Torfboden, anfangs auch zusätzlich mit Kunststoffolie, die Wasserstände angehoben. Um Überflutungen zu vermeiden, wurden zur Regulierung der Wasserstände Überlaufrohre eingesetzt.

In den Jahren 2014 bis 2016 wurden im Rahmen des Moorschutzprogramms Schleswig-Holstein im höher gelegenen Bereich der Untersuchungsfläche mit niedrigen Wasserständen, der bisher kein Torfmooswachstum aufgewiesen hat, Dämme aus Torf in Form der Torfdichtwand gebaut (MORDHORST-BRETSCHNEIDER 2018). Zur Materialgewinnung wurde der stark mineralisierte Oberboden teils flach abgezogen, teilweise erfolgten auch tiefere Entnahmen, die als Wasserflächen zurückgeblieben sind.

Nach den zuletzt durchgeführten Maßnahmen hat es leider noch keine neuen, mit den älteren Kartierungen vergleichbaren, geeigneten Vegetationsaufnahmen gegeben. Es kann jedoch beobachtet werden, dass sich nun auch in diesem Bereich Torfmoose angesiedelt haben. Etwa 2 bis 3 Jahre nach dem Bau der Torfdichtwände haben sich in den Torfentnahmestellen, je nach Wassertiefe und Rückquellung des Torfbodens, *Sphagnum cuspidatum*, *S. fimbriatum*, *S. fallax* und auch *S. palustre* entwickelt (Mordhorst-Bretschneider, persönliche Beobachtungen). Durch die Vernässung wandern diese nun auch in die nicht abgetragenen Flächen ein. Eine Voraussetzung für die Entwicklung der Torfmoose auf Moorgrünland ist eine vorangegangene langjährige Aushagerung durch extensive Nutzung (Mahd mit Abfuhr des Mähgutes) und Rückhaltung des Niederschlagswassers mittels regulierbarer Überläufe.

Tab. 6.1: Die Entwicklung der Untersuchungsflächen im Wilden Moor bei Schwabstedt von 1960 bis 2016.

Nutzung/Zustand	Zeitraum	Maßnahmen	Torfmoosbedeckung	Bemerkungen
extensive Mahd/ teils Brache	1960–1986	Grabenstaue	24 %	
Pflegemahd/ teils Brache	1986–1997	Grabenstaue	23 %	
Pflegemahd/ teils Brache	1997–2012	Grabenstaue, Aufhebung Vorfluter	34 %	rezente Torfbildung, 25 cm <i>Sph. palustre</i> in 30 Jahren
Brache	2014–2016	Dämme in höher- liegendem Bereich (Torfdichtwand)	beginnende Torfmoos- ansiedlung 2–3 Jahre nach Maßnahmen	bisher trockener, höherer Bereich ohne Torfmoose

Im Jahr 2013 sind keine Maßnahmen und Untersuchungen erfolgt.

## 7. Renaturierung von Waldmooren unter Einbeziehung des Einzugsgebietes

TINA WIXWAT & LUDWIG STEGINK-HINDRIKS

### 7.1. Waldmoore

Waldmoore sind vornehmlich durch ihre topographische Lage und ihr bewaldetes Wassereinzugsgebiet beeinflusst (HASCH et al. 2007, MINLEUL 2015). Dieses Kapitel beschreibt die Renaturierung von Waldmooren, insbesondere derjenigen mit Hochmooranteilen. Diese Waldmoore sind zumeist kleinflächiger verbreitet (< 40–100 ha) als große Hochmoor-Landschaften (> 100 bis mehrere 1.000 ha).

Für eine Einbeziehung solcher Moorsysteme in den aktiven Moorschutz spricht nach SCHRAUTZER et al. (2021):

- deren hohe Erfolgsaussichten bei Renaturierungen, da sie weniger stark degradiert sind als Moorsysteme, die als Acker oder Grünland genutzt wurden,
- deren Entwässerungssysteme zumeist überschaubar und deren Vernässungsmaßnahmen vergleichsweise gut einzuschätzen sind,
- das wirtschaftlich geringe Interesse auf Grund ungünstiger Standortvoraussetzungen vieler Waldmoore und die dadurch zu erwartenden geringeren Nutzungskonflikte.

Waldmoore mit Hochmoor-Vegetation/-Fauna kommen im Tiefland in Abschnitten vermoorter Schmelzwasserrinnen sowie entlang von Geest- und Bachtalrändern zumeist als Hochmoorkappen über Zwischen- oder Niedermoorunterlagerungen vor. Zum Teil liegen diese benachbart zu Hochmoorbildungen in Kaven-Bildungen auf der Geest (Ausblasungsmulden, Pingos, Toteislöchern). Des Weiteren finden sich Waldmoore zum Teil in nassen, mineralisch geprägten Übergangszonen am Fuß von Geestrücken zu Hochmoorlandschaften (Lagg; Abb. 2.1). In solchen komplexen Geländesituationen entwachsen die regenwassergespeisten Hochmoorschichten im Laufe der natürlichen Sukzession eines Moorsystems häufig einer

Basis aus Nieder- bzw. Zwischenmoorschichten. Deren minerotroph geprägter Grundwassereinfluss wird im Zuge des Torfschichtenwachstums weiter oben im Torfkörper schließlich vom Regenwassereinfluss ergänzt und überprägt. Die basalen Nieder- bzw. Übergangsmoor-Torfschichten solcher Moorsysteme werden zum Teil auch durch natürliche Bruchwald-Vegetation in schwach saurem bis saurem Wassermilieu gebildet. Auf Grund von Renaturierungserfahrungen in diesen vielschichtigen Ökosystemen wird empfohlen, das Einzugsgebiet von Waldmooren mit zu betrachten, das bedeutet eine Einbeziehung ihrer Hochmoorbereiche samt Übergangszonen zu Niedermoores und Mineralböden (s. Kap. 7.4). Dies ist für eine ausreichende Prognosesicherheit bei der Ableitung von Renaturierungszielen wichtig.

### 7.2. Natürliche Moorwälder und durch Forstbetriebe bewaldete Rest-Torfkörper

Bewaldet sind natürliche Hochmoor-Torfkörper selbst nur partiell oder phasenweise. Die unter solchen Bedingungen im niedersächsischen Tiefland natürlicherweise torfbildende Bruchwald-Vegetation wird den Birken-Bruchwäldern bzw. dem *Betulion pubescentis* zugeordnet (PREISING & WEBER 2003) und im östlichen Tiefland auch den Kiefern-Moorwäldern des *Ledo-Pinetum*. Im niedersächsischen Bergland sind natürlicherweise Birken-Bruchwälder des *Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis* in montanen Mittelgebirgslagen verbreitet. In den hochmontanen Lagen des Ober- bzw. Hochharzes kommen darüber hinaus natürlicherweise Fichten-Moorwälder des *Piceo-Vaccinietum uliginosi* vor. Die forstliche Ertragskraft dieser Moorwaldtypen ist generell sehr gering.

Nach Entwässerung, Fragmentierung und Abtorfung von Hochmooren entwickeln sich auf verbliebenen Rest-Torfkörpern regelmäßig sekundäre Moorwälder. Diese werden (Hoch-) Moordegenerationsstadien zugeordnet, sofern sie keinen frischen Torf aufbauen, sondern zur Torfzehrung beitragen. Erfolgreich (wieder-)vernasste +/- saure Wälder mit frischer Torfbildung werden den Birken-Bruchwäldern zugeordnet. Die Renaturierung von sekundären Moorwäldern ohne forstwirtschaftliche Nutzung wird in Kapitel 8 dargestellt.

Des Weiteren bilden durch forstbetriebliche Tätigkeiten aktiv bewaldete, ehemalige Abtorfungsflächen eine eigene Gruppe von „Moorwäldern“, deren Entstehen im Folgenden näher beschrieben wird.

### 7.3. Vornutzung

Für (entwässerte) Torfböden ehemaliger Hochmoorlandschaften wird ab 1700 in ersten landesherrlichen Regelungen im Zuge einer sogenannten „Inneren Kolonisierung“ vor allem eine landwirtschaftliche Nachnutzung festgeschrieben (KREMSEK 1990). Dementsprechend enthalten diese Vorgaben Regeln zur Urbarmachung von Ödland für landwirtschaftliche Zwecke, zur Gewinnung von Brenn- und Einstreutorf sowie zur Verbesserung der Landeserschließung durch (schiffbaren) Kanalbau (s. Kap. 6.1). Forstwirtschaftliche Bewirtschaftungsinteressen in (Hoch-)Mooren waren solchen Nutzungsinteressen nachgeordnet und fanden eher partiell statt. Generell finden forstwirtschaftliche Bewirtschaftungsmaßnahmen spätestens seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts im Kontext standortkundlicher und naturräumlicher Lagebeurteilungen statt. Das Gros der forstlich-waldbaulichen Flächen sind mineralisch geprägte Standorte. Organische Böden in Wäldern stehen räumlich in Wechselbeziehung zu ihrem mineralisch geprägten Waldumfeld auf lokaler und/oder regionaler Ebene.

#### 7.3.1. Historische Mooraufforstungen

**Für Ostfriesland, das Emsland und das Königreich Hannover** wird ab dem 18. Jahrhundert von ersten Aufforstungen am Rande von (zur Torfgewinnung) entwässerten Mooren berichtet (KREMSEK 1990). Diese Aufforstungen gelangen kaum, und die Flächenanteile blieben gering.

Zur gleichen Zeit wurden Bestrebungen zur Entwässerung kleiner Hochmoore in Geländemulden („Schlatts“) der Heide- und Binnendünengebiete häufiger. Anschließend betrieb dort die lokale Landbevölkerung sporadisch Handtorfstiche. Während die umgebenden Heide- und Wehsandgebiete sowie Teile dieser Kleinmoore aufgeforstet wurden, dienten andere Teile der Moore als Gewässer (z. B. zur Schaf- bzw. Wollwäsche der Heideschäfereien) oder wurden belassen.

Im 20. Jahrhundert erfolgte eine intensive Phase der Hochmoorkultivierung für landwirtschaftliche Zwecke, und zwar besonders im Nordwesten, unterstützt durch den „Emslandplan“. Zur Aufforstung gelangten davon nur etwa 400 ha, oft kleinflächige Teilgebiete. Sie gingen zwischen 1970 und 1995 an die Staatlichen Forstämter der Region. Diese Flächen im Emsland und z. T. in Ostfriesland wurden oft tiefgepflügt und z. T. gedüngt, bevor eine Aufforstung mit Laub- und Nadelbaumarten erfolgte (mit Birke, Stieleiche, Rotbuche, Bergahorn, Pappeln, Sitkafichte, Japanischer Lärche, Kiefer).

**Im niedersächsischen Bergland** setzte ab dem 16. Jahrhundert, vor allem im Harz nach dem Niedergang der ersten Bergbauphase, zunächst wieder eine Moornachwachstumsphase ein. Im Oberharz breiteten sich, von Hochmoorkernen ausgehend, zwischen ihnen Deckenmoore aus (BEUG 1997). Anschließend führte eine (gegenüber dem Mittelalter) verbesserte Grubenentwässerungstechnik zu einer erneuten Bergbaublütephase im Harz. Der lokale und schnell verfügbare Rohstoff Holz war durch die vorausgegangene völlige Übernutzung der Wälder für die Metallverhüttung und als Grubenbauholz stark dezimiert worden. Aus Mangel an Holz wurden die Torflagerstätten der umliegenden Moore entwässert und für die anschließende Verkohlung abgetorft. Die Brenntorf-Verkohlung im Bergland überbrückte im 18. Jahrhundert zeitweilig den Holzkohlemangel.

**Im niedersächsischen Bergland, insbesondere im Harz und Solling**, dehnten sich planmäßige Aufforstungen ab ca. 1750 auch auf die Hochmoorböden aus (DIERSCHKE & KNOLL 2002). Die abgetorften Moorbereiche wurden den planvoll erfolgenden Aufforstungen (überwiegend mit Fichte) zugeschlagen. Zum Teil erfolgte diese Bewaldung auch spontan durch natürliche Sukzession vor allem von Birke und Fichte. Die ohnehin geringmächtigen Deckenmoorbereiche zwischen den Harzer Hochmooren sind im Laufe der Jahrzehnte zum Großteil nach lokaler Entwässerung und unter den Aufforstungen durch Torfzehrung verschwunden.

#### 7.3.2. Wald- und Moornaturschutz

Bis in die 1980er Jahre, die Anfänge des ersten Niedersächsischen Moorschutzprogramms, wurden entwässerte und abgetorfte Teilflächen nicht nur landwirtschaftlich in Kultur gebracht,

sondern vereinzelt auch für eine forstwirtschaftliche Nutzung aktiv aufgeforstet (z. B. Fullener Moor im Emsland, Berumerfehner Moor in Ostfriesland). Zudem wurden seit 1972 verbliebene Wald-Hochmoore (Kleinmoore und Hochmoorelikte) auf Flächen der niedersächsischen Landesforsten durch eigenes Fachpersonal renaturiert, zunächst im Bergland, danach vermehrt auch im Tiefland. Einige dieser Flächen sind seit den 1970er Jahren Teil des Waldnaturschutz-Forschungsnetzes der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt und der Niedersächsischen Landesforsten. Auch diese (Moor- und Nass-)Waldbereiche unterliegen meist regelmäßigen Untersuchungen ihrer Vegetationsentwicklung (MEYER et al. 2015, MEYER et al. 2006).

Ab 1995 wird in NLF-Projektgebieten bei Renaturierungs-Fragestellungen in mineralischen und organischen Nassbödenlandschaften damit begonnen, auch ihre Wechselwirkungen mit dem jeweiligen Landschaftswasserhaushalt zu bearbeiten (STEGINK-HINDRIKS 1999). Waldmoor-Renaturierungsprojekte wurden zunächst ab 2000 naturschutzfachlich und hydrologisch evaluiert (HASCH et al. 2007), zunächst in Brandenburg, dann im Niedersächsischen Tiefland (z. B. Hörsten Bruch) sowie im Solling-Bergland (u. a. Mecklenbruch).

Hydrologische, hydrogeologische und bodenkundliche Voruntersuchungen durch staatliche Moorverwaltung, LBEG und NLWKN hatten seit den 1980er Jahren im Vorfeld von Abtorgungsgenehmigungen für fachlich verbesserte Renaturierungsvorgaben gesorgt. Sie umfassen die gleichen Fragestellungen (vgl. Kap. 4) wie die im Folgenden näher beschriebenen ökologischen Landschaftsanalysen, die auch in Moorschutzprojekten Anwendung finden (VAN DER MOLEN et al. 2011; ROTHFUCHS, WIXWAT & JANSEN 2020).

#### 7.4. Aktueller Zustand

Die forstwirtschaftlichen Ertragsmöglichkeiten von Hochmoorstandorten sind meist gering. Oft bilden dort Vegetationstypen Übergangszonen zu mehr oder weniger baumfreien Hochmoorpflanzengemeinschaften. Innerhalb von Wäldern blieben diese Übergangszonen und Feuchtgebiete oft über Jahrzehnte wegen ihrer erschwerten Nutzbarkeit als Hochmooreliktegebiete samt typischer Fauna und Flora erhalten (MEYER-RAHMEL 2005).

In Wäldern konnten sowohl der Wasserhaushalt als auch das Einzugsgebiet von Hochmooren verhältnismäßig leicht verändert und überprägt werden. Lokale Grabensysteme, Grundwasserentnahmen und historisch bedingter Anbau reiner Nadelholzbestände im Einzugsgebiet waren häufige Ursachen von Hochmoordegeneration in Wäldern; hinzu kamen oft Handtorfstiche und frühere Biotopgestaltungsmaßnahmen (Anlage von Tümpeln oder Teichen).

Waldmoore können unter Umständen stärker von Eutrophierung betroffen sein als vergleichbare Flächen. Die Kronenbereiche von moor-umgebenden Wäldern „kämmen“ Stickstoffbelastungen aus der Luft heraus. Die Stoffdepositionen erreichen ein Vielfaches der natürlichen jährlichen Nährstoffumsatzraten von Hochmoorlebensgemeinschaften und Wäldern. Trotzdem kann positiv angemerkt werden, dass in und um Waldmoore Relikte hochmoortypischer Flora, Fauna und Hochmoorlebensraumtypen geschützt werden konnten und sich länger erhalten, als es in der offenen Agrarlandschaft möglich wäre.

Die Kenntnis der wichtigsten lokalen und regionalen Einflüsse ist die Basis einer guten Planung jeder Renaturierung.

Für die Renaturierung eines Waldmoores wird folgende Reihenfolge der Arbeitsweise empfohlen:

- Bestimmung des Ist-Zustandes (Landschaftswasserhaushalt, hydrogenetischer Moortyp, Wasserstände im Moor und außerhalb, Durchlässigkeit (u. a. beschrieben über Zersetzungsgrad nach VON POST (CASPER 2010, VON POST 1924), Hintergrundbelastung, Vornutzung), Verbreitungsmuster der Biotoptypen,
- Bestimmung des Entwicklungspotenzials (z. B. zukünftiger Moortyp),
- Festlegung und Reihenfolge der Umsetzung der Maßnahmen zur Zielerreichung,
- Erstinventur (Basismonitoring).

Die zu wählenden Maßnahmen hängen vom Entwicklungspotenzial ab. Abhängig von den örtlichen Voraussetzungen einer Moorfläche sind die Entwicklungspotenziale unterschiedlich: größtmögliches Torfwachstum, welches mit einer Erhöhung der Biodiversität einhergeht, Torfneubildung oder Verhinderung von Torfzehrung.

## 7.5. Gebietsanalyse und Maßnahmenplanung

Die hier vorgestellten Empfehlungen zur Gebietsanalyse und Maßnahmenplanung entsprechen der Vorgehensweise der Niedersächsischen Landesforsten. Die vorgestellten Untersuchungsschritte können grundsätzlich auch in anderen Moor-Projektgebieten durchgeführt werden.

Die Bestimmung des Ist-Zustandes eines Projektgebiets, in dem die Renaturierung von Ökosystemen stattfinden soll, und die sich daraus ableitenden Entwicklungsziele und Maßnahmen erfordern eine Betrachtung der abiotischen Voraussetzungen. Diese umfasst eine Beschreibung der wesentlichen landschaftsökologischen Wechselwirkungen innerhalb des Naturraums, in dem sich das Projektgebiet befindet, und wie diese Prozesse auf Verbreitungsmuster von Torfkörpern und Vorkommen moortypischer Flora und Fauna wirken. Die Kenntnis des aktuellen Gebietszustands mit den wichtigsten dort vorkommenden Wechselwirkungen bildet die Grundlage für ein erfolgreiches Zielkonzept. Dieses sollte nachhaltig sein und idealerweise einen geringen Pflegeaufwand mit sich bringen. Auch für die Maßnahmenplanung ist eine Untersuchung der abiotischen Voraussetzungen eine gute Grundlage. Berücksichtigt werden sollte hierbei in Wäldern auch das Umfeld der Moorfläche, da dieses einen erheblichen Einfluss haben kann. Es ist dabei nicht entscheidend, ob das Einzugsgebiet ebenfalls mit verändert werden kann. Vielmehr ist die Kenntnis des Einflusses auf das Moor entscheidend. Sollte kein Waldumbau möglich sein, so muss ggf. das Ziel der Renaturierung angepasst werden, z. B. von Torfwachstum auf Reduktion der Torfzehrung.

Die Untersuchung erfolgt in drei Arbeitsschritten:

1. Vorstudien: Betrachtung vorhandener Daten: Klima, Geologie, Relief, Hydrologie, Boden, Vegetation, Fauna, Landnutzung (Karten- und Literaturrecherche, s. VAN DER MOLEN et al. 2011),
2. Geländearbeiten: z. B. (Hand-)Bohrungen, Kartierung von Vegetationsgesellschaften oder alternativ Biotoptypen,
3. Analyse und Interpretation aller Daten:
  - a. Wie funktioniert das Moorsystem im Projektgebiet mit seinen (hydrogeo- und hydrologischen) Wechselwirkungen?

- b. Wo – an welcher Stelle – prägen z. B. Verbreitungsmuster von ähnlichen Wasserständen und pH-Werten einen ähnlichen Torfaufbau, ähnliche Vegetationsmuster, Pflanzenartenvorkommen im Verhältnis zur Geomorphologie?
- c. Welche Bereiche sind vertrocknet? Welche sind eutrophiert? Liegen die Ursachen im Gebiet oder in der Gebietsumgebung?

Im Rahmen der Bearbeitung empfiehlt es sich, verschiedene Maßstäbe der Landschaft zu betrachten. So werden alle Einflüsse auf das Projektgebiet sichtbar. Ebenso sollten räumliche und zeitliche Verbreitungsmuster ökologischer Wechselwirkungen betrachtet werden.

Der Arbeitsaufwand einer Untersuchung standörtlicher Voraussetzungen muss an das Gebiet und die Fragestellung angepasst werden. Eine so erarbeitete Maßnahmenplanung ist nachvollziehbar und entspricht den Gegebenheiten.

## 7.6. Erstinstandsetzung

Vorteilhaft für die Umsetzbarkeit von Renaturierungsbestrebungen ist es, dass Hochmoore in Wäldern oft nicht komplett abgetorft wurden. Ebenso wurden die oben beschriebenen Waldmoore nicht gedüngt oder gekalkt, sodass die Eutrophierung geringer als in landwirtschaftlich vorgenutzten Gebieten ausfallen könnte. Gleichwohl kann eine starke Degeneration vorliegen, da sie entwässert worden sind. Problematisch für die Maßnahmenumsetzung kann die Bewaldung sowohl des Moores als auch des Einzugsgebiets werden. Da die Waldmoore zu meist kleinräumig ausgebildet sind, bestehen bei einer nachvollziehbaren und belegbaren Planung jedoch gute Chancen zur Renaturierung, insbesondere dann, wenn sich das Hochmoorgebiet samt Einzugsgebiet in einem zusammenhängenden Eigentum befinden. Für (Waldmoor-)Renaturierungen sind folgende Faktoren entscheidend:

- Lage des Moores in der Gesamtlandschaft, Bezug zum Landschaftswasserhaushalt, Einzugsgebiet und Entwässerungszustand,
- Funktionsweise (hydrogenetische Moortypen) und aktueller Aufbau des Torfkörpers,
- aktuelle Verbreitungsmuster von relikti-scher Moorvegetation und Relikten moortypischer Fauna.

Ein nicht ausreichendes Verständnis der örtlich bestimmenden, ökologischen Prozesse führten in der Vergangenheit zu unrealistischen Erfolgserwartungen. Je nach Zielsetzung und zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln können unterschiedliche Ergebnisse für die Hochmoorrenaturierung angestrebt werden. Darauf aufbauend kann eine verlässliche Budget- und Maßnahmenplanung erfolgen.

### 7.6.1. Zeitpunkt der Maßnahmen

Vor Umsetzung der Maßnahmen ist zu überlegen, ob zuerst im Einzugsgebiet gearbeitet wird und danach die Maßnahmen im Moorkörper durchgeführt werden oder umgekehrt. Des Weiteren müssen bei der Arbeitsplanung höher- und tiefergelegene Bereiche beachtet werden, da die Gefahr besteht, dass tiefer liegende Bereiche für eine spätere Bearbeitung zu nass (nicht befahrbar) werden könnten.

Ein klassischer und optimaler Zeitpunkt für die Umsetzung von Maßnahmen in Moorgebieten sind die Monate August und September, da hier häufig die niedrigsten Grundwasserstände erreicht werden (s. Kap. 4.2). Die Befahrbarkeit kann in dieser Zeit unter Umständen auch ohne die Anlage von temporären „Baustraßen“ möglich sein. Grundsätzlich gilt, dass die Befahrbarkeit immer situations-, witterungs- und standortabhängig ist.

Zwischen Holzernte und wasserbaulichen Maßnahmen sollten möglichst kurze Zeitspannen liegen. Je länger eine Fläche freiliegt, ohne dass der Wasserstand angehoben wird, desto wahrscheinlicher ist es, dass es zu einer starken Naturverjüngung der entnommenen Holzarten kommt oder dass invasive Arten wie die spätblühende Traubenkirsche massiv eindringen. Wichtig für die Zielplanung bei einer Hochmoorentwicklung im Wald ist die Gestaltung des gesamten Hochmoorgradienten (Kern, Rand, Laggzone). Gerade diese Prognose ist sehr komplex. Durch größere Amplituden im Wasserstand kann es zu einem unerwünschten Aufwachsen von Gehölzen kommen.

### 7.6.2. Holzentnahme

Für eine Hochmoorrenaturierung kann ein Kahlschlag notwendig sein, wenn z. B. Sitkafichtenbestände zugunsten von künftigen Birkenmoorwäldern entfernt werden müssen.

Bei einer vollständigen Freistellung von Hochmoorstandorten oder Einzugsgebieten sollte eine Vollnutzung des Holzes, wenn möglich, einschließlich Kronennutzung, erfolgen. Durch im Gebiet verbleibendes Kronenholz kann die Renaturierung verlangsamt werden. Bei einer Vollnutzung des Holzes muss die logistische Situation beachtet werden. Bei der Planung müssen sowohl Standorte für Holzpolter als auch für das Häckseln der Äste und Kronen ausgewiesen werden. Als Faustregel gilt, dass auf einem Hektar Fichtenreinbestand ca. 200 bis 400 m<sup>3</sup> Holz zuzüglich Äste und Kronenmaterial anfallen, welches zwischengelagert werden muss.

Bei der Holzentnahme ist die Grenze der Befahrbarkeit der Fläche zu beachten. Auf einer zu nassen Fläche, insbesondere im Bergland, sollte die Seilkrantechnik eingesetzt werden. Auf entwässerten Standorten oder bei starker Trockenheit kann die Holzernte auch mit einem Harvester erfolgen. Dieser sollte mit breiten Moorlaufbändern ausgestattet sein, da der Bodendruck auf die empfindlichen Moorflächen dann geringer ist. Handelt es sich beispielsweise um einen reinen Fichtenbestand, dann muss die Holzentnahme im ersten Durchgang komplett erfolgen. Hier besteht sonst die Wahrscheinlichkeit, dass eine weitere spätere Holzernte nicht mehr möglich ist. Denn insbesondere Nadelbaumbestände halten durch sehr hohe Wasserverdunstung die Torfböden trocken. Sobald sie allerdings entfernt und weitere wasserbauliche Maßnahmen umgesetzt wurden, steigt der Wasserstand der Maßnahmenfläche umgehend. Dies resultiert aus der nun fehlenden Interzeptionsverdunstung durch die Entfernung der Fichten. Bei 30- bis 40jährigen Fichten beträgt die Interzeptionsverdunstung 40 bis 50 % (ERNSTBERGER 1987).

### 7.6.3. Verschluss/Stau von Entwässerungsgräben

Bei einer Verschließung der Gräben ist je nach bisheriger Entwässerungswirkung des Grabenabschnitts zu überlegen, ob eine Kammerung der Gräben erfolgen kann oder eine vollflächige, dann idealerweise schichtengleiche Verfüllung erfolgen muss. Auf Hochmoorstandorten kann eine Kammerung für Gräben ausreichend sein, sofern diese ausschließlich im Torf verlaufen und auch im Sommer stetig Wasser führen, sofern die Grabensohle nicht im unterliegenden Niedermoortorf verläuft. Bei Gräben, an deren Basis stauende Schichten durchtrennt wurden, müssen diese Schichten, z. B. durch Torf oder an systemrelevanten Stellen auch bindigem Material, wiederhergestellt werden. Die vorhandenen Gräben sind zu kartieren, und ihr Profil ist zu bestimmen. Es ist zu prüfen, ob jeder Rabattengraben oder jeder Graben verfüllt werden muss oder eine Verfüllung der Teilbereiche ausreicht. Dies ist abhängig von der Intensität des Grabennetzes (Anzahl, Gefälle, Untergrundverbreitung). Sofern sich in diesen Gräben noch hinlänglich wachsende Torfmoose befinden, können auch hier Kammerungen ausreichend sein. Der Entwicklungszeitraum für das Projektgebiet verlängert sich dadurch unter Umständen. Anhand der Grabenprofile muss bestimmt

werden, welche Materialmenge entweder für die Kammerung oder eine Verfüllung benötigt wird.

Bei der Verfüllung von Gräben an Hängen im Bergland hat sich das sogenannte „Zuger Verfahren“ bewährt. Bei dieser Methode handelt es sich um eine Kombination des Grabeneinstaus durch z. B. Holztafeln und der Grabenfüllung mit Sägemehl (GROSVERNIER & STAUBLI 2009) (Abb. 7.1). Da häufig keine ausreichende Menge Torf für die Verfüllung zur Verfügung steht, kann Sägemehl auf Grund seiner Eigenschaften (organisch, nährstoffarm, quellfähig, bildet wasserleitfähige Porenmatrix) als geeignetes Ersatzfüllmaterial eingesetzt werden. Je nach Hangneigung sind zusätzliche Querverbauungen zwischen den zu verfüllenden Abschnitten gegen Erosion und zur Vergrößerung des Wasserdurchflusswiderstandes anzulegen. Die Querbauwerke sollten in Höhenabstufungen von 2 bis 15 m Höhendifferenz zueinander eingebaut werden, insbesondere bei einem Gefälle größer als 2 % (GROSVERNIER & STAUBLI 2009). Dort überlaufendes Wasser muss seitlich auf der Fläche breitflächig verrieseln können. So wird sowohl die Erosionsenergie verteilt, als auch die größtmögliche Wassermenge lange im Moorsystem gehalten.



Abb. 7.1: Sägemehl wird im Bergland für die Verfüllung der Gräben benutzt (Foto: U. Schlette, Forstamt Neuhaus).

Bei einer schichtgleichen Verfüllung in Lockergesteinsregionen muss vor Beschaffung von z. B. Sand die Korngröße des in und neben der Grabensohle anstehenden Materials anhand von Bodenbohrungen bestimmt werden. Für die Anlieferung von Material muss die Planung für einen oder mehrere Umschlagplätze beachtet werden. In einigen Gebieten ist es möglich, den ehemaligen Aushub zu verwenden. Vor der Entnahme des Materials im Graben wird die Humusschicht entfernt und nach der Entnahme wieder aufgetragen. Es ist darauf zu achten, dass nicht unbeabsichtigt Senken entstehen, die die Hydraulik der Fläche weiterhin negativ beeinflussen. Es sollte geprüft werden, ob sich in den Gräben systemrelevante oder seltene Arten befinden. Diese Arten sind als wichtige Quellpopulationen für moortypische Habitats zu sichern. Sollte sich in den Gräben bereits eine wertvolle Vegetation angesiedelt haben, so sollte vor Verfüllung ausgestochen und nach der Verfüllung wieder ausgesetzt werden. Bei schwach zersetzten Weißtorfen in oberen Schichten führt ein Anstau der Gräben oft nicht zum Erfolg, da diese sehr durchlässigen Schichten Niederschlagswasser zügig horizontal abführen. Bei solchen Situationen sind Abdichtungen in Erwägung zu ziehen.

#### 7.6.4. Dauerpflegemaßnahmen

Um Moorstandorte in Wäldern offen zu halten, sind bis zur Erreichung eines möglichst hohen Wasserstandes Pflegemaßnahmen obligatorisch. Gerade Flächen, die vorher zum Beispiel mit Fichtenarten bewachsen waren, verfügen über vitale Samenbanken im Boden. Nach der Holzernte kommt es durch erhöhten Lichteinfall zu einer starken Naturverjüngung. Ungefähr dreimal im Jahrzehnt sollten Gehölze manuell entfernt werden und zwar bei einer Wuchshöhe von ca. 50 cm. Werden die Pflanzen sehr viel höher, so haben diese auch einen höheren Wasserverbrauch und wirken somit einer Moorentwicklung entgegen. Bei heimischen Laubbaumarten, wie zum Beispiel der Birke, können Exemplare in der Fläche verbleiben, allerdings sollte durch die Erhöhung des Wasserstandes sichergestellt sein, dass diese dann früher oder später absterben. Der Aufwand für die Pflege resultiert aus der Zielplanung.

Um abschätzen zu können, wie erfolgreich eine Moorrenaturierung verläuft, werden nicht nur Voruntersuchungen und eine Maßnahmenplanung benötigt, sondern auch ein begleitendes Monitoring. Die wiederholte Aufnahme und Auswertung sowohl von Messwerten (z. B. Wasserstände, Wasserqualität), Vegetationsaufnahmen und Faunabeobachtungen geben einen genauen Überblick über die Veränderungen mit der Zeit. Aus den Änderungen kann die Wirksamkeit von Maßnahmen abgeleitet, oder es können potenzielle Fehlentwicklungen frühzeitig erkannt und ggf. Beeinträchtigungen vermieden werden. Nur so können erforderliche Folgemaßnahmen im Rahmen der Nachsteuerung geplant und rechtzeitig umgesetzt als auch Renaturierungserfolge dargestellt und langfristig gesichert werden.

## Textbox 7.1: Holzurburger Moor – Beispiel aus dem Tiefland

### Beschreibung der Fläche

Das Holzurburger Moor ist ein Geestrandmoor im Landkreis Cuxhaven und hat eine Größe von 117 ha. Es weist zum Teil Küstenüberflutungen und dadurch Wechschichtungen mit marinen Sedimenten auf (Abb. 7.2). Das Hochmoorrelikt besteht aus einer Lagg-Zone und Übergangszone; der ursprüngliche Hochmoorkern lag außerhalb des Gebiets und existiert nicht mehr. Die Vegetation der Lagg-Zone ist von einer Gesellschaft aus Torfmoosarten und Seggen (z. B. Schwarz- und Schnabelsegge und Sumpfveilchen) geprägt. Die Torfe sind schwach zersetzt, und die Torfmächtigkeiten betragen bis zu 4,5 m. Eine Vernässung nördlicher Flächen Dritter musste verhindert werden.



Abb. 7.2: Topographische Karte des Holzurburger Moores (Landkreis Cuxhaven).

### Erstinstandsetzung

Zuerst erfolgte eine landschaftsökologische Studie des Gebiets. Die Erstinstandsetzung beinhaltete:

- Holzernte (bisher 25 ha; Vollbaumnutzung mit Krone, Baumstubben wurden in der Fläche belassen, um die obere Torfschicht nicht zu zerstören),
- Nivellierung vorhandener Durchlässe und Gräben, Bau von flachen Grundwassermessstellen zur Beobachtung der Wasserstände,
- sowohl Kammerung als auch Verfüllung kleinerer Gräben und Bau eines regelbaren Staus,
- Bestandsaufnahme der Flora auf Teilflächen und eine faunistische Aufnahme auf der gesamten Fläche,
- Höherlegung der Durchlasssysteme und des alten Wegekörpers zur Erhaltung der Renaturierungs-Infrastruktur, Aufschotterung von Teilstrecken.

### Pflegemaßnahmen

- als Übergangsmaßnahme: Zurückdrängen neuer Sitkafichten- und Strobenverjüngung (Ursprung: sowohl aus der Samenbank im Torf als auch windverbreitete Samen aus Anflug der Umgebung).
- als Pflegemaßnahmen wurde folgende durchgeführt:
  - von einer Moorheidefläche im Gebiet wurden durch eine Mähgutübertragung neue Moorheidestandorte angelegt (als Sekundärstandorte/„Warteposition“ zur späteren Hochmoor-Wiederbesiedlung, einschließlich Belassen von Nullflächen),
  - Erprobung, ob sich in der Initialphase durch temporäre, gezielte Beweidung mit Schafen die zunächst offene Bodensituation von unerwünschten Erstbesiedlern (Flutterbinse, Pfeifengras) länger zur Besiedlung von Hochmoorarten offenhalten lässt.

### **Gewonnene Erkenntnisse**

Der zentrale Hauptentwässerungsgraben verläuft Richtung Süden. Im Norden befindet sich ein kleines, untergeordnetes Entwässerungssystem. Die Geestrücken werden ebenfalls entwässert, da der zentrale Entwässerungsgraben nicht nur Regenwasser, sondern auch Grundwasser abführt. Das Einzugsgebiet der Geestrücken ist sehr groß. Das Gebiet weist einen Gradienten auf, der von mineralischen Ablagerungen der Geest über die Hochmoor-Lagg-Zone hin zu einem Hochmoor-Übergangsbereich reicht. Durch die Faunaaufnahmen wurden Arten (Tagfalter, Libellen) gefunden, deren Vorkommen sich natürlich in der Lagg-Zone befindet. Daraus kann abgeleitet werden, dass im Holzurburger Moor natürliche Gradienten vorhanden sind, die ein nachhaltiges Wiederbesiedlungspotenzial für hochmoortypische Arten bieten (Abb. 7.3).



Abb. 7.3: Hochmoortypische Pflanzen im Holzurburger Moor (Foto: André Jansen).

## Textbox 7.2: Mecklenbruch – Beispiel aus dem Bergland

### Beschreibung der Fläche

Das Mecklenbruch ist – außerhalb des Harzes – das größte Bergland-Hochmoor Niedersachsens (SCHNEEKLOTH 1983) und liegt im Hoch-Solling auf 446 bis 466 m über NN. Das Naturschutzgebiet ist 64 ha groß und hat eine Länge von 1,5 km. Das Hochmoor ist hydromorphologisch als Hang-Sattelmoor zu betrachten, das sich auf einer kleinen Hochebene (dem Sattel) zwischen zwei angrenzenden, höheren Bergkuppen gebildet hat (Abb. 7.4).

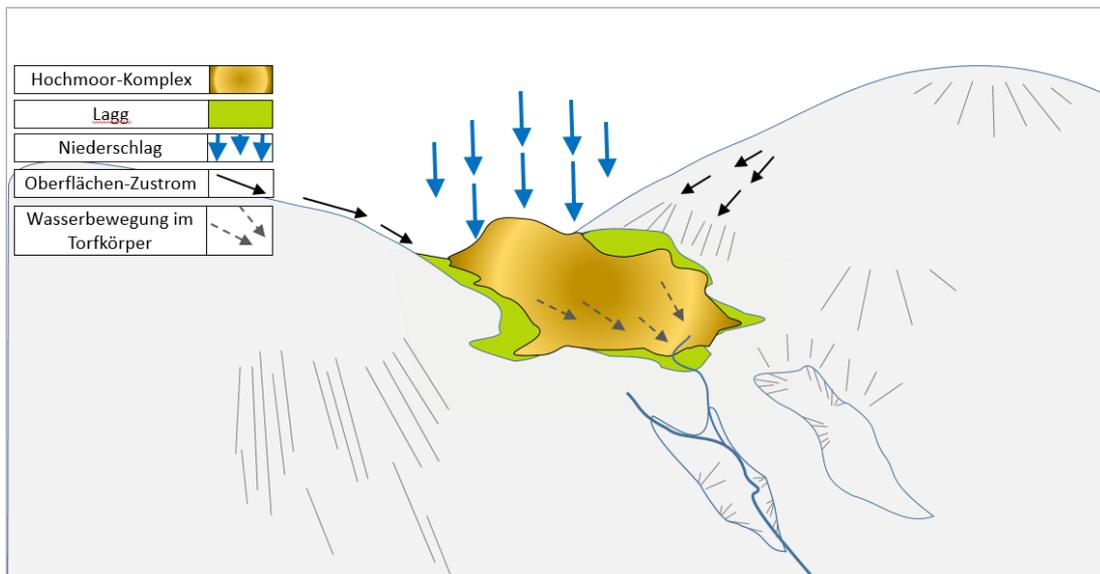


Abb. 7.4: Schematische Darstellung eines Sattelmoores auf einer Wasserscheide (überarbeitet, nach RINGLER & DINGLER 2005). Orange = Torfmoosmoor, grün = mit Grundwasser gespeistes Moor; die Pfeile geben die Herkunft der Speisung (blau) sowie die Strömung von Wasser (schwarz) wieder.

Vom Hochmoorkern aus ist das Hochmoor über die Sattelmite zu beiden unteren Hangseiten abschüssig, mit einem Gefälle von ungefähr 4 % und einer Höhendifferenz von über 22 m. Große Teile dieser ursprünglichen Hangbereiche des Hochmoores sind nicht mehr vorhanden. Das verbliebene, ziemlich wenig angegriffene Hochmoor ist ungefähr 5 ha groß (CASPER, SCHLETTE & SCHMATZLER 2011). Die Torfmächtigkeiten betragen hier noch bis zu 5 m. Die Torfbildung erfolgte auf wasserstauenden tonreichen Fließerden. Die unteren Randhänge des Torfkörpers (zu beiden Seiten des Sattels) sind durch Torfabbau größtenteils abgegraben. Dazu wurde die Gesamtfläche durch ein systematisches Entwässerungsnetz aus tieferen und aus flacheren kleinen Gräben seit dem ausgehenden 18. Jahrhundert entwässert.

### Erstinstandsetzung

Erstinstandsetzungen in mehreren Phasen:

- Ab 1972 Retten des Hochmoorkerns mit einer ersten Dämmung dort vorhandener tiefer und flacher Gräben, kombiniert mit vorheriger Entkusselung.
- In den 1980ern wurden viele kleine Schlitzgräben weiter mit Plastikplatten gekammert. Das Kammern des Haupt-Abbaugrabens erfolgte in Höhenstufen mittels hölzerner Querbauwerke einschließlich Einbau von Plastikfolie.
- In den 1990ern erfolgten weitere Entkusselungen, vor allem am Hochmoorrand, der Bau eines Bohlenweges zur Besucherlenkung sowie die Entnahme von größeren Rest-Fichten aus der nicht befahrbaren Moor-Kernfläche mittels Hubschrauber.
- Anschließend wurden noch verbliebene Schlitzgraben-Abschnitte weiter rückgebaut, z. T. mit Sägespänen vollverfüllt. Der Bohlenweg zur Besucherlenkung wurde erneuert.
- Seit 2019 erfolgt eine landschafts- und hydroökologische Untersuchung für vertieftes Verständnis der hydroökologischen Funktionsweise des Hochmoor-Gesamtsystems.

### **Pflegemaßnahmen**

- Neben lokalen Nachsteuerungsmaßnahmen beim Grabenrückbau, z. T. auch im mineralischen Einzugsgebiet, erfolgt Zug um Zug der Waldumbau direkt angrenzender Nadelbaumbestände in verdunstungsärmere Laubbaumbestände.
- Dazu gehört auch die Entkusselung von Fichten-Anflug in den Randbereichen. Eine naturnahe Waldbewirtschaftung wird in den Randbereichen ohne Beeinträchtigung des Moorkörpers durchgeführt.
- Seit 1998 Vegetationskartierungen, Torfmoos-Kartierungen.
- Seit 2010 manuelle Schichtenbohrungen und Anlage von acht Grundwassermessstellen zur Beobachtung des Moorwasserhaushaltes und zur Evaluierung von Maßnahmenwirkungen.
- Seit 2020 Ergänzung der Bestandsdaten für eine zusammenhängende Interpretation des Gesamt-Moorsystems auf landschaftsökologischer Grundlage.

### **Gewonnene Erkenntnisse**

Der Hochmoorkern ist als Lebensraum für Spezialisten nährstoffarmer Standorte erweitert worden. Zusätzlich wird hier neuer Torf aufgebaut und Kohlenstoff gespeichert.

Die in der Kernfläche verbliebene Vegetation besteht hier mittlerweile flächendeckend aus weitgehend intakter Hochmoorvegetation. In den offenen Bereichen wachsen (rote) Bulttorfmoose, grüne Schlenkentorfmoose, Sonnentau, Moosbeere, Wollgras. Die Fauna wird dominiert von hochmoortypischen Arten, z. B. durch Libellenarten wie Kleine Moosjungfer und Arktische Smaragdlibelle.

2020 scheint ein ökologisches Verbesserungspotenzial vor allem noch in den durch ehemaligen Torfabbau beeinträchtigten Hochmoorrändern und Grabensystemen zu bestehen, sowie durch weitere Rücknahme des Nadelbaum-Anbaus im Einzugsgebiet. Die Randbereiche sind zum Teil immer noch ausgetrocknet, insbesondere zu den beiden Bergkuppen hin und an den Unterhängen des abgetorften Moorsattels. Nur kleinere Randabschnitte sind hier geprägt durch natürliche Hochmoorrand-(Lagg-)Vegetation von Birkenbruchwald und Zwergsträuchern (Heidelbeere, Rauschbeere).

Ziel ist die Wiederherstellung der natürlicherweise gleitenden hydroökologischen Gradienten zwischen Hochmoorkern, Randzone, Laggzone und Einzugsgebieten. Die derzeit prägenden abrupten Übergänge zwischen den derzeitigen Biotopstrukturen sind Merkmale alter Bewirtschaftungs-Grenzlinien und ihrer Beeinträchtigungen.

## 8. Renaturierung ungenutzter naturnaher und degenerierter Flächen

FRIEDHELM NIEMEYER, HANS-GERHARD KULP,  
NICOLE JANINHOFF-VERDAAT, THOMAS BEUSTER  
& PETER GERMER

Hochmoorrenaturierung auf ungenutzten und naturnahen Flächen erfordert besondere Vorsicht und Kenntnisse im Umgang mit dem vorhandenen Naturschutzleitbild. Hier sind häufig die vorhandenen Leitbilder mit den (teilweise spekulativen) Entwicklungspotenzialen abzuwägen (SSYMANK et al. 2015). In diesem Kapitel soll aber nicht die Lösung von Zielkonflikten zwischen unterschiedlichen Leitbildern im Naturschutz thematisiert werden, sondern das Instrumentarium zur praktischen und technischen Umsetzung von abgewogenen Maßnahmen zur Renaturierung von Hochmooren in sensiblen und für den Naturschutz i. d. R. schon wertvollen Flächen und Gebieten.

### 8.1. Gliederung der Moorbiototypen Niedersachsens nach Naturnähe

Die Gliederung der Moorbiotypen erfolgt in Niedersachsen anhand ihrer Naturnähe. Weitere Faktoren, wie aktuelle Nutzung oder Nutzungsgeschichte, spiegeln sich in der Gruppierung indirekt wider. Im folgenden Kapitel werden die unterschiedlichen, für Niedersachsen typischen naturnahen, mäßig naturnahen sowie stärker degenerierten und bedingt naturnahen, überwiegend aktuell ungenutzten Moorlebensräume anhand ihrer charakteristischen Biototypen gemäß VON DRACHENFELS (2021) in drei Gruppen gegliedert.

#### 8.1.1. Naturnahe Hochmoore

Die Lebensräume dieser Gruppe sind ungenutzt, weitestgehend frei von großen Bäumen, weisen ein ausgeprägtes Bult-Schlenken-System mit hochspezialisierten Tier- und Pflanzenarten auf, sind meist uhrglasförmig aufgewölbt und werden ausschließlich durch Regenwasser gespeist. Sie werden in naturnahe Hochmoore des Berglandes (MB) sowie des Tieflands (MH)

unterschieden. Hinzu kommen natürlich entstandene, naturnahe Hochmoorseen oder -weiher (SOM), einschließlich ihrer Verlandungsvegetation. Alle Biototyp-Codes werden im Kartierschlüssel für Biotope beschrieben und in der Tabelle 8.1 mit dem Langnamen bezeichnet.

Bei den Moortypen der ersten Gruppe besteht i. d. R. kein dringender Handlungsbedarf für Renaturierungsmaßnahmen. Die naturnahen Hochmoore des Berglandes sind in Niedersachsen von Natur aus auf Vorkommen im Solling sowie im Harz beschränkt und liegen in Schutzgebieten, die vom Nationalpark Harz oder von den Niedersächsischen Landesforsten betreut werden (vgl. Kap. 7). Sie werden daher in diesem Kapitel nicht weiter betrachtet.

Auch die naturnahen Hochmoore des Flachlands inklusive der Hochmoorseen liegen überwiegend in Schutzgebieten. Sie sind allerdings im Vergleich zu ihrer früheren Verbreitung lediglich in kleinflächigen Restbeständen erhalten. In sich geschlossene Systeme, z. B. naturnahe Heidemoore oder Moorschlatts, werden in diesem Kapitel nicht betrachtet, da, ebenso wie bei den Berglandmooren, kein dringender Handlungsbedarf besteht.

Häufig sind Restbestände naturnaher Hochmoore, insbesondere des Biototyps Naturnahes Hochmoor des Tieflands (MH), eng mit stärker degenerierten Moorbereichen verzahnt und können nicht losgelöst von diesen betrachtet werden. Sie zählen dann zur zweiten Gruppe der Moorlebensräume.

#### 8.1.2. Ungenutzte schwach degenerierte Hochmoore

Die zweite Gruppe wird von mäßig naturnahen, schwach degenerierten Hochmoorlebensräumen gebildet, die verschiedene Biototypen (-gruppen) umfassen (vgl. Tab. 8.1). Die Flächen sind zumeist von vorangegangenen Nutzungen wie bäuerlichem Handtorfstich beeinträchtigt und in ihrem natürlichen Wasserhaushalt und ihrer Vegetationszusammensetzung verändert. Mäßig entwässerte Hochmoore werden in Niedersachsen durch unterschiedliche Vegetationsstadien charakterisiert: Wollgrasdominierte Vegetation (MWD), zwergstrauchreiche, z. T. torfmoosreiche Heiden aus Glockenheide (MGF und MGT) oder torfmoosreiche Moorwälder (WBA).

Bestände aus Glockenheide oder auch Moorliien auf geringmächtigen Torfen werden als Anmoor- oder Übergangsmoorheiden (MZ) erfasst. Im räumlichem Zusammenhang mit noch renaturierungsfähigen Hochmooren stehende Bestände, die sich überwiegend nur aufgrund ihrer Nutzungsgeschichte zu Anmoorheiden entwickelt haben, können in Renaturierungsmaßnahmen mit dem Ziel Hochmoorentwicklung einbezogen werden.

Intakte Anmoorheiden und Übergangsmoore gehören dagegen nicht prioritär in den Kontext des Hochmoorschutzes. Vorkommen an Hochmoorrändern können ggf. von Vernässungsmaßnahmen profitieren, stellen aber ein eigenes Schutzziel dar.

Auch im überwiegenden Anteil der in Niedersachsen unter Schutz gestellten, ungenutzten Hochmoore sind große Bereiche degradiert und in ihren Biotopqualitäten beeinträchtigt. Häufig sind nur in Teilbereichen Renaturierungsmaßnahmen durchgeführt worden. Im Vergleich zu intakten, naturnahen Hochmooren fehlt ein ausgeprägtes Bult-Schlenken-System. Hochmoortypische Arten kommen lediglich in geringerer Deckung vor. Für Tier- und Pflanzenarten, insbesondere die Hochmoorspezialisten, sind diese Flächen dennoch von großer Wichtigkeit. Lokal und regional sind schwach degradierte Hochmoore die einzig verbliebenen Ersatzlebensräume natürlicher Hochmoore, deren Funktionen durch Renaturierungsmaßnahmen erhalten und verbessert werden sollten, mit dem Ziel, möglichst natürliche Zustände wieder zu etablieren.

### 8.1.3. Degenerierte Hochmoore

Die stark degenerierten Hochmoorlebensräume nehmen in Niedersachsen den größten Flächenanteil aller aktuell unkultivierten Hochmoore ein. Hier herrschen trockene Heiden (MGB) und Moorwälder (WV) oder dichte, zu meist trockene Pfeifengras-Bestände (MPT) vor, die oftmals von Verbuschung (MDB) bedroht sind. Nassere Bereiche weisen Übergänge zu Sümpfen oder Übergangsmooren auf, in alten Torfstichen tritt dann z. B. basen- und nährstoffarmes Sauergras- oder Binsenried hinzu. Die Flächen bieten teilweise noch wichtige Rückzugsräume für Tier- und Pflanzenarten, deren naturschutzfachlicher Wert sich durch Wiedervernässungsmaßnahmen erheblich steigern lässt.

Häufig kommen in einem Gebiet mehrere Typen oder auch alle drei Gruppen im Komplex nebeneinander vor. Die Situation ist daher vor der Maßnahmenplanung für jedes Moorgebiet individuell zu betrachten.

Tab. 8.1: Gliederung der Biotoptypen auf Moorböden nach Naturnähe.

Code	Biotoptypbezeichnung	Ausprägung
MB	naturnahes Hochmoor des Berglands	naturnah*
MH	naturnahes Hochmoor des Tieflands	naturnah*
WOH	hochmontaner Fichtenwald nährstoffarmer Moore	naturnah*
SOM	naturnaher Hochmoorsee/-weiher natürlicher Entstehung	naturnah*
VOM	Verlandungsbereich nährstoffarmer Gewässer mit Moosdominanz	naturnah
MWS	Wollgras-Torfmoos-Schwingrasen	naturnah
MWT	sonstiges Torfmoos-Wollgras-Moorstadium	naturnah
MZ	Anmoor- und Übergangsmoorheide	naturnah**
MS	Moorstadium mit Schnabelriedvegetation	naturnah*
MWD	Wollgras-Degenerationsstadium entwässerter Moore	schwach degeneriert
SOT	naturnahes nährstoffarmes Torfstichgewässer	schwach degeneriert
MGF	feuchteres Glockenheide-Hochmoordegenerationsstadium	schwach degeneriert
MGT	trockeneres Glockenheide-Hochmoordegenerationsstadium	schwach degeneriert
WBA	Birken- und Kiefern-Bruchwald nährstoffarmer Standorte des Tieflands	• degeneriert
MGB	Besenheide-Hochmoordegenerationsstadium	degeneriert
MDB	Gehölzjungwuchs auf entwässertem Moor	degeneriert
MGZ	sonstiges Zwergstrauchdegenerationsstadium	degeneriert
MPF	feuchteres Pfeifengras-Moorstadium	degeneriert
MPT	trockeneres Pfeifengras-Moorstadium	degeneriert
MI	Initialstadium vernässter Hochmoorflächen	degeneriert
MD	sonstiges Moordegenerationsstadium	degeneriert
WOE	hochmontaner Fichtenwald entwässerter Moore	degeneriert
WV	Birken- und Kiefern-Moorwald entwässerter Moore	degeneriert
WVP	Pfeifengras-Birken- und Kiefern-Moorwald	degeneriert
NSA	basen- und nährstoffarmes Sauergras-/Binsenried	degeneriert

Biotoptypen nach v. DRACHENFELS (2021), Biotoptypencodes auf zweiter oder (wenn unterschiedlich eingestuft) dritter Stufe differenziert.

\* = Naturnahe Biotoptypen, die im Folgenden nicht näher betrachtet werden.

\*\* = MZ nur in renaturierungsfähigen Hochmooren, nicht in Anmooren und naturnahen Übergangsmooren.

• degeneriert = degeneriertes Hochmoor, aber wertvolle Waldbestände und prioritärer Lebensraumtyp.

Die Mehrzahl der niedersächsischen Moorbiotope ist in ihrem Bestand bedroht und den stark gefährdeten Lebensräumen zuzurechnen (VON DRACHENFELS 2021). Die Entwicklungsziele müssen folgende Punkte umfassen (MU 2016):

- Erhalt und Schutz der verbliebenen natürlichen und naturnahen Moore,
- Revitalisierung der degenerierten und suboptimal renaturierten Flächen,
- Förderung der Biodiversität und
- Erhalt und Förderung der Kohlenstoffdioxidbindung und eines stabilen Wasserhaushalts zur Verminderung der Folgen des Klimawandels.

## 8.2. Vorbelastung

Zu Beginn der Planungen in ungenutzten naturnahen oder degenerierten Mooren sollte überprüft werden, welche Moorbiootypen den Planungsraum charakterisieren, welche Vorbelastungen (ökologische und hydrologische Hypothesen), wie Topographie, Pfeifengras-Dominanzen, Kulturheidelbeere oder Gehölzaufwuchs bei den unterschiedlichen Flächen vorliegen, und wie diese durch Renaturierungsmaßnahmen beseitigt bzw. minimiert werden können (vgl. Kap. 3). Auch sollte geprüft werden, ob bzw. wie Synergien zwischen der Moorerneuerung und den naturschutzfachlichen Zielstellungen weiterer Schutzgüter von Natur und Landschaft erreicht werden können.

### 8.2.1. Unebene Topographie/ Handtorfstichgebiete

Bei ausgeprägten sekundären Randgehängen (geneigte Randbereiche), i. d. R. im näheren Einzugsbereich von Gräben und Handtorfstichen, kommt es häufig zu starken horizontalen Entwässerungseffekten in den oberflächennahen Weißtorfschichten. Um den Oberflächenwasserabfluss zu vermindern, ist neben der

Schließung der Gräben der Bau von Dämmen oder ggf. Spundwänden erforderlich (s. Kap. 4.4). Wie bei vielen Maßnahmen gilt es auch hier, Vor- und Nachteile gegeneinander abzuwägen. Durch einen vollen Anstau der Gräben werden mitunter daran angeschlossene Handtorfstiche über ein günstiges Niveau für das Torfmooswachstum hinaus überstaut. Bei einem relativen geringen Anteil an Handtorfstichflächen sollten solche punktuellen Verluste zugunsten einer großflächigen Verbesserung geduldet werden. Diese höheren Wasserstände fördern die Vernässung weiterer im Relief höher gelegener Moorbereiche wie Moorheiden. Neue Methoden und Techniken, wie z. B. der Spundwandbau aus Kunststoff, ermöglichen es, auf engem terrassenförmigen Raum den Oberflächenabfluss aufzufangen und deutlich nachhaltigere Vernässungseffekte zu erreichen, als mit herkömmlichen Dammbauten (s. Kap. 4.4.3). Diese Bauweise ist zwar kostenintensiv, verringert aber gerade in wertvollen Bereichen die Vegetationsschäden.

Für die Planung von Maßnahmen zum Wassereinstau ist eine detaillierte Kenntnis des Reliefs unverzichtbar. Die Kenntnis des Gefälles, der Grabenstrukturen, der Torfstiche und Torfbänke kann sehr gut dem digitalen Geländemodell (DGM) entnommen werden (Abb. 8.1).

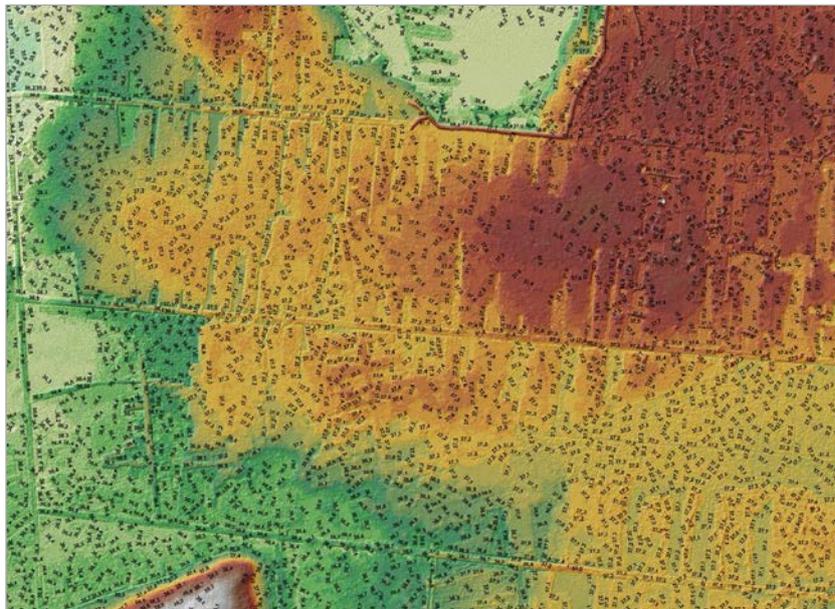


Abb. 8.1: Ausschnitt Laserscanmodell als „Pseudoreliefmodell“ (Beispiel: Rehburger Moor). Auf diesem Bild können große Unterschiede im Geländere relief erkannt werden. Die Form der Gräben deutet auf ehemalige Handtorfstiche hin. Die höherliegende braune Fläche deutet auf eine naturnahe Resthochmoorfläche hin.

Steile Handtorfstichkanten sind bis zu etwa 2 m hoch und bilden große Hindernisse und Gefahren für viele Tierarten. Hydrologisch weisen sie zudem extreme Unterschiede auf: sehr nass, z. T. mit Überstau im Stichbereich, und sehr trocken, mit Moorwasserständen mehr als 1 m unter Stichkante. Durch die Struktureigenschaft des Hochmoortorfs (Weißtorf) sind die Kanten jahrzehntelang stabil. Sie können mit einem Moorbagger mit Schwenklöffel auf Abflachungen von 1:2 bis 1:5 abgeschrägt werden. Der Hochmoorwasserspiegel verläuft daraufhin flacher und gleichmäßiger unter der Torfoberfläche, sodass ein indirekter Vernässungseffekt entsteht. Diese Vernässung zeigt kaum einen Effekt auf die höherliegenden Flächen, verbessert aber den Wasserhaushalt, indem die Maßnahme Wasser auf der Fläche hält (Schwammfunktion). Schlenkentangmoose können sich im Flachwasserkontakt trotz Wasserstandsschwankungen gut ansiedeln. Das Anstauziel sollte sich in jedem Fall an der Geländeoberfläche orientieren. Torfquellungen sind zu berücksichtigen.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass der Schwarztorf in den Handtorfstichen z. T. bis auf den mineralischen Untergrund abgegraben wurde. Der Torfstich wurde anschließend mit Bunkerde und Weißtorf aufgefüllt. Die Voraussetzungen für eine effektive Wiedervernässung sind daher vorab gründlich zu prüfen.

Da häufig Moorbirken an Gräben und Handtorfstichen stehen und entfernt werden müssen, ist dies eine Gelegenheit, Birkenastwerk in überstauten Handtorfstichen abzulegen. Diese Äste vermindern die Wellenbildung an der Wasseroberfläche zugunsten der Ansiedlung von Torfmoos. Dabei ist darauf zu achten, erste Schwingrasenbildungen möglichst nicht mit Ästen zu belegen, sondern freizuhalten.

### 8.2.2. Dominanz von nicht hochmoortypischer Vegetation

#### Pfeifengras

Reine Pfeifengrasbestände stellen unter den ungenutzten, degenerierten Flächen die Problemflächen dar, weil sie meistens auf Wasserstandsschwankungen im Torfkörper hindeuten. Wenn durch den Einstau von Regenwasser ein relativ konstant gesättigter Torfkörper mit leichtem Überstau wiederhergestellt werden kann,

sind diese Biotope grundsätzlich in torfmoosreiche Stadien (Schlenkentangmoose) überführbar. Die Pfeifengrasbulte verhindern einen Wellenschlag und erleichtern somit die Ansiedlung von Schlenkentangmoosen. Wenn der laterale Wasserabfluss nicht verhindert werden kann, ist dies bei höherliegenden Flächen jedoch kaum möglich.

Wenn Moorwald mit einer Krautschicht, in der Pfeifengras dominiert, entkusselt wird, fördert dieses Vorgehen das Wachstum des Pfeifengrasbestands in Dichte und Höhe. Entkusselungen sollten daher nur in Kombination mit Wasserstandsanhörungen erfolgen. Ein Oberbodenabtrag erscheint hier nur sinnvoll im Zusammenhang mit dem Bau von Verwallungen, die Voraussetzung für die Wiederansiedlung von Wollgras und Torfmoosen wäre (s. Kap. 10).

#### Kulturheidelbeere

In einigen ungenutzten, zumeist degradierten Moorkomplexen breiten sich Kulturheidelbeeren aus. Meistens erfolgt die Ausbreitung von randlich gelegenen Plantagen. Vor allem unter dem bewaldeten Kieferschirm entlang von Moorrändern bilden sich geschlossene Strauchbestände mit einer vollständigen Deckung und einer Wuchshöhe von bis zu 3 m, die die gesamte Krautschicht ersticken. Von hier aus verbreiten sich die Kulturheidelbeeren auch in offene, naturnähere Moorbereiche. Teilweise bilden sich um Einzelbüsche Cluster (Abb. 8.2). Die Unterdrückung solcher Bestände soll hauptsächlich durch Wiedervernässungsmaßnahmen erfolgen. In einzelnen Fällen, z. B. aus Artenschutzgründen, können Bestände mechanisch bekämpft werden. Die Bekämpfung von einzelnen Büschen durch Absägen oder Mulchen zeigt keine nachhaltige Wirkung. Konsequentes Ausgraben stellt derzeit die beste Möglichkeit zur dauerhaften Entfernung dar. Eine andere Möglichkeit wäre, die Äste abzuschneiden und den Wurzelstock mit beschwerter Folie abzudecken. Sind die Bestände großflächig im Moorgebiet verbreitet, bedeutet dieses Vorgehen einen massiven Eingriff, der in mit Bäumen bestandenen Bereichen nur begrenzt umsetzbar ist. Es ist empfehlenswert, erste Ansiedlungen junger Büsche möglichst frühzeitig mit Forsthacken und Spaten zu entfernen. Die ausgegrabenen Büsche können im Anschluss in bewaldeten Bereichen in die Bäume gehängt werden, damit sie nicht wieder anwurzeln.



Abb. 8.2: Herbstlich rotgefärbte Kulturheidelbeerbestand (NSG Weißer Graben, 01.10.2018, Foto T. Beuster).

## Gehölz

Auf verbuschten Hochmoorflächen mit einer Dominanz von Glockenheide, weiteren Zwergsträuchern sowie Pfeifengras fördert das (sukzessive) Entfernen der Bäume und das Entkuseln des anschließenden Stockausschlags die Wiederausbreitung der o. g. Krautschicht, sofern parallel hydrologische Verbesserungen umgesetzt werden. Einzelne dickere Bäume können durch Ringeln zum Absterben gebracht werden und als Totholz auf den Flächen verbleiben (s. Kap. 4.5). Offene bis halboffene Moorlandsituationen lassen sich so sekundär wiederherstellen und verbessern, bedürfen aber einer Dauerpflege durch Schafe oder Maschinen.

Stark vermehrtes Blütenaufkommen der Zwergsträucher lässt die Artenzahl und Biomasse von Insekten ansteigen. Dies fördert die Artenvielfalt. Auch ist abzuwägen, ob diese Maßnahmen eventuell einer Dauerpflege entsprechen und ob dem Ziel, offene, mäßig degenerierte Moorlebensräume mit typischer Krautschicht wiederherzustellen, nicht unverhältnismäßig hohe Kosten gegenüberstehen, solange flankierende Wiedervernässungsmaßnahmen fehlen.

## 8.2.3. Synergien mit der extensiven Grünlandnutzung

Wenn die Hochmoor-Grünlandanteile im Vergleich zu benachbarten schützenswerten Hochmoorflächen nur gering sind, wie es häufig in der Diepholzer Moorniederung anzutreffen ist, dann wurde hier aus faunistischen Gründen die extensive landwirtschaftliche Weiternutzung mit Bewirtschaftungsauflagen betrieben. Das bedeutet, dass auf den Einsatz von Düngung und Pestiziden verzichtet wurde, die Erstmahd spät im Bewirtschaftungsjahr erfolgte und die Weidetierzahl pro Hektar begrenzt wurde. Eine Wiedervernässung des Grünlands zugunsten benachbarter Moorheiden erfolgte zusätzlich durch den Verschluss und damit Aufstau umgebender Gräben und die Deaktivierung einer etwaigen Dränung. Diese Maßnahmen haben zur Folge, dass der Ertrag solcher Grünlandflächen stark abnimmt und oft eine Aushagerung und Verbinsung einsetzt, die eine wirtschaftliche Nutzung ausschließt. Daraus lässt sich ableiten, dass eine Hochmoorrenaturierung auf Hochmoor-Grünlandflächen insbesondere in solchen Fällen umgesetzt werden sollte, bei denen weder floristische noch faunistische Gründe für eine Beibehaltung der Grünlandnutzung sprechen (s. Kap. 6).

### 8.3. Erstinstandsetzungsmaßnahmen

Hier werden spezifische Hinweise für die Maßnahmenumsetzung in ungenutzten Hochmooren gegeben. Diese Maßnahmen unterscheiden sich von den in den bisherigen Kapiteln beschriebenen Vorgehensweisen darin, dass der Schutz und die Optimierung der noch vorhandenen hochmoortypischen Vegetation und des bestehenden Ökosystems im Fokus der Bemühungen stehen. Aufgrund der Vornutzung weisen diese ungenutzten Flächen bestimmte Besonderheiten auf, wie eine unebene Topographie von Gruppen aus der Moorbrandkultur über bäuerliche Torfstiche bis hin zu dichten Gehölzbeständen auf entwässerten, degradierten und genutzten Moorflächen, die in der Planung von Maßnahmen berücksichtigt werden sollten.

#### 8.3.1. Zeitpunkt der Maßnahmenumsetzung

Baumaßnahmen im Moor erfordern aufgrund des wenig tragfähigen Untergrundes eine möglichst trockene Witterung. Sofern Gehölze beseitigt werden müssen, hat dies außerhalb der Zeit vom 1. März bis 30. September zu erfolgen (vgl. § 39 (5) BNatSchG). Ganzjährig sind Belange des Artenschutzes zu berücksichtigen. Durch Maßnahmen der ökologischen Bauleitung kann das Zeitfenster für die Umsetzung von Baumaßnahmen im Moor i. d. R. erheblich erweitert werden. August und September sind vergleichsweise günstige Monate, weil dann die Reptilien und Amphibien sich noch nicht im Winterquartier befinden und den Bauarbeiten ausweichen können. Bei Arbeiten im Oktober ist die Witterung oft schon zu nass, und nicht selten

werden überwinternde Reptilien durch Vernässungsmaßnahmen in ihren Winterquartieren überflutet und getötet. Für Maßnahmen ab Mitte August oder im September muss ggf. je nach Schutzgebietsverordnung eine naturschutzrechtliche Befreiung beantragt werden. In jedem Fall ist es sinnvoll, im Winter die Bäume zu entnehmen und dann im folgenden Spätsommer/Herbst die Maßnahmen zur Wasserstandsanhebung umzusetzen.

#### 8.3.2. Entfernung von Gehölzen

Vor den eigentlichen Wiedervernässungsarbeiten ist in vielen Fällen das Entfernen von teils mächtigen Kiefern und Birken zumindest in den Bereichen erforderlich, in denen Verwallungen oder sonstige Anstaeinrichtungen gebaut werden sollen (Abb. 8.3). Sowohl für die Zuwegung der Maschinen zur eigentlichen Moorbaustelle als auch im Bereich der Torfentnahme und des Dammaufbaus erweisen sich Gehölze als hinderlich. Gerade alte Torfdämme respektive Abfuhrwege sowie Bereiche zwischen Torfstichen und seit Jahrzehnten entwässerte hohe Torfrücken, oft mit unzerstochener Oberfläche, sind mit Bäumen bestanden. Sollen diese Bereiche durch umlaufende oder am Höhenniveau orientierte Dämme an- bzw. eingestaut werden, empfiehlt es sich, die Gehölze mit Wurzelstock zu entfernen. Die effizienteste Methode ist die Baumentnahme mit Moorbagger und hydraulischer Baumschere. Die Bäume sind dabei tief abzukneifen (s. Kap. 4.5). Stehen in den Baubereichen nur Bäume mit einem Durchmesser von maximal 15 bis 20 cm, können die Gassen auch mit Treckern und Forstmulchern hergestellt werden.



Abb. 8.3: Moorbagger mit hydraulischer Baumschere (Lichtenmoor, LK Nienburg/Weser, 2019; Foto: T. Beuster).

Die Baumstubben, die das Befahren der freigestellten Bereiche für den Dammbau mit Moorbaggern erschweren, können mit dem Forstmulcher (Trecker mit Zwillingsreifen oder Moorbagger mit Forstmulcher am Arm oder alternativ einem Tellerrad) mindestens bodeneben heruntergefräst werden.

Eine freie Baufeldbreite von mindestens 10 m, beispielsweise entlang einer Torfstickkante und an einem Staupunkt, und eine Schneise von 25 bis 35 m Breite für einen anzulegenden Damm haben sich als notwendig erwiesen. Bei einer Dammkronenbreite von 3 m, einer Dammhöhe von 1 m und einer Böschungsneigung von 1:2 benötigt allein der Damm einen 7 m breiten entbaumten Bereich. Zusätzlich sollten noch Areale im nicht abgegrabenen Bereich am Dammfuß und Entnahmebereiche (abhängig von der Torfmächtigkeit) bei der Gehölzentfernung berücksichtigt werden. Um dichte Torfdämme aufsetzen zu können, ist es aber unverzichtbar, nicht mit Holzresten durchsetzten Torf auf gewachsenen Torf zu setzen. Bäume im Trassenbereich von Dämmen und auf Torfentnahmen sind daher mitsamt Wurzelstock zu roden. Die Bearbeitung mit einem Forstmulcher ist in diesen Bereichen nicht zielführend.

### 8.3.3. Verschluss von Schlitzgräben bis auf die Grabensohle

In machen Flächen sind noch alte Schlitzgräben zu finden, die etwa 12 cm breit und ca. 80 cm tief sein können. Sie wurden mit Schlitzgrabenfräsen gefräst, nicht gebaggert. Solche Schlitzgrabenverläufe sind nach Jahrzehnten des Überwachsens unter Umständen nur noch schwer wiederauffindbar und können kaum mengenmäßig erfasst werden. Der Verschluss erfolgt am besten an Staupunkten alle 50 m, bei Bedarf z. T. enger. Der Löffelbagger greift bis unter die kleine Grabensohle, und anschließend wird der Graben verfüllt und verdichtet. Zwischen den Staupunkten sollten die Schlitzgräben vorher oben zugedrückt werden.

Eine weitere „rohrartige“ Dränung kann ungünstigerweise bestehen bleiben, wenn der Löffelbagger nicht (knapp) unter die Grabensohle greift, sondern mehrere Zentimeter über der (unberührten) Sohle bleibt. Der unverfüllte Zwischenraum ist das „Rohr“. Das Prinzip der kommunizierenden Röhren bliebe zulasten des gewünschten nachhaltigen Vernässungseffektes erhalten. Alternativ kann als Verschlussmethode das Eindrücken von Kunststoffplatten gewählt werden (s. Kap. 4.4.3). Die Platten sollten quer zum Schlitzgrabenverlauf, d. h. zur Ab-

flussrichtung, eingedrückt werden und mindestens 20 cm zu allen Seiten, einschließlich der Grabensohle, über die Maße des Schlitzgrabens hinaus in den gewachsenen Torf eingebunden sein, damit sie nicht umströmt werden. Das führt zu Plattengrößen von mindestens 50 x 100 cm. Die Verwendung von Kunststoffplatten ermöglicht eine größtmögliche Schonung der Vegetation, da kaum Füllmaterial benötigt wird.

## 9. Dauerpflegemaßnahmen

FRIEDHELM NIEMEYER, HANS-GERHARD KULP,  
THOMAS BEUSTER, HERRMANN WREESMANN &  
BERND HOFER

Dauerpflegemaßnahmen sind nach wie vor für bestimmte Arten und Lebensraumtypen erforderlich und stehen vermehrt an, um in Natura-2000-Gebieten den günstigen Erhaltungsgrad anstreben oder halten zu können. Ein erwünschter Zielzustand der Biotopstruktur (Offenlandschaft, Kurzrasigkeit, Ericaceen- und Torfmoosreichtum) soll in diesen Gebieten aufrechterhalten werden, der sich ohne periodischen Eingriff durch Sukzession verändern würde. Außer der Flächenpflege gehören dazu auch Nacharbeiten, z. B. wenn ein Staupunkt oder Damm durch Erosion (Wasserüberschuss, Wildwechsel, Wildschweingebräch) an Stauwirkung verloren hat oder Birkenbewuchs aufkommt. In Hochmoorgebieten, in denen die Verpflichtung zum Erhalt der FFH-Lebensraumtypen und Anhangarten nicht bestehen, kann auch die Sukzession nach Optimierung der hydrologischen Rahmenbedingungen ein naturschutzfachliches Ziel sein.

### 9.1. Hydrologie: Wasserversorgung in den ersten Jahren

Trotz sorgfältiger Erstinstandsetzungsmaßnahmen ist nicht immer gewährleistet, dass die jahreszeitlichen Regenmengen ausreichen, um mittelfristig eine geschlossene Vegetationsdecke aus hochmoortypischen Pflanzen zu entwickeln. In solchen Fällen kann es sinnvoll sein, ein aktives Wassermanagement für bestimmte Vernässungsbereiche zu etablieren. Das Wasser dafür muss in erforderlicher Menge und Qualität vorhanden sein. Sowohl Grundwasser aus Brunnen als auch die Verwendung nährstoffreichen Grabenwassers sollte nur in Ausnahmefällen in Erwägung gezogen werden, da beide Wasserquellen zu erheblichen Nährstoffanreicherungen und Vegetationsveränderungen führen. Das Bewässerungswasser aus Gräben sollte im Vorfeld auf relevante Parameter hin analysiert werden (mindestens pH und elektrische Leitfähigkeit). Gegebenenfalls ist eine Vorklärung über Schilf- oder Rohrkolbenpolder sinnvoll. Eine nicht allzu hohe Nährstofffracht kann auch von nährstofftoleranteren

Moosen (*S. fallax* und *S. palustre*) als „Dünger“ genutzt werden, ein schnelles Anwachsen der Moose befördern und somit die Bildung eines Akrotelms beschleunigen.

Denkbar wäre die Nutzung von vorhandenen Vertiefungen (Torfstichen, Gräben, Kanälen) als Speicher für winterliche Wasserüberschüsse, um diesen Speichern dann Wasser für eine sommerliche Bewässerung zu entnehmen. Die technischen Einrichtungen für eine solche aktive Bewässerung (Speicher, Leitungen, Pumpen) müssten vorgehalten werden.

## 9.2. Vegetationsentwicklung

Nach der Umsetzung von Erstinstandsetzungsmaßnahmen erfolgt in der Regel eine Selbstbegrünung mit hochmoortypischen Arten. Gegebenenfalls kann im Einzelfall das aktive Ausbringung von Moorarten (s. Kap. 10) sinnvoll sein.

Zur nachhaltigen Absicherung der geschaffenen Vernässungseinrichtungen (Dämmen, Überläufen) ist deren kontinuierliche Pflege und Unterhaltung unverzichtbar. Ob und in welchem Umfang darüber hinaus flächige Dauerpflegetechniken erforderlich werden, hängt maßgeblich vom Leitbild für die jeweilige Einzelfläche ab (Sukzession, Moorheide, halboffene Moorlandschaft). Steuernde Maßnahmen der Vegetationsentwicklung können das Kürzen der Krautschicht, die Mahd der Flatterbinse, Entkusselung, Beweidung oder kontrolliertes Brennen sein.

### 9.2.1. Kürzen der Krautschicht

Das Kurzhalten der Krautschicht durch Mähen und Beweidung mit Schafen soll kurzrasige Vegetationsstrukturen für bestimmte Faunenelemente erhalten, die Verjüngung und Vitalität von Heide fördern sowie die Verbuschung und Nährstoffanreicherung (Stickstoffbindung in der Fläche) mindern (Abb. 9.1). Das Mulchen ist, neben der Schafbeweidung, die effektivste Pflegemaßnahme, da es neben sehr kurzer Vegetationsstruktur auch einen Nährstoffaustrag bewirkt, vorausgesetzt, der Mulchzeitpunkt ist optimal gewählt, z. B. Anfang bis Mitte September für Pfeifengras. Sofern technisch und finanziell machbar, sollte das Mulchgut möglichst im nä-

heren Umfeld aus dem Moor abgefahren werden. Dieses Material ist nicht als Staumaterial geeignet, weil es wasserdurchlässig ist.

Auf Flächen mit fortgeschrittener Verbuschung ist eine vergleichsweise aufwändige Erstinstandsetzung erforderlich. In den Jahren danach wird man diese Dauerpflegetechniken (Mähen, Mulchen) solange durchführen müssen, bis eine Stabilisierung der hochmoortypischen Vegetation eingetreten ist. Wenn die Stabilisierung durch Vernässung nicht eintritt, sollte eine Dauerpflege nach Bedarf entweder mechanisch und/oder mit Schafen organisiert werden.

Auf ehemaligen Moorbrandkulturflächen dürfte das Mähen alter Glockenheide mit Doppelmesserbalken, gefolgt vom Materialabtransport, ebenfalls gute Effekte erzielen, sofern die Vernässungsoptionen ausgereizt sind. Wenn das Mähgut für die gewerbliche Reetdachabdeckung verwendet werden kann, hätte dies sogar den Vorteil einer möglichen Teilrefinanzierung der erheblichen Maßnahmenkosten.

### 9.2.2. Mahd der Flatterbinse

Dominanzbestände der Flatterbinse (*Juncus effusus*) können auf begrenzten Flächen durch eine Mahd mit dem Freischneider weitgehend reduziert und kontrolliert werden, indem die Horste möglichst kurz abgeschnitten werden. Die Maßnahme ist allerdings sehr aufwändig und hat nur eine begrenzt nachhaltige Wirkung. Flächen im Ewigen Meer und in der Eider-Treene-Sorge-Niederung in Schleswig-Holstein zeigen aber, dass nach der Vernässung von Hochmoorgrünland die Dominanz der Flatterbinse auf landwirtschaftlich vorgeutzten Flächen ein temporäres Problem darstellt, welches sich nach einigen Jahren durch die Einwanderung von Torfmoosen relativiert. Gleichzeitig bietet eine geringe Binsendeckung, wie sie auf nährstoffarmen, sauren Standorten auftreten kann, aber auch vertikale Strukturen, an denen die Torfmoose emporwachsen können und die einen Schutz vor Austrocknung bieten (POULIOT et al. 2011). Insbesondere die Funktion als Wuchshilfe für Torfmoose konnte an vielen Stellen in der Naturschutzpraxis und im OptiMoor-Projekt beobachtet werden (ROSINSKI et al. 2021).

### 9.2.3. Entkusselung

Sofern es das jeweilige Leitbild erfordert und eine Verbesserung der hydrologischen Situation nicht nachhaltig möglich oder wirksam ist, können Entkusselungsmaßnahmen auf Flächen notwendig sein (s. Kap. 4.5).



Abb. 9.1: Oben links: Pflegemaßnahme durch Moorraupe mit Mulcher auf Anmoorheide (NSG Heilsmoor, LK Osterholz; Foto: H-G. Kulp).  
Oben rechts: Forstmulcher am Bagger auf Moorlaufwerk mulcht Gehölze auf Heidemoordamm und im vor gut 20 Jahren wiedervernässten bäuerlichen Handtorfstich, soweit der Baggerarm reicht. Der erzeugte minimale Birkenstockausschlag spricht für nachhaltige Wirkung in den Folgejahren (NSG Rehdeener Geestmoor, 11.12.2015; Foto: F. Niemeyer).  
Unten links: Im vor gut 20 Jahren wiedervernässten Handtorfstich mit Schwinggrasen werden Jungbirken mit Freischneidern entfernt, Durchführung begünstigt durch eine hinreichende Eisbildung (NSG Oppenweher Moor, 09.02.2010; Foto: F. Niemeyer).  
Unten rechts: Mulchen mit Abfahren im Pistenbulli mit Kübel von verbirkender Besenheide auf Torfdamm zwischen wiedervernässten Handtorfstichen. Die vor vielen Jahren abgeschrägten, inzwischen verbirkten Torfstichkanten wurden anschließend mit Forstmulcher am Bagger forstgemulcht (NSG Rehdeener Geestmoor, 03.11.2016; Foto: F. Niemeyer).

#### 9.2.4. Beweidung

Der Schafbeweidung landwirtschaftlich nicht kultivierter Moor- und Moorheideflächen liegen regionale Traditionen, wie z. B. im Naturraum Diepholzer Moorniederung, zugrunde. Hier wurden sehr genügsame Heidschnucken gehalten, die als einzige einheimische Schafrasse die karge Futtergrundlage aus Besenheide, Wollgras, Pfeifengras, Moorbirke, Kräutern, Pilzen und Extensivgrünland hinreichend für sich nutzen konnten.

Die Beweidung hat immer eine dienende Funktion und ist insbesondere auf vorentwässerten Moorheidestandorten zielführend, um diese für bestimmte Arten und Lebensraumtypen offen zu halten. Ziel sollte jedoch sein, die hydrologischen Defizite zu beseitigen, so dass eine Schafbeweidung nicht mehr erforderlich ist. Bis dahin sind neben der Schafbeweidung begleitende Maßnahmen wie Entkusselung, Mähen und Mulchen erforderlich. Vor allem an nassen Standorten, die für die Schafe problematisch sind, kann eine mechanische Pflege unersetzlich sein. Die Beweidung bisher unbeweideter, torfmoosreicher Moorheiden mit Schafen ist wegen der Trittempfindlichkeit eher kritisch zu sehen. Die traditionelle Hütelhaltung wirkt insbesondere in avifaunistisch wertvollen Gebieten Probleme durch die Anwesenheit von Hunden und Schäfern auf. Daher kann in solchen Moorgebieten auch eine großräumige Koppelschafhaltung zur Offenhaltung der Flächen in Frage kommen.

#### 9.2.5. Kontrolliertes Brennen

Das Abbrennen der Moorvegetation gehörte bis zum Beginn des vergangenen Jahrhunderts zur typischen Vorbereitung für den Buchweizenanbau. Das führte zu kurzrasigen Vegetationsstrukturen, von denen z. B. der Goldregenpfeifer als Bewohner der offenen, kurzrasigen Moorlandschaft als Brutvogel profitierte. Da viele Brutvogel- und Insektenarten mit ihren Beständen nachweislich positiv darauf reagierten, haben Naturschutzgruppen in Teilen Niedersachsens diese Pflegemaßnahme unter strengen Naturschutzgesichtspunkten als „Kontrolliertes Brennen“ fortgeführt. Dazu wurden im Januar oder Februar mehrere etwa 2 bis 3 ha große Teilgebiete kontrolliert abgebrannt. Voraussetzungen dafür waren hohe winterliche Wasserstände und eine Ostwetterlage mit Bodenfrost, Tagestemperaturen unter 5 °C und mäßigem Wind, ohne den ein Abbrennen nicht möglich war.

Zumindest in der Diepholzer Moorniederung wird Kontrolliertes Brennen nicht mehr angewendet. Die durchschnittlichen Wetterverhältnisse (mehnjähriges Mittel) haben sich im dafür wichtigsten Monat Februar klimawandelbedingt spürbar geändert. Die Wintermonate sind durchweg milder, feuchter und weisen im Februar nur noch selten stabile tagelange Hochdruckwetterlagen mit Ostwinden auf. Mulch- und Mäharbeiten im Moor können als Ersatz begrenzt durchgeführt werden. Sie können aber die günstigen Effekte des Kontrollierten Brennens, z. B. für Brutvogelarten des Hochmooroffenlands, nur bedingt ersetzen.

## 10. Ausblick: Aktive Wiederansiedlung der hochmoortypischen Vegetation

LOTTA ZOCH, AMANDA GROBE, PETER RAABE,  
NORBERT HÖLZEL, TILL KLEINEBECKER,  
KLAUS HOLGER KNORR, JAN FELIX KÖBBING &  
JÖRG SCHNEIDER

Die in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Maßnahmen zur Renaturierung von Hochmoorflächen gehen von der Selbstentwicklung der Hochmoorvegetation durch die natürliche Sukzession nach einer Wiedervernässung aus. Insbesondere bei großflächigem Verlust der ursprünglichen Vegetation können zusätzliche Maßnahmen neben der Verbesserung oder Wiederherstellung der abiotischen Standortbedingungen sinnvoll sein, um eine Etablierung weitgehend verschwundener Pflanzenarten zu ermöglichen oder zu beschleunigen (HÖLZEL et al. 2019; KAROFELD, MÜÜR & VELLAK 2016K; POSCHLOD et al. 2007; POULIN et al. 2005; QUINTY & ROCHEFORT 2003; SLIVA & PFADENHAUER 1999).

Auch wenn die Hydrologie erfolgreich eingestellt wurde, etablieren sich spontan meist nur wenige (Pionier-)Pflanzenarten der Hochmoore, wie Wollgräser oder Schlenkentangmoose. Die Besiedlung mit weiteren Zielarten der Hochmoorregeneration erfolgt – wenn überhaupt – meist erst nach Jahrzehnten und nur in einem geringen Umfang (HAAPALEHTO et al. 2011, NICK et al. 2001, POSCHLOD et al. 2007, ROSINSKI 2012). Ursache hierfür ist die nur sehr langsame Besiedlung und Etablierung vieler hochmoortypischer, hochspezialisierter Pflanzenarten, weil das Samen- und Diasporenpotenzial auf den Flächen und in der direkten Umgebung nicht ausreicht, das Ausbreitungsvermögen der Zielarten meist gering ist oder die Standortbedingungen (Hydrologie, Trophie, Mikroklima) die Etablierung erschweren (HÖLZEL et al. 2019; SLIVA & PFADENHAUER 1999; STROBL, MONING & KOLLMANN 2020).

Mit der aktiven Einbringung von Zielarten besteht eine Möglichkeit, den erwünschten Sukzessionsverlauf zur Hochmoorvegetation gezielt zu beschleunigen oder gar erst zu ermöglichen. In der allgemeinen Praxis sollte eine aktive Wiederansiedlung verschwundener Arten

nur auf Flächen umgesetzt werden, deren natürliche Vegetation durch den Menschen vollständig und großflächig vernichtet oder zumindest stark verändert wurde. Dies ist in Niedersachsen vor allem für Renaturierungsflächen nach Torfabbau oder landwirtschaftlicher Vornutzung zutreffend. Es ist keine Einbringung in naturnahe Flächen vorgesehen. Die Wiederansiedlung sollte zudem grundsätzlich nur dann realisiert werden, wenn eine hohe naturschutzfachliche Eignung der jeweiligen Flächen vorliegt. Diese ist gegeben, wenn für die Herausbildung eines wild wachsenden Vegetationsbestandes dauerhaft günstige abiotische Standortbedingungen im Bereich der ökologischen Toleranz(en) zu erwarten sind. Ziel ist es, überlebensfähige Populationen zu etablieren (IUCN/SSC 2013). Diese sollen, abgesehen vom regulären Wassermanagement und der Freihaltung der Flächen (Entkusseln), ohne weitere unterstützende Pflegemaßnahmen überdauern können und die Entwicklung zu einem lebenden Hochmoor beschleunigen. Vor der Einbringung sollte daher geprüft werden, ob die Standortbedingungen auf der Zielfläche den Ansprüchen der Zielarten entsprechen (KETTENRING & TARSA 2020, QUINTY & ROCHEFORT 2003). Sind die Standortbedingungen ungünstig, hat zunächst deren Verbesserung Priorität.

Bei der Einbringung von Vegetation wird Spendermaterial (ganze Pflanzen oder Diasporen) aus anderen Flächen übertragen oder im Gewächshaus vermehrt und dann ausgebracht. Ausgehend von mit Spendermaterial beimpften Bereichen (punktuell oder auch flächig) können sich die Pflanzen nach ihrer Etablierung auf der Zielfläche ausbreiten.

Zu beachten ist, dass die bestehenden hochmoortypischen Pflanzenbestände der Spenderpopulation immer Vorrang gegenüber den neu anzulegenden Flächen haben und auf keinen Fall nachhaltig geschädigt werden dürfen. Für die Entnahme und Ausbringung sind eine behördliche und eine Eigentümergehmigung erforderlich. Je nach Entnahmegröße, Schutzstatus und gesetzlichen Vorgaben können umfangreiche Genehmigungsprozesse oder eine Umweltverträglichkeitsprüfung erforderlich sein. Die Möglichkeit einer Entnahme und Ausbringung sind jedoch grundsätzlich rechtlich gegeben. Durch die Maßnahmen dürfen keine gebietsfremden Arten oder gebietsfremdes genetisches Material in die Renaturierungsflächen eingebracht werden (Orientierung bieten die naturräumlichen Regionen in Niedersachsen nach

VON DRACHENFELS (2010)). Die Wiederansiedlung sollte nur unter Beteiligung von fachkundigen Personen durchgeführt und gut dokumentiert werden. Eine Erfolgskontrolle der Maßnahmen über mehrere Jahre (z. B. über die Anlage von Dauerquadraten; GODEFROID et al. 2011, QUINTY & ROCHEFORT 2003) wird empfohlen.

Für die Regeneration von Ökosystemfunktionen durch Entwicklung eines funktionsfähigen Akrotelms ist die Etablierung einer naturnahen Hochmoorvegetation, einschließlich der Schlenken- und Bult-Torfmoose, essentiell (GORHAM & ROCHEFORT 2003; WADDINGTON, LUCCHESI & DUVAL 2011). Die Torfmoose regulieren die hydrologischen und hydrochemischen Eigenschaften,

wobei die Bult-Torfmoose als „Ökosystemingenieure“ für das Wachstum der Hochmoore (Torfbildung) und die Wiederherstellung der Ökosystemfunktionen von besonderer Bedeutung sind (HÖLZEL et al. 2019, ROCHEFORT 2000, SMOLDERS et al. 2003). Die Ansiedlung von Bult-Torfmoosen stellt eine Herausforderung dar und erfordert günstige hydrologische, biogeochemische und mikroklimatische Bedingungen (RAABE et al. 2018, ROBROEK et al. 2009, SMOLDERS et al. 2003). Eine Übertragung von Bult-Torfmoosen erfolgt entweder durch eine punktuelle Transplantation von Torfmoosoden (Abb. 10.1) oder durch eine flächige Ausbringung von Torfmoosfragmenten (BREEUWER et al. 2010, CAGAMPAN & WADDINGTON 2008, CHIMNER et al. 2017, KAROFELD et al. 2017).



Abb. 10.1: Entnahme von Soden mit Bult-Torfmoosen aus der Zwischenvermehrung (links) und Beimpfung eines von Schlenken-Torfmoosen und Wollgräsern dominierten Schwinggrasen-Stadiums (rechts; Fotos: P. Raabe).

Während die Einbringung von Bult-Arten am aussichtsreichsten in späteren Stadien der Hochmoorregeneration mit einer stabilen Schlenken-Torfmoos-Dominanz erfolgt (Abb. 10.1), kann die aktive Einbringung von Schlenken-Torfmoosen oder (Pionier-)Gefäßpflanzen bereits in frühen Phasen mit einer noch lückigen Vegetation einen günstigen Sukzessionsverlauf initiieren. Ein erfolgreiches Beispiel aus Niedersachsen ist das Leegmoor (LK Emsland), in dem Mitte der 1980er Jahre nach Ende des industriellen Torfabbaus auf Schwarztorf gezielt Wollgräser, Glockenheide, Besenheide und Torfmoose durch Ansaat, Anpflanzung und Plaggen eingebracht wurden (BLANKENBURG et al. 2022, NICK et al. 2001).

Je nach Standortbedingungen können unterschiedliche Gefäßpflanzen, wie z. B. Wollgräser oder Rosmarinheide, eine selbstständige Etablierung oder den Erfolg einer gezielten Ausbringung von Torfmoosen und anderen Moorarten begünstigen. Richtig eingesetzt, verbessern die sogenannten Ammenpflanzen das Mikroklima und schaffen Strukturen, die günstige Kleinstandorte für die Keimung und Entwicklung der Zielarten darstellen (GROSVERNIER & STAUBLI 2009; LABERGE, ROCHEFORT & POULIN 2013; SLIVA & PFADENHAUER 1999; ZERBE 2019). Für die Einbringung von Gefäßpflanzen können ganze Soden, einzelne Pflanzen, Ableger, Stecklinge (Abb. 10.2), Mahdgut oder gezielt gesammeltes Saatgut verwendet werden.

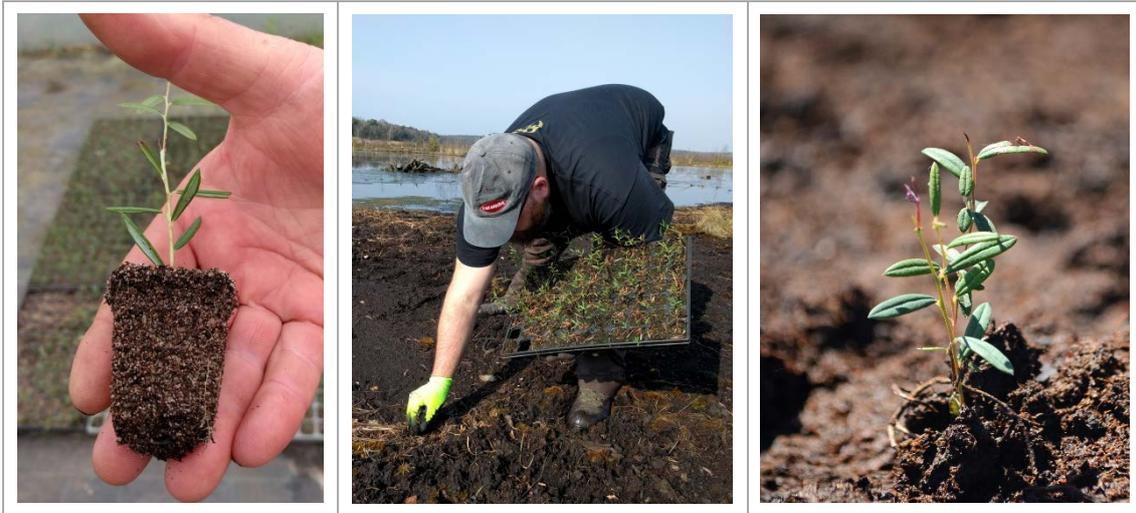


Abb. 10.2: Links: Steckling von *Andromeda polifolia* nach der Bewurzelung in der Baumschule, Mitte: Setzen der Stecklinge, rechts: Steckling von *Andromeda polifolia* nach einem Jahr (Fotos links und Mitte: J. Schneider, rechts: L. Zoch).

Während beispielsweise in Kanada die Wiederansiedlung, insbesondere von Bult-Torfmoosen, bereits zur regulären Renaturierungspraxis gehört (QUINTY & ROCHEFORT 2003) und in Großbritannien großflächig Projekte umgesetzt werden (Projekte „MoorLILFE“, „MoorLIFE 2020“), werden die Verfahren in Niedersachsen erprobt (RAABE et al. 2018) bzw. im Rahmen von Forschungsvorhaben durchgeführt (NICK et al. (2001); Projekt „Insekten beleben Moore“). Mit welchen konkreten Mitteln und zu welchem Kosten-Nutzen-Verhältnis Wiederansiedlungen (am besten) erreicht werden können, befindet sich deshalb aktuell noch in der Entwicklung und sollte durch die Umsetzung weiterer Pilotprojekte vorangebracht werden. Ein limitierender Faktor ist sicherlich die geringe Menge an verfügbarem Spendermaterial. Die Etablierung von regionalen Anlagen zur Zwischenvermehrung von Bult-Torfmoosen (Freiflächen, bewässerte Gewächshaustische) könnte dazu beitragen, größere Ausbringungsmengen bei minimaler Beeinflussung von Spenderpopulationen zu erreichen (CAPORN et al. 2017, HÖLZEL et al. 2019, RAABE et al. 2018).

## 11. Voraussetzungen und Herausforderungen in der Umsetzung

HERMANN WREESMANN & HEINRICH HÖPER

Die vorliegenden Handlungsempfehlungen konzentrieren sich auf die technischen Fragen, die bei der Renaturierung von Hochmooren auftreten können. Nach etwa 40 Jahren Erfahrung in diversen Wiedervernässungsprojekten in Norddeutschland sind diese Herausforderungen vielfältig angenommen und bearbeitet worden. Die dabei gesammelten Erfahrungen haben Niederschlag in diesem Werk gefunden.

Ursächlich für die mangelnde Umsetzung in der Fläche ist weniger das fehlende Wissen um die technische Umsetzung, sondern in der Regel die fehlende Flächenverfügbarkeit (Eigentumsverhältnisse) und die oft fehlenden personellen Ressourcen bei den vor Ort handelnden Akteuren.

Die Renaturierung von Mooren gilt als eine kostengünstige Möglichkeit, die gegenwärtig hohen THG-Emissionen aus Moorflächen dauerhaft und erheblich zu reduzieren und gleichzeitig wichtigen Lebensraum für seltene, vor allem auf intakte Moore angewiesene Tier- und Pflanzenarten zu schaffen. Klimaziele und Biodiversitätsziele können häufig synergistisch auf einer Moorfläche erreicht werden. Unter idealen Bedingungen können Kohlenstoffspeicher nicht nur gesichert, sondern gar THG-Senken geschaffen werden. Um diese gemeinsamen Ziele zeitnah und im anzustrebenden Umfang zu erreichen, müssen erhebliche Gelder für den Ankauf von Moorflächen durch die öffentliche Hand bereitgestellt werden. Die für Ziele des Naturschutzes bereitgestellten Finanzmittel reichen dafür bei weitem nicht aus und müssen mit anderen Mitteln, vor allem zum Erreichen von Klimaschutzzielen, aufgestockt werden.

### 11.1. Flächenverfügbarkeit

Die Umsetzung von Maßnahmen der Hochmoorrenaturierung erfordert eine tiefgreifende Veränderung der Moorflächen. Gehölze müssen beseitigt, Torf muss für den Bau von Dämmen verlagert und die hydrologischen Verhält-

nisse müssen verändert werden. Letzteres bedeutet vor allem, dass Entwässerungssysteme, die eine konventionelle Nutzung auf entwässerten Moorflächen möglich gemacht haben, dauerhaft außer Betrieb genommen werden. Erforderliche Staueinrichtungen und Überläufe zur Sicherung günstiger Wasserstände zur Renaturierung müssen regelmäßig unterhalten werden. Da nach der ersten Implementierung der Renaturierung unter den derzeitigen ökonomischen Rahmenbedingungen eine wirtschaftliche Nutzung der Flächen nicht mehr möglich ist und die Dauerhaftigkeit der Renaturierungsmaßnahmen sichergestellt werden muss, um die Erfolge im Natur- und Klimaschutz zu erhalten und zu verbessern, sind eine rechtliche Absicherung oder ein Flächenerwerb durch die öffentliche Hand in der Regel unabdingbar.

Zur Erreichung der Ziele des Moorschutzes ist die Verfügbarkeit von arrondierten Hochmoorflächen eine zentrale Voraussetzung, da in der Regel flurstücksübergreifende hydrologische Veränderungen und ggf. weitere Maßnahmen notwendig sind.

Die Bundes- und Landesverwaltungen, Kommunen, Verbände und Stiftungen verwalten traditionell große Moorflächen und haben z. T. in den vergangenen Jahrzehnten erhebliche finanzielle Mittel in den Grunderwerb investiert. Landesweit verfügt die öffentliche Hand in Niedersachsen über einen Flächenbestand von ca. 40.000 ha in Hochmooren. Diese Flächen sollten möglichst optimal zur Erreichung der gebietsbezogenen Ziele im Sinne des Moor- und Klimaschutzes und der Bund-Länder-Zielvereinbarung zum Klimaschutz durch Moorbodenschutz (vgl. IV Pkt. 8 der Vereinbarung, BMUV (2021)) erhalten und entwickelt werden.

Hinzu kommen nicht wenige Flächen (in Niedersachsen ca. 20.000 ha), auf denen aufgrund von Kompensationsverpflichtungen aus dem Torfabbau oder anderer Eingriffsvorhaben die Verpflichtung besteht, sie für eine Wiedervernässung herzurichten. Hier ist eine Begleitung wünschenswert, um eine positive Entwicklung in Richtung revitalisierter Moorökosysteme zu fördern.

Vorbildfunktion haben in Niedersachsen insbesondere die Flächen der Landesnaturschutzverwaltung, der Domänen- und Moorverwaltung sowie der Niedersächsischen Landesforsten. Hier bestehen bei arrondierten Flächen keine eigentumsrechtlichen Hindernisse. Jedoch kön-

nen schon einzelne eingestreute Flächen, deren Besitzverhältnisse eine Wiedervernässung behindern, ein Wiedervernässungsprojekt über Jahre verzögern oder unmöglich machen.

Um den vorhandenen, oft zerstreut liegenden Grundbesitz zu arrondieren, bieten sich für die öffentliche Hand (Bund, Land, Landkreise oder deren Stiftungen) diverse Optionen, um die Flächenverfügbarkeit zu verbessern:

### 11.1.1. Anordnung von Pflegemaßnahmen

§ 15 NAGBNatSchG bietet den Naturschutzbehörden grundsätzlich die Möglichkeit, in Schutzgebieten Pflegemaßnahmen anzuordnen. Auch die Schutzgebietsverordnungen enthalten in der Regel die Möglichkeit, bestimmte Pflegemaßnahmen anzuordnen. Sofern es sich allerdings um eine grundlegende Umgestaltung der Moorflächen im Sinne des Biotop- und Klimaschutz handelt (z. B. Anstau von Gräben, Bau von Dämmen und Überläufen) stoßen derartige Erfordernisse an politische und eigentumsrechtliche Grenzen. Es wird von den Grundeigentümern häufig nicht akzeptiert, dass die Entnahme von Gehölzen, der Bau von Dämmen und Überläufen, aber auch Dauerpflegemaßnahmen wie Mulchen oder Schafbeweidung mit der Sozialpflichtigkeit des Eigentums abgedeckt sind. Die Bereitschaft der örtlich handelnden Akteure (i. d. R. untere Naturschutzbehörden), Hochmoorrenaturierungen mittels Anordnungen umzusetzen, ist daher in den letzten Jahren sehr stark zurückgegangen. Der mit einer solchen Anordnung eröffnete Rechtsweg verzögert die Umsetzung unter Umständen um Jahre.

Da freiwillige Vereinbarungen mit Grundeigentümern nur in Einzelfällen zu Maßnahmensetzungen führen, setzen die meisten Akteure (Landes- und Kommunalbehörden, Stiftungen, Verbände) auf die Überführung der Hochmoorflächen in öffentliches Eigentum.

### 11.1.2. Flächenankauf

Der Flächenankauf als Methode zur freien, dauerhaften Verfügung über die Fläche wird seit Jahrzehnten sowohl bei genutzten als auch ungenutzten Moorflächen eingesetzt. Für die dauerhaft konfliktfreie Umsetzung von Moorma-

nagementmaßnahmen, die mit einer nachhaltigen Veränderung des Wasserhaushalts und ggf. weiteren baulichen oder pflegerischen Maßnahmen verbunden sind, ist es in der Regel notwendig, die betroffenen Moorflächen und auch hydrologisch relevante Moorrandflächen (Pufferzone) in den Besitz der öffentlichen Hand zu überführen.

Der Flächenankauf erfolgt auf Grundlage von Wertgutachten, je nach Verfügbarkeit von Haushaltsmitteln. Die Verkaufsbereitschaft hängt von der Entwicklung auf dem Bodenmarkt, den Bodenpreisen, auch für Ödland, sowie den verfügbaren Haushaltsmitteln ab.

Der Erwerb von Flächen kann durch das Land oder durch andere (Projekt-)Träger (Landes- und Kommunalbehörden, Stiftungen, Verbände), erfolgen. Generell empfiehlt es sich, dass der Ankauf durch die Institutionen erfolgt, die in den jeweiligen Mooregebieten bereits über Grundbesitz verfügen oder die sich in der Vergangenheit im Grunderwerb engagiert haben. Der Ankauf ist in der Regel sehr langwierig und führt unter Umständen erst nach Jahrzehnten zu arrondierten, vernässbaren Flächenblöcken. Die Übertragung des Grunderwerbs an Landgesellschaften kann ggf. zu einer Beschleunigung führen.

### 11.1.3. Flächentausch

Aktive Landwirte sind häufig aus nachvollziehbaren/verständlichen Gründen nicht bereit, ihre Flächen zu verkaufen, sondern fordern den wertgleichen Tausch ihrer Grundstücke. Flächen im Eigentum der öffentlichen Hand oder von Landgesellschaften können, wenn vorhanden, als Tauschflächen für betroffene Grundeigentümer verwendet werden, insbesondere, um landwirtschaftlich genutzte und ungenutzte Moorflächen für die Moorrenaturierung verfügbar zu machen. Für Tauschzwecke sollte zukünftig nicht nur die Eignung von Flächen im Besitz der Naturschutzverwaltungen, sondern auch der anderen öffentlichen Grundbesitzer (z. B. Bund, Moor- und Domänenverwaltung, Landesforsten, Landgesellschaften, Naturschutzverbände) stärker in Betracht gezogen werden. Auch kann die öffentliche Hand, z. B. über die o. a. Landgesellschaften, gezielt Flächen im Umfeld von Mooregebieten für den geplanten Landtausch erwerben und zur Verfügung stellen.

#### 11.1.4. Flurbereinigung

Neben der Verbesserung der Agrarstruktur können Flurbereinigungsverfahren auch zur Umsetzung von Naturschutzziele und zur Verwirklichung von Infrastrukturvorhaben eingesetzt werden. Die Kombination aus Grunderwerb, z. B. aus Mitteln des Klimaschutzes, und anschließendem Landtausch über Flurbereinigungsverfahren hat sich zum Zwecke des Moor- und Klimaschutzes bewährt. In derartigen Verfahren können Grundeigentümer entscheiden, ob sie für ihre abzugebenden Moorflächen in Geld oder in Fläche außerhalb des Moores entschädigt werden wollen. Da derartige Verfahren über Jahre laufen, müssen die Eigentümer sich auch nicht sofort entscheiden, sondern haben mehrere Jahre Bedenkzeit.

#### 11.1.5. Gestattungsverträge

Sofern seitens der Flächeneigentümer keine Verkaufsbereitschaft besteht, können zur Umsetzung von Moormanagementmaßnahmen Gestattungsverträge zwischen dem Grundeigentümer und der öffentlichen Hand oder Projektträgern zur Hochmoorrenaturierung (z. B. langfristig agierenden Umweltverbänden, Stiftungen) abgeschlossen werden. Wesentlicher Bestandteil ist die Einräumung und die Regelung von Nutzungsrechten, z. B. zugunsten der Projektträger von Moormanagementmaßnahmen. Dem Projektträger werden dadurch gegen Entgelt umfangreiche Rechte eingeräumt, ohne dass es zu einem Eigentümerwechsel kommt. Diese Rechte sollten sowohl für die Umsetzung von Erstinstandsetzungsmaßnahmen als auch für Dauerpflegemaßnahmen gelten und möglichst langfristig eingeräumt sowie ggf. durch Grundbucheintragungen abgesichert werden.

#### 11.1.6. Kompensationsflächen

In vielen Torfabbaugenehmigungen ist nach dem Ende des Torfabbaus eine Kompensationsverpflichtung in Form der Herrichtung der ehemaligen Abbauflächen für die Wiedervernässung enthalten. Darin ist dauerhaft die Verpflichtung zur Unterlassung der Nutzung geregelt. Die Verpflichtung zur Unterhaltung der geschaffenen Einrichtungen zur Wiedervernässung endet in der Regel jedoch nach 5 bis 10 Jahren und damit zu einem Zeitpunkt, zu dem

die Flächen sich in den meisten Fällen noch nicht selbst regulieren können.

Zum Zeitpunkt der Genehmigung ging man in der Regel davon aus, dass die Flächen nach der Vernässung keiner Dauerpflege bedürfen. Wie vorangegangene Kapitel beschreiben, ist das häufig nicht der Fall. Sollen die geschaffenen Dämme und Überläufe ihre Funktionsfähigkeit behalten, bedürfen sie einer dauerhaften Pflege. In vielen Fällen ist jedoch weder das Torfabbaunternehmen noch der nachfolgende Eigentümer für die erforderlichen Instandsetzung- und Dauerpflegemaßnahmen heranzuziehen. Insbesondere in Schutzgebieten verbleiben Planung, Umsetzung und Finanzierung solcher Maßnahmen daher häufig bei der öffentlichen Hand. In einigen Fällen hat sich eine Übernahme solcher Flächen in das Eigentum der öffentlichen Hand bewährt, sofern die kapitalisierten Pflegekosten erstattet werden.

#### 11.1.7. Kompensationsflächenpools

Im BauGB (§ 200a BauGB) und BNatSchG (§ 16) werden die Voraussetzungen für eine zeitliche, räumliche und funktionale Entkopplung von eingriffsbezogenen Kompensationsmaßnahmen definiert und die Einführung von „Ökokonten“ ermöglicht. Sie dienen u. a. dazu, Kompensationsmaßnahmen vorhalten zu können, um schneller auf Investitionswünsche reagieren zu können.

In Flächenpools werden Kompensationsmaßnahmen gebündelt, also räumlich konzentriert umgesetzt. Sie können konzeptionell in regionale oder lokale Moormanagementkonzepte integriert werden. Für die jeweiligen Flächen muss ein Aufwertungspotenzial vorhanden sein, und es dürfen keine anderweitigen Verpflichtungen zur Umsetzung der Maßnahme bestehen.

Flächenpools gibt es in sehr unterschiedlichen Projekt- und Trägerformen. Wichtig für den Erfolg des Flächenpools ist die Existenz eines dauerhaft präsenten Poolträgers, der zuständig für die Anlage und dauerhafte Pflege und Betreuung der Maßnahmen im Flächenpool ist.

## 11.2. Professionelles und dauerhaftes Vorgehen

Maßnahmen zur Renaturierung von Hochmooren werden, vor allem aus Sicht des Klimaschutzes, häufig als kostengünstig angesehen. Durch diese Maßnahmen kann eine höhere Emissionsminderung bei geringeren Kosten je Tonne eingesparter CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zu anderen Maßnahmen des Klimaschutzes wie der Paludikultur oder einer torfschonenden Bewirtschaftung erreicht werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Kalkulation der Emissionsminderung die dauerhafte Funktionsfähigkeit und Wirksamkeit der Maßnahmen voraussetzt. Dies muss durch ein professionelles und auf Dauerhaftigkeit angelegtes Management bei der Vorbereitung, Umsetzung und Nachsorge von Maßnahmen sichergestellt werden.

Bei der Vorbereitung von Maßnahmen sind die genaue Kenntnis der abiotischen (u. a. Boden, Wasser) und biotischen (Fauna und Flora) Standortfaktoren, eine konkrete Zielformulierung sowie eine detaillierte und kosteneffiziente Planung unabdingbar. Hierfür müssen finanzielle Ressourcen sowie erfahrene und mit dem jeweiligen Gebiet vertraute Fachleute zur Verfügung stehen.

Die Umsetzung der Maßnahmen muss, unter Berücksichtigung der Schutzziele und weiterer naturschutzfachlicher Auflagen, standortangepasst erfolgen. Maßnahmen im Moor stellen besondere Anforderungen an den Umgang mit dem Standort (u. a. Befahrbarkeit, Materialverwendung). Nicht selten treten Komplikationen während der Umsetzung auf (z. B. Wassereinträge oder Wasserverluste, Sandrücken, Rinnen im Untergrund), die eine pragmatische Vorgehensweise vor Ort, basierend auf praktischem Sachverstand und Erfahrung im Umgang mit dem besonderen Medium, erfordern. Darüber hinaus haben bereits die o. a. Kapitel gezeigt, dass Maßnahmen mit einem Risikopuffer auszugestalten sind, sei es bei der Dimensionierung der Dämme und Überläufe, zur Verhinderung von Grundbrüchen oder auch im Hinblick auf die Bereitstellung von Zusatzwasser für die Sommermonate, wie die Verläufe trockener Sommer einiger Jahre deutlich gezeigt haben.

Im Hinblick auf die Nachsorge ist eine dauerhafte Unterhaltung der geschaffenen Anlagen (Dämme, Überläufe) unverzichtbar. Besonders hilfreich ist ein langfristig angelegtes Monitoring,

vor allem der Wasserstände und der Vegetationsentwicklung, um den Renaturierungserfolg zu dokumentieren und, sofern nötig und möglich, rechtzeitig nachzusteuern. Auch können so Erfahrungen für zukünftige Maßnahmen gesammelt werden. Damit kann letztendlich die Effizienz von Maßnahmen belegt und der wirtschaftliche Einsatz von meist öffentlichen Finanzmitteln gerechtfertigt werden. Gerade beim Monitoring kann es interessant sein, auch öffentliche Bildungseinrichtungen, wie Hochschulen oder Naturschutzverbände, mit einzubeziehen.

## 11.3. Langfristiges Management

Für alle in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Maßnahmen zum Flächenmanagement ist eine langfristig angelegte Umsetzungsstrategie, die von einem breiten politischen Konsens getragen wird, unverzichtbar. Die aktuell verfassten Dokumente zur Bundesländer-Zielvereinbarung zum Klimaschutz durch Moorbodenschutz (BMUV 2021) bzw. die Nationale Moorschutzstrategie des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU 2020) sind hier beispielhaft zu nennen. Entsprechend kann die Umsetzung nur bedingt im Rahmen von kurzzeitigen und teilweise auf einzelne Schutzziele (z. B. einzelne Arten) oder einzelne Maßnahmen (z. B. Bau von Dämmen) ausgerichteten Projekten zur Hochmoorrenaturierung erfolgen. Projekte sind oft zeitlich auf wenige Jahre begrenzt, in denen kaum ein gezieltes Flächenmanagement erfolgen kann. Insbesondere nach der ersten Instandsetzung werden dauerhafte Pflegemaßnahmen sowie ein Monitoring der Flächenentwicklung mit eventuellen Anpassungen an lokale Bedingungen benötigt, um die gewählten Moor- und Klimaschutzziele langfristig zu erreichen. Auch kann bei zeitlich begrenzten Projekten eine personelle Kontinuität, die für alle an der Gebietsentwicklung beteiligten Akteure wichtig ist, nicht garantiert werden.

Will man zukünftig Moor- und Klimaschutzmaßnahmen intensivieren und vor allem beschleunigen, ist es daher unerlässlich, bewährte und fachlich qualifizierte Organisationsstrukturen zu stärken und flächig auszubauen.

#### 11.4. Organisationsstrukturen für eine Hochmoorrenaturierung

Die Renaturierung von gestörten Hochmooren ist eine Generationenaufgabe und erfordert einen langen Atem. Umso wichtiger ist es, dass es stabile Organisationsstrukturen gibt, die das Flächenmanagement organisieren, die Planungen vorantreiben und umsetzen und letztlich auch die Unterhaltung der geschaffenen Moorflächen gewährleisten. Nur so kann sichergestellt werden, dass die Investitionen in den Natur- und Klimaschutz auch die gewünschten Früchte tragen.

All das ist nicht im Rahmen von zeitlich und räumlich begrenzten Projekten umsetzbar, sondern bedarf einer personellen und institutionellen Kontinuität, mit Ansprechpersonen vor Ort.

Die derzeitigen Zuständigkeiten orientieren sich oft an den Besitzverhältnissen. Das gilt in besonderem Maße auch für die Flächen im öffentlichen Eigentum. § 2 (4) BNatSchG führt aus, dass „bei der Bewirtschaftung von Grundflächen im Eigentum oder Besitz der öffentlichen Hand die Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege in besonderer Weise berücksichtigt werden sollen“. In der Praxis greift dann doch zu oft das Ressortdenken. Eine Bündelung von öffentlichen Naturschutzflächen in der Hand einer Institution, die alle Aufgaben wahrnimmt (Flächenmanagement, Planung, Umsetzung von Erstinstandsetzungs- und Dauerpflegemaßnahmen, Vermietung und Verpachtung) würde nicht nur die Verwaltungsabläufe erheblich vereinfachen, sondern auch in der Außenwirkung nachvollziehbare Zuständigkeiten schaffen.

Im Gegensatz zu anderen Fachverwaltungen (z. B. Forstwirtschaft, Straßenbau, Wasserwirtschaft) verfügt der Naturschutz und schon gar nicht der Klimaschutz weder auf Landesebene noch auf kommunaler Ebene über eine eigene Flächenverwaltung, sondern bedient sich beispielsweise in Niedersachsen für die Landesflächen der Moor- und Domänenverwaltung. Im Rahmen einer Verwaltungsvereinbarung zwischen Umwelt- und Landwirtschaftsministerium wird hier geregelt, welche Aufgaben die Moor- bzw. Domänenverwaltung übernimmt. So verfügt in Niedersachsen die Staatliche Moorverwaltung über eine flächige Umsetzungsstruktur, die wesentliche Arbeiten auf den landeseigenen Moorflächen mit einem Maschinen- und Personalbestand umsetzt und überwacht. In diesem

Rahmen ist sie seit dem Jahr 1981 für die Umsetzung der Ziele des Niedersächsischen Moorschutzprogramms auf landeseigenen Flächen mit dem Schwerpunkt in der Weser-Ems-Region tätig. Hierzu zählt seit Jahren die Wiedervernässung ehemals industriell abgetorfter Moorflächen (zurzeit rund 9.000 ha). Auch bei der Betreuung der aufgrund langfristiger Verträge noch vorhandenen landeseigenen Abtorfungsflächen (zurzeit ca. 2.500 ha) steht die Umsetzung der Moorschutzziele genauso im Vordergrund wie bei der Verpachtung landeseigener Landwirtschaftsflächen im Umfeld der Moore. Die von der Staatlichen Moorverwaltung entwickelten Arbeitstechniken zur Wiedervernässung von Mooren sind über Niedersachsen hinaus richtungsweisend auf dem Gebiet der Hochmoorrenaturierung.

Im Gegensatz zur Moorverwaltung beschränken sich die Domänenämter derzeit darauf, die Grundstücke zu verwalten (Vermietung, Verpachtung, Abgaben, Verkehrssicherung), ohne aktiv Moorschutzmaßnahmen voranzutreiben. Moorschutzmaßnahmen finden auf diesen Landesflächen nur dann statt, wenn die jeweils zuständigen unteren Naturschutzbehörden diese planen und entsprechende Mittel des Naturschutzes zur Verfügung stehen. Personelle und finanzielle Ressourcen des Klimaschutzes wurden bisher kaum für die Renaturierung von Hochmooren akquiriert.

#### 11.5. Fazit

- Die Wiedervernässung ist eine effiziente Möglichkeit, auf einer Moorfläche sowohl THG-Emissionen erheblich zu minimieren als auch sehr wertvolle Lebensräume zu schaffen.
- Die Flächenverfügbarkeit ist bislang der „Flaschenhals“ der Wiedervernässung.
- Ein strukturiertes, auf gesammelten Erfahrungen aufbauendes Vorgehen, einschließlich adäquater finanzieller und personeller Ressourcen, verbessert die Effizienz der Maßnahmen und sichert ihre Wirksamkeit.
- Dauerhaftes Management aus einer Hand (Planung, Umsetzung, Unterhaltung) ist für wiedervernässte Moorflächen unverzichtbar.
- Die Bündelung der Verwaltung von Moorflächen würde nach bisheriger Erfahrung

zu einer effizienteren und besseren Betreuung der Flächen führen.

- Moore sind über Jahrtausende hinweg entstanden, und naturgemäß ist auch die Moorrenaturierung eine Generationenaufgabe.
- Die Einbeziehung von lokalen Vereinen und Gruppen oder von Bildungseinrichtungen (z. B. Schulen, Hochschulen und Universitäten) kann unterstützend sein, für beide Seiten einen Gewinn darstellen und die Außenwirkung der Maßnahmen verbessern.

## 12. Quellen

- AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5). – 5. Aufl., 438 S., 41 Abb., 103 Tab., 31 Listen; Hannover.
- ADLER, N., EHLERS, K., FRIEDRICH, B., FRISCHE, T., GATHER, C., GINZKY, H., HAMMERICH, J., HERRMANN, T., HOFMEIER, M., LAMFRIED, D., MATTHEY, A., PLAMBECK, N. O., RICHTER, S., ROSKOSCH, A., STARKE, S.-M., VOGEL, I. & WALTER, A. (2017): Umweltschutz in der Landwirtschaft. – 2. Aufl.; Dessau-Roßlau.
- ARBEITSKREIS „MOORNUTZUNG-LANDESPFLEGE“ (1990): Erhaltung der Bunkerde beim Torfabbau. – NLVA, Fachbehörde Naturschutz.
- ARMSTRONG, A., HOLDEN, J., KAY, P., FOULGER, M., GLEDHILL, S., McDONALD, A. T. & WALKER, A. (2009): Drain-blocking techniques on blanket peat: A framework for best practice. – *Journal of Environmental Management* **90** (11): 3512–3519.
- BARTEL, A., HUTH, V., JURASINSKI, G., HEINZE, S. & ULLRICH, K. (2019): Bericht zum Workshop zur Sanierung landwirtschaftlich vorgener Hochmoorstandorte. – *TELMA* **49**.
- BAUGB – BAUGESETZBUCH in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I: 3634), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 26. April 2022 (BGBl. I: 674) geändert worden ist. – <https://www.gesetze-im-internet.de/bbaug/BJNR003410960.html>.
- BEETS, C. (1993): Hochmoorregeneration nach Wiedervernässung industriell abgetorfter Hochmoore in den Niederlanden (Einrichtung, Kosten, Entwicklungen). – *TELMA* **23**: 271–285.
- BELTING, S. & OBRACAY, K. (2016): Einfluss von Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen auf die Hochmoorvegetation. Erfahrungen aus drei Jahrzehnten am Beispiel der Diepholzer Moorniederung. – *Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen* **3/2016**, 40 S., NLWKN.
- BEUG, H.-J. (1997): Die Entwicklung des Sonnenberger Moores im Oberharz. – *Ber. Naturhist. Ges. Hannover* **139**: 121–132.
- BLANKENBURG, J. (2001). Moorkundlich-hydrologische Untersuchungen im Leegmoor 1989–1996. – In: NICK, K.-J., LÖPMEIER, F., SCHIFF,

- H., BLANKENBURG, J., GEBHARDT, H., KNABKE, C., WEBER, H., FRÄMBS, H. & MOSSAKOWSKI, D. (2001): Moorregeneration im Leegmoor/Emsland nach Schwarztorfabbau und Wiedervernässung: Ergebnisse aus dem E+E-Vorhaben 809 01 001 des Bundesamtes für Naturschutz. – *Angewandte Landschaftsökologie* **38**.
- BLANKENBURG, J. (2004): Praktische Hinweise zur optimalen Wiedervernässung von Torfabauflächen. – *Geofakten* **14**: 12 S., 10 Abb., 4 Tab.; Hannover (NLFb).
- BLANKENBURG, J. (2015): Die landwirtschaftliche Nutzung von Mooren in Nordwestdeutschland. – *TELMA* **5**: 39–58.
- BLANKENBURG, J., BRUX, H., FRÄMBS, H., GIANI, L., HERBST, M., JENSEN, S., MOSSAKOWSKI, D., NACHTIGALL, S. & SCHIKORA, H.-B. (2022): Wissenschaftliche Nachuntersuchung des E+E-Vorhabens „Leegmoor“ (1984–1996). – Im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz, Förderkennzeichen: 3518892005.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND NUKLEARE SICHERHEIT (2020): Moorschutzstrategie der Bundesregierung. Diskussionspapier. – 63 S.
- BMUV – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, NUKLEARE SICHERHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2021): Bund-Länder-Zielvereinbarung zum Klimaschutz durch Moorbodenschutz. – 13 S., <[https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Naturschutz/blzv\\_moorbodenschutz\\_bf.pdf](https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/blzv_moorbodenschutz_bf.pdf)>.
- BNATSCHG – GESETZ ÜBER NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSPFLEGE (2009): Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I: 2542), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I: 3908) geändert worden ist. – <[https://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg\\_2009/BJNR25421009.html](https://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg_2009/BJNR25421009.html)>.
- BREEUWER, A., HEIJMANS, M. M. P. D., ROBROEK, B. J. M. & BERENDSE, F. (2010): Field Simulation of Global Change: Transplanting Northern Bog Mesocosms Southward. – *Ecosystems* **13**: 712–726.
- BRETSCHNEIDER, A. (2012): Die Bedeutung von Birken im Hochmoor. – *TELMA* **42**.
- BRUX, H., BLANKENBURG, J., FRÄMBS, H., GIANI, L., HEINZE, S., HERBST, M., JENSEN, S., MATUSCHEK, D., MOSSAKOWSKI, D., NACHTIGALL, S. & SCHIKORA, H.-B.: Entwicklung der Initiierung der Hochmoorregeneration auf industriellen Abtorfungsflächen mit Schwarztorf nach 35 Jahren. – *Natur und Landschaft* [in Vorbereitung].
- CAGAMPAN, J. P. & WADDINGTON, J. M. (2008): Net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange of a cutover peatland rehabilitated with a transplanted acrotelm. – *Écoscience* **15** (2): 258–267.
- CAPORN, S. J., ROSENBURGH, A. E., KEIGHTLEZ, A. T., HINDE, S. L., RIGGS, J. L., BUCKLER, M. & N.A., W. (2017): Sphagnum restoration on degraded blanket and raised bogs in the UK using micropropagated source material: a review of progress. – *Mires and Peat* **20** (9): 1–17.
- CASPERS, G. (2010): Die Unterscheidung von Torfarten in der bodenkundlichen und geologischen Kartierung. – *TELMA* **40**: 33–66.
- CASPERS, G., SCHLETTE, U. & SCHMATZLER, E. (2011): Neue Maßnahmen zur Verbesserung des Wasserhaushaltes im Mecklenbruch, Niedersachsen. – *TELMA* **41**: 243–256.
- CBD – CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY (2002): Alien species that threaten ecosystems, habitats or species. – <<https://www.cbd.int/kb/record/decision/7150?Subject=IAS>>.
- CHIMNER, R. A., COOPER, D. J., WURSTER, F. C. & ROCHEFORT, L. (2017): An overview of peatland restoration in North America: where are we after 25 years? – *Restoration Ecology* **25**: 283–292.
- CLEARY, J., ROULET, N. T. & MOORE, T. R. (2005): Greenhouse gas emissions from Canadian peat extraction, 1990–2000: a life-cycle analysis. – *Ambio* **34**: 456–461.
- DIERSCHKE, H. & KNOLL, J. (2002): Der Harz, ein norddeutsches Mittelgebirge. *Natur und Kultur unter botanischem Blickwinkel*. – *TUEXENIA* **22**: 279–421.
- DWD – DEUTSCHER WETTERDIENST (2018): Klimareport Niedersachsen: Fakten bis zur Gegenwart - Erwartungen für die Zukunft. – 52 S.; Offenbach am Main [ISBN 978-3-88148-508-1].
- DWD – DEUTSCHER WETTERDIENST (Hrsg.) (2019): Klimaprojektionsdaten.

- EGGELSMANN, R. (1981): Dränanleitung für Landbau, Ingenieurbau und Landschaftsbau. – 2. Aufl.; Hamburg (Parey).
- EGGELSMANN, R. (1987): Ökotechnische Aspekte der Hochmoor-Regeneration. – TELMA **17**: 59–94.
- EGGELSMANN, R. (1990): Moor und Wasser. – In: GÖTTLICH, K. (Hrsg.) Moor- und Torfkunde, S. 288–320; Stuttgart (Schweizerbart).
- EGGELSMANN, R. & BLANKENBURG, J. (1990): Zur Entwicklung der Heidemoore am Nordhümmeling in Niedersachsen. – TELMA **20**: 55–78.
- EIGNER, J. & SCHMATZLER, E. (1991): Handbuch des Hochmoorschutzes - Bedeutung, Pflege, Entwicklung. – 2. Aufl., 158 S.; Greven (Kilda).
- ERNSTBERGER, H. (1987): Einfluss der Landnutzung auf Verdunstung und Wasserbilanz: Bestimmung der aktuellen Evapotranspiration von unterschiedlich genutzten Standorten zur Ermittlung der Wasserbilanz von Einzugsgebieten in unteren Mittelgebirgslagen Hessens. – 189 S. (Verlag Beiträge zur Hydrologie).
- ESSL, F., LEXER, M. J. & SEIDL, R. (2013): Moore und Feuchtgebiete - die Gefahr der Austrocknung. – In: ESSL, F. & RABITSCH, W. (Hrsg.) Biodiversität und Klimawandel: Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa, S. 172–178; Berlin (Springer).
- EU (2018): Nutria – Management- und Maßnahmenblatt zu VO (EU) Nr. 1143/2014. – Vol. 2021.
- EU (2019): Bisam – Management- und Maßnahmenblatt zu VO (EU) Nr. 1143/2014. – Vol. 2021.
- FALKENBERG, H. (1991): Gesetzliche Grundlagen für Bodenabbau - Genehmigungsverfahren. – TELMA **21**: 199–204.
- FIKUART, W. (1977): Durchfrorener Schwarztorf, seine Position im Torfabbau und seine Verwendung beim Verbraucher in der Bundesrepublik Deutschland. – TELMA **7**: 91–104.
- FRANK, S., CASPERS, G., HÖPER, H. & SCHÄFER, W. (2021): Karte der Flächen mit industriellem Torfabbau in Niedersachsen. – GeoBerichte **38**: 31 S., 11 Abb., 7 Tab.; Hannover (LBEG).
- GODEFROID, S., PIAZZA, C., ROSSI, G., BUORD, S., STEVENS, A.-D., AGURAIUJA, R., COWELL, C., WEEKLEY, C. W., VOGG, G., IRIONDO, J. M., JOHNSON, I., DIXON, B., GORDON, D., MAGNANON, S., VALENTIN, B., BJUREKE, K., KOOPMAN, R., VICENS, M., VIREVAIRE, M. & VANDERBORGHT, T. (2011): How successful are plant species reintroductions? – Biological Conservation **144** (2): 672–682.
- GORHAM, E. & ROCHEFORT, L. (2003): Peatland restoration: A brief assessment with special reference to Sphagnum bogs. – Wetlands Ecology and Management **11**: 109–119.
- GOTTBURG, B. (1998): Erfolgskontrolle im Rahmen von Wiedervernässungsmaßnahmen im Wilden Moor bei Schwabstedt. – Institut für Landschaftsökologie und Wasserwirtschaft, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- GÖTTLICH, K. (1990): Moor- und Torfkunde. – 3., neubearb. Aufl., 529 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- GROSVERNIER, P. & STAUBLI, P. (2009): Regeneration von Hochmooren. Grundlagen und technische Maßnahmen. – Umwelt-Vollzug **0918**, 96 S.; Bern (Bundesamt für Umwelt), <[https://kbnl.ch/wp-content/uploads/2019/02/87\\_1\\_Grosvernier-Staubli-Hrsg.-2009.pdf](https://kbnl.ch/wp-content/uploads/2019/02/87_1_Grosvernier-Staubli-Hrsg.-2009.pdf)>.
- GÜNTHER, A., BARTHELMES, A., HUTH, V., JOOSTEN, H., JURASINSKI, G., KOEBSCH, F. & COUWENBERG, J. (2020): Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions. – Nature communications **11**: 1644.
- GÜNTHER, A., JURASINSKI, G., ALBRECHT, K., GAUDIG, G., KREBS, M. & GLATZEL, S. (2017): Greenhouse gas balance of an establishing Sphagnum culture on a former bog grassland in Germany. – Mires and Peat **20**: 1–16.
- HAAPALEHTO, T. O., VASANDER, H., JAUHAINEN, S., TAHVANAINEN, T. & KOTIAHO, J. S. (2011): The Effects of Peatland Restoration on Water-Table Depth, Elemental Concentrations, and Vegetation: 10 Years of Changes. – Restoration Ecology **19** (5): 587–598.
- HASCH, B., MEIER, R., LUTHARDT, V. & ZEITZ, J. (2007): Renaturierung von Waldmooren in Brandenburg und erste Ergebnisse zum Aufbau eines Entscheidungsunterstützungssystems für das Management von Waldmooren. – TELMA **37**: 165–183.

- HOFER, B. (2007): Digitale Datenerfassung zur Flächenverwaltung von Mooren mit Georadar und Photogrammetrie. – *TELMA* **37**: 77–83.
- HÖLZEL, N., KLEINEBECKER, T., KNORR, K., RAABE, P. & GRAMANN, G. (2019): Leitfaden zur Torfmoosvermehrung für Renaturierungszwecke. – 63 S., Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), <<https://www.dbu.de/phpTemplates/publikationen/pdf/060319030433gc7c.pdf>>.
- HÖPER, H. (2015): Treibhausgasemissionen aus Mooren und Möglichkeiten der Verringerung. – *TELMA Beiheft* **5**: 133–158.
- HUTH, V., BARTEL, A., GÜNTHER, A., HEINZE, S., HOFER, B., JANTZ, N., ROSINSKI, E., RUDOLPH, J., SCHIKORA, H.-B., SÖCHTING, H.-P., ULLRICH, K. JURASINSKI, G. (2019): Feldversuch „OptiMoor“ – Erprobung und Entwicklung der Optimierung von Hochmoorsanierung auf landwirtschaftlich genutzten Standorten. – *TELMA* **49**.
- HUTH, V., GÜNTHER, A., BARTEL, A., GUTEKUNST, C., HEINZE, S., HOFER, B., JACOBS, O., KOEBSCH, F., ROSINSKI, E., TONN, C., ULLRICH, K. & JURASINSKI, G. (2021): The climate benefits of topsoil removal and Sphagnum introduction in raised bog restoration. – *Restoration Ecology* **30** (1).
- HUTH, V., GÜNTHER, A., BARTEL, A., HOFER, B., JACOBS, O., JANTZ, N., MEISTER, M., ROSINSKI, E., URICH, T., WEIL, M., ZAK, D. & JURASINSKI, G. (2020): Topsoil removal reduced in-situ methane emissions in a temperate rewetted bog grassland by a hundredfold. – *Science of The Total Environment* **721**: Art. 137763.
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2014): 2013 supplement to the 2006 guidelines for National Greenhouse gas Inventories: Wetlands. – UNEP, <<https://www.ipcc.ch/publication/2013-supplement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories-wetlands/>>.
- IUCN/SSC (2013): Guidelines for reintroductions and other conservation translocations. Version 1.0. – viii, 57 p., ill., IUCN Species Survival Commission; Gland, Switzerland [ISBN: 978-2-8317-1609-1], <<https://www.iucn.org/content/guidelines-reintroductions-and-other-conservation-translocations>>.
- JOOSTEN, H. (2012): Zustand und Perspektiven der Moore weltweit. – *Natur und Landschaft* **87**: 50–55.
- KAPFER, A., SCHULER, B., SCHALL, B., REISSMÜLLER, B. & WILHELM, P. (2011): Großflächige Wiedervernässung des ehemaligen Durchstömungsmoores „Obere Schnöden“ im Pfrunger-Burgweiler Ried (Baden-Württemberg). – *TELMA* **41**: 223–242.
- KAROFELD, E., JARAŠIUS, L., PRIEDE, A. & SENDŽIKAITĖ, J. (2017): On the after-use and restoration of abandoned extracted peatlands in the Baltic countries. – *Restor. Ecology* **25** (2): 293–300.
- KAROFELD, E., MÜÜR, M. & VELLAK, K. (2016): Factors affecting re-vegetation dynamics of experimentally restored extracted peatland in Estonia. – *Environmental Science and Pollution Research* **23**:13706–13717.
- KARTENSER DES LBEG: NIBIS® Kartenserver im Niedersächsischen Bodeninformationssystem. – <<http://nibis.lbeg.de/cardomap3/>>.
- KETTENRING, K. M. & TARSA, E. E. (2020): Need to Seed? Ecological, Genetic, and Evolutionary Keys to Seed-Based Wetland Restoration. – *Front. Environ. Sci.* **8**: 195.
- KIEHL, K. (2019): Was ist Renaturierungsökologie? – In: KOLLMANN, J., KIRMER, A., TISCHEW, S., HÖLZEL, N. & KIEHL, K. (Hrsg.): *Renaturierungsökologie*, S. 13–22; Berlin (Springer Spektrum).
- KLIMAKOMPETENZNETZWERK NIEDERSACHSEN (2019): Klimawirkungsstudie Niedersachsen. Wissenschaftlicher Hintergrundbericht. – <[https://www.lbeg.niedersachsen.de/download/143866/Klimawirkungsstudie\\_Niedersachsen.pdf](https://www.lbeg.niedersachsen.de/download/143866/Klimawirkungsstudie_Niedersachsen.pdf)>; (MU, LBEG, NLWKN).
- KREMSER, W. (1990): Niedersächsische Forstgeschichte. – 965 S., 60 Abb., Kreisvereinigung für Heimat- und Kulturpflege e.V. (Selbstverlag Heimatbund Rotenburg/Wümme).
- KUNTZE, H. (1983): Probleme bei der modernen landwirtschaftlichen Moornutzung. – *TELMA* **13**: 137–152.
- LABERGE, V., ROCHEFORT, L. & POULIN, M. (2013): Ericaceae stabilize peat and foster Sphagnum majus establishment at pool margins in restored peatlands. – *Aquatic Botany* **111**: 1–8.
- LFU – BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2010): Moorrenaturierung kompakt. Handlungsschlüssel für die Praxis. – Broschüre, 41 S.

- LINDENMAYER, D. (2020): Improving Restoration Programs Through Greater Connection With Ecological Theory and Better Monitoring. – *Frontiers in Ecology and Evolution* **8** (50).
- LINDSAY, R. (2010): Peatbogs and Carbon: a critical synthesis to inform policy development in oceanic peat bog conservation in the context of climate change. – Environmental Research Group, University of East London (Publisher: University of East London and RSPB).
- LK EMSLAND (2009): Verordnung über das Naturschutzgebiet „Leegmoor“ in der Gemeinde Surwold, Samtgemeinde Nordhümmling, Landkreis Emsland. – Amtsbl. LK EL **30/2009** vom 30.12.2009: 356–358.
- MCINERNEY, G. P., O'KELLY, B. C. & JOHNSTON, P. M. (2007): Geotechnical stability of peat dams and embankments. – Proceedings of the Soft Ground Engineering Seminar organised by Engineers Ireland, Portlaoise, Ireland, 15th-16th February, 2007, Section #2.6 (5 pages), <<http://www.tara.tcd.ie/handle/2262/67147>>.
- MEYER, P., LORENZ, K., MÖLDER, A., STEFFENS, R., SCHMIDT, W., KOMPA, T. & WEVELL VON KRÜGER, A. (2015): Naturwälder in Niedersachsen - Schutz und Forschung, Band 2: Bergland. – 396 S., Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Niedersächsische Landesforsten (Hrsg.) [ISBN: 978-3-00050091-6].
- MEYER, P., WEVELL VON KRÜGER, A., STEFFENS, R. & UNKRIG, W. (2006): Naturwälder in Niedersachsen - Schutz und Forschung, Band 1: Tiefland. – 339 S., Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Niedersächsische Landesforsten (Hrsg.).
- MEYER-RAHMEL, S. (2005): Landschaftsökologisch-vegetationskundliche Typisierung oligotroph- und mesotroph-saurer Kleinmoore des niedersächsischen Tieflandes, Band 1. – 670 S.; Mainz, [ISBN 978-3861307501].
- MINLEUL – MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHE ENTWICKLUNG, UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT DES LANDES BRANDENBURG (Hrsg.) (2015): Moorschutz in Brandenburg. – Broschüre.
- ML – NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (1981): Niedersächsisches Moorschutzprogramm, Teil I: Programm der Niedersächsischen Landesregierung zum Schutz der für den Naturschutz wertvollen Hochmoore. – Karte mit Erläut., 37 S., 82 Karten 1 : 25.000; Hannover.
- ML – NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (1986): Niedersächsisches Moorschutzprogramm, Teil II: Programm der Niedersächsischen Landesregierung zum Schutz der für den Naturschutz wertvollen Hochmoore und Kleinsthochmoore. – Karte mit Erläut., 12 S., 3 Anl. mit 29 S., Tab., Register und Listen, 1 Übersichtskarte 1 : 500.000, 4 Karten 1 : 25.000; Hannover.
- MONEY, R. (2004): Optimising conditions for wetland restoration. – In: BLANKENBURG, J. & TONNIS, W. (eds.): Guidelines for wetland restoration of peat cutting areas - Result of the Bridge Project, S. 40–46; Hannover (NLfB).
- MORDHORST, H. (1986): Vegetationskundliche Kartierung und Vorentwurf zur Renaturierung des Wilden Moores bei Schwabstedt im Auftrag des ALW Husum. – 98 S., [Unveröff.].
- MORDHORST-BRETSCHNEIDER, H. (2018): Wasserrückhaltung in degenerierten Hochmooren mit der Torfdichtwand. – *TELMA* **48**: 101–110.
- MU – MINISTERIUM FÜR UMWELT UND KLIMASCHUTZ (2011a): Abbau von Bodenschätzen. Leitfaden zur Zulassung des Abbaus von Bodenschätzen unter besonderer Berücksichtigung naturschutzrechtlicher Anforderungen. – RdErl. d. MU v. 03.01.2011, Nds. MBl. Nr. 3 vom 20.01.2011, S. 41, <[https://www.niedersachsen.de/download/66525/Nds.\\_MBl.\\_Nr.\\_03\\_2011\\_vom\\_20.01.2011\\_S.\\_41-68.pdf](https://www.niedersachsen.de/download/66525/Nds._MBl._Nr._03_2011_vom_20.01.2011_S._41-68.pdf)>.
- MU – MINISTERIUM FÜR UMWELT UND KLIMASCHUTZ (2011b): Abbau von Bodenschätzen. Leitfaden zur Zulassung des Abbaus von Bodenschätzen unter besonderer Berücksichtigung naturschutzrechtlicher Anforderungen, Anlage 3: Technische Hinweise für die Herrichtung von Torfabbauflächen. – Nds. MBl. Nr. 3 vom 20.01.2011, S. 60–61, <[https://www.niedersachsen.de/download/66525/Nds.\\_MBl.\\_Nr.\\_03\\_2011\\_vom\\_20.01.2011\\_S.\\_41-68.pdf](https://www.niedersachsen.de/download/66525/Nds._MBl._Nr._03_2011_vom_20.01.2011_S._41-68.pdf)>.
- MU – NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE UND KLIMASCHUTZ (2016): Programm Niedersächsische Moorlandschaften. Grundlagen, Ziele, Umsetzung. – 72 S., <<https://www.umwelt.niedersachsen.de/start>>

- [seite/themen/moorschutz/niedersaechsi-sche-moorlandschaften-116261.html](#)>.
- NACHTIGALL, S. & GIANI, L. (2022): Almost 40 years after raised bog restoration on black peat: How did nutrient levels in soil and water change? – *Mires and Peat* **28** (03): 17.
- NAGBNATSCHG – NIEDERSÄCHSISCHES AUSFÜHRUNGSGESETZ ZUM BUNDESNATURSCHUTZGESETZ vom 19. Februar 2010, verkündet als Artikel 1 des Gesetzes zur Neuordnung des Naturschutzrechts vom 19. Februar 2010 (Nds. GVBl.: 104), letzte berücksichtigte Änderung: mehrfach geändert; §§ 1a, 2a, 2b, 5, 13a und 25a eingefügt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 11.11.2020 (GVBl.: 451). – <<https://www.nds-voris.de/jportal/?quelle=jlink&query=BNatSchGAG+ND&psml=bsvo-risprod.psml&max=true&aiz=true>>.
- NAZARI GIGLOU, A., NAZARI GIGLOU, T. & MINAEI, A. (2013): Seepage through Earth Dam. – *Life Science Journal* 2013, **10** (2s): 1–4, <[https://www.researchgate.net/publication/290160620\\_Seepage\\_through\\_earth\\_dam](https://www.researchgate.net/publication/290160620_Seepage_through_earth_dam)>.
- NICK, K.-J., LÖPMEIER, F., SCHIFF, H., BLANKENBURG, J., GEBHARDT, H., KNABKE, C., WEBER, H., FRÄMBS, H. & MOSSAKOWSKI, D. (2001): Moorregeneration im Leegmoor/Emsland nach Schwarztorfabbau und Wiedervernäsung: Ergebnisse aus dem E+E-Vorhaben 809 01 001 des Bundesamtes für Naturschutz. – *Angewandte Landschaftsökologie* **38**.
- OPPERMANN, R., CHALWATZIS, D., RÖDER, N. & BAUM, S. (2020): Biodiversität in der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) der EU nach 2020. – 12 S., <<https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-08/Broschuere-Biodiversitaet-in-der-Gemeinsamen-Agrarpolitik-nach-2020.pdf>>, (IFAB, Thünen, BfN).
- POSCHLOD, P., MEINDL, C., SLIVA, J., HERKOMMER, U., JÄGER, M., SCHUKERT, U., SEEMANN, A., ULLMANN, A. & WALLNER, T. (2007): Natural revegetation and restoration of drained and cut-over raised bogs in southern Germany – a comparative analysis of four long-term monitoring studies. – *Global Environmental Research* **11**: 205–216.
- POULIN, M., ROCHEFORT, L., QUINTY, F. & LAVOIE, C. (2005): Spontaneous revegetation of mined peatlands in eastern Canada. – *Canadian Journal of Botany* **83**: 539–557, [<https://doi.org/10.1139/b05-025>].
- POULIOT, R., ROCHEFORT, L., KAROFELD, E. & MERCIER, C. (2011): Initiation of Sphagnum moss hummocks in bogs and the presence of vascular plants: Is there a link? – *Acta Oecologica* **37**: 346–354, <[https://www.gret-perg.ulaval.ca/uploads/tx\\_centrerecherche/Pouliot\\_et\\_al\\_ActaOecologica\\_2011\\_03.pdf](https://www.gret-perg.ulaval.ca/uploads/tx_centrerecherche/Pouliot_et_al_ActaOecologica_2011_03.pdf)>.
- PREISING, E. & WEBER, H. E. (2003): Die Pflanzengesellschaften Niedersachsens - Wälder und Gebüsche. – *Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen* **20** (2).
- QUINTY, F. & ROCHEFORT, L. (2003): Peatland Restoration Guide. – Second Edition, Canadian Sphagnum Peat Moss Association & New Brunswick Department of Natural Resources and Energy (eds.), <[https://www.gret-perg.ulaval.ca/uploads/tx\\_centrerecherche/Peatland\\_Restoration\\_guide\\_2ndEd\\_01.pdf](https://www.gret-perg.ulaval.ca/uploads/tx_centrerecherche/Peatland_Restoration_guide_2ndEd_01.pdf)>, [ISBN 0-9733016-0-0].
- RAABE, P., KLEINEBECKER, T., KNORR, K.-H., HÖLZEL, N. & GRAMANN, G. (2018): Vermehrung und Ansiedlung von Bulttorfmoosen in der Hochmoorrenaturierung - erste Ergebnisse eines Pilotprojekts im Landkreis Vechta (Niedersachsen). – *TELMA* **48**: 71–80.
- RATH, A. & BUCHWALD, R. (2008): Beitrag der Diasporenbank zur Wiederherstellung artenreichen Hochmoor-Grünlandes. – In: J. DENGLER, DOLNIK, C., & TREPEL, M. (Hrsg.): Flora, Vegetation und Naturschutz zwischen Schleswig-Holstein und Südamerika. Festschrift für Klaus Dierßen zum 60. Geburtstag. – *Mitt. Arbeitsgem. Geobot. Schleswig-Holstein* **65**: 167–184; Kiel.
- REGAN, S., FLYNN, R., GILL, L., NAUGHTON, O., & JOHNSTON, P. (2019). Impacts of groundwater drainage on peatland subsidence and its ecological implications on an Atlantic raised bog. – *Water Resources Research* **55**/7: 6153–6168, <[https://pureadmin.qub.ac.uk/ws/files/178652139/Regan\\_et\\_al\\_2019\\_Water\\_Resources\\_Research.pdf](https://pureadmin.qub.ac.uk/ws/files/178652139/Regan_et_al_2019_Water_Resources_Research.pdf)>, [DOI 10.1029/2019WR024937].
- RINGLER, A. & DINGLER, B. (2005): Moorentwicklungskonzept Bayern (MEK) - Moortypen in Bayern. – Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (LfU), Schriftenreihe Heft **180**, 103 S.; Augsburg, [ISBN 3-936385-79-3], <<https://www.lfu.bayern.de/natur/moore/moortypen/index.htm>>.

- ROBROEK, B. J. M., VAN RUIJVEN, J., SCHOUTEN, M. G. C., BREEUWER, A., CRUSHELL, P. H., BERENDSE, F. & LIMPENS, J. (2009): *Sphagnum* re-introduction in degraded peatlands: The effects of aggregation, species identity and water table. – *Basic and Applied Ecology* **10** (8): 697–706.
- ROCHFORT, L. (2000): Sphagnum – A keystone genus in habitat restoration. – *The Bryologist* **103** (3): 503–508.
- RODERFELD, H. (1992): Die ökologische Wertigkeit von Bunkerde in Nordwestdeutschland. – Diss. Universität Göttingen.
- ROSINSKI, E. (2012): Renaturierungspotential von industriell abgetorften Hochmoorflächen in NW-Deutschland. – Masterarbeit am Institut für Landschaftsökologie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster [Unveröff.].
- ROSINSKI, E., BARTEL, A., GÜNTHER, A., HEINZE, S., HOFER, B., JURASINSKI, G., SÖCHTING, H.-P., ULLRICH, K. & HUTH, V. (2021): Wiederherstellung von Hochmoorbiotopen nach intensiver Grünlandnutzung - drei Jahre Vegetationsentwicklung im Feldversuch OptiMoor. – *Natur und Landschaft* **4**.
- ROTHFUCHS, C., WIXWAT, T. & JANSEN, A. (2020): Landschaftsökologische Systemanalyse des Külsenmoores, Landkreis Gifhorn, Land Niedersachsen. – *Niedersächsische Landesforsten, Forstamt Unterlüß*, 43 S., 38 Abb., 4 Tab.
- SCHMATZLER, B. & SCHMATZLER, E. (2010): Moorland. Moorlandschaften in Niedersachsen nach industriellem Torfabbau, Teil 1. – Ratingen (Industrieverband Garten e. V.).
- SCHMATZLER, E. (2015): Moornutzung und Moorschutz in Niedersachsen - Geschichtlicher Rückblick und zukünftige Entwicklung. – *TELMA Beiheft* **5**: 19–38.
- SCHNEEKLOTH, H., JENSEN, U. & BEUG, H.-J. (1983): Die Moore in Niedersachsen. - 8. Bereich der Blätter Kassel und Goslar der geologischen Karte der Bundesrepublik Deutschland (1 : 200.000) mit 1 Übersichtskarte der niedersächsischen Moore (1 : 400.000). – *Schriften der Wirtschaftswissenschaftlichen Gesellschaft zum Studium Niedersachsens, Neue Folge, Reihe A: Forschungen zur Landes- und Volkskunde, I. Natur, Wissenschaft, Siedlung und Planung* **96/8**; Göttingen (Göttinger Tageblatt).
- SCHRAUTZER, J., MARTENS, T., NAGEL, F., VON SCHEFFER, C., GERHARDT, M., KROENINGER, K. & UNKEL, I. (2021): Auswirkungen der Entwässerung auf die Struktur und Funktion des Hörnlepassmoores (Kleinwalsertal, Vorarlberg). – *inatura - Forschung online* **91**: 17 S., <[https://www.inatura.at/forschung-online/ForschOn\\_2021\\_091\\_0001-0017.pdf](https://www.inatura.at/forschung-online/ForschOn_2021_091_0001-0017.pdf)>.
- SLIVA, J. & PFADENHAUER, J. (1999): Restoration of cut-over raised bogs in southern Germany - a comparison of methods. – *Applied Vegetation Science* **2**: 137–148.
- SMOLDERS, A. J. P., TOMASSEN, H. B. M., VAN MULLEKOM, M., LAMERS, L. P. M. & ROELOFS, J. G. M. (2003): Mechanisms involved in the re-establishment of Sphagnum-dominated vegetation in rewetted bog remnants. – *Wetlands Ecology and Management* **11** (6): 403–418.
- SRU – SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN (2015): Stickstoff: Lösungsstrategien für ein drängendes Umweltproblem. Sondergutachten. – 560 S.; Berlin (Hausdruck SRU), <[https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02\\_Sondergutachten/2012\\_2016/2015\\_01\\_SG\\_Stickstoff\\_HD.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2012_2016/2015_01_SG_Stickstoff_HD.pdf?__blob=publicationFile)>.
- SSYMANK, A., ULLRICH, K., VISCHER-LEOPOLD, M., BELTING, S., BERNOTAT, D., BRETSCHEIDER, A., RÜCKRIEM, C. & SCHIEFELBEIN, U. (2015): Handlungsleitfaden „Moorschutz und Natura 2000“ für die Durchführung von Moorrevitalisierungsprojekten. – In: VISCHER-LEOPOLD, M., ELLWANGER, G., SSYMANK, A., ULLRICH, K. & PAULSCH, C. (Hrsg.): *Natura 2000 und Management in Moorengebieten. Naturschutz und Biologische Vielfalt*. – 38 S.; Bonn (Bundesamt für Naturschutz).
- STEGINK-HINDRIKS, L. (1999): Pflege- und Entwicklungsplan für das Naturschutzgebiet „Ahlhorner Fischteiche“ (FFH-Gebiet 012). – 116 S.; Wolfenbüttel (Nds. Forstplanungsamt).
- STREEFKERK, J. G. & CASPARIE, W. A. (1989): *The Hydrology of Bog Ecosystems: Guidelines for Management*. – Report Dutch National Forestry Service, 1989: 1–125; Utrecht, Niederlande.
- STROBL, K., MONING, C. & KOLLMANN, J. (2020): Positive trends in plant, dragonfly, and butterfly diversity of rewetted montane peatlands. – *Restoration Ecology* **28** (4): 796–806.

- SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (2001): *Landchaftsökologische Moorkunde*. – 622 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- THOM, T., HANLON, A., LINDSAY, R., RICHARDS, J., STONEMAN, R. & BROOKS, S. (2019): *Conserving bogs - The Management Handbook*. – 2nd edition, 207 S., IUCN UK Peatland Programme, <<https://www.iucn-uk-peatlandprogramme.org/sites/default/files/header-images/Conserving%20Bogs%20the%20management%20handbook.pdf>>.
- TIEMEYER, B., ALBIAC BORRAZ, E., AUGUSTIN, J., BECHTOLD, M., BEETZ, S., BEYER, C., DRÖSLER, M., EBELI, M., EICKENSCHIEDT, T., FIEDLER, S., FÖRSTER, C., FREIBAUER, A., GIEBELS, M., GLATZEL, S., HEINICHEN, J., HOFFMANN, M., HÖPER, H., JURASINSKI, G., LEIBER-SAUHEITL, K., PEICHL-BRAK, M., ROSSKOPF, N., SOMMER, M. & ZEITZ, J. (2016): High emissions of greenhouse gases from grasslands on peat and other organic soils. – *Global Change Biology* **22** (12): 4134–4149.
- TIEMEYER, B., FREIBAUER, A., BORRAZ, A. E., AUGUSTIN, J., BECHTOLD, M., BEETZ, S., BEYER, C., EBELI, M., EICKENSCHIEDT, T., FIEDLER, S., FÖRSTER, C., GENSIOR, A., GIEBELS, M., GLATZEL, S., HEINICHEN, J., HOFFMANN, M., HÖPER, H., JURASINSKI, G., LAGGNER, A., LEIBER-SAUHEITL, K., PEICHL-BRAK, M. & DRÖSLER, M. (2020): A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. – *Ecological Indicators* **109**: 1–14, <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105838>>.
- TREBER, B. (2013): *Untersuchungen und Vergleichsanalysen zu Vegetation, Boden und Hydrologie im Wilden Moor bei Schwabstedt (Schleswig-Holstein) mit einer Bewertung des Renaturierungsfortschrittes*. – Institut für Geographie, Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg.
- UN ENVIRONMENT PROGRAMME (2021): *United Nations Decade on Ecosystem Restoration 2021–2030*. – <<https://www.decadeonrestoration.org/>>.
- VAN DER MOLEN, P. C., BAAIJENS, G. J., GROOTJANS, A. P. & JANSEN, A. J. M. (2011): *LESA - Landscape Ecological System Analysis*. – 58 S., Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation, NL, <[http://dt.natuurkennis.nl/uploads/OBN\\_LESA\\_international.pdf](http://dt.natuurkennis.nl/uploads/OBN_LESA_international.pdf)>.
- VAN DIJK, G., SMOLDERS, A., DE MARS, H., STRAATHOF, N., FRITZ, C., VAN DER BURG, R. & JANSEN, A. J. M. (2019): *Helling - en doorstroomvenen bij Brunssum*. – In: JANSEN, A. J. M. & GROOTJANS, A. P. (Hrsg.): *Hoogvenen. Landschapsecologie, behoud, beheer, herstel*, S. 322–333, [ISBN 9789056155520].
- VAN DUINEN, G. A., VON ASMUTH, J. R., VAN LOON, A. H., NIJSSEN, M. E., VAN DER SCHAAF, S. & TOMASSEN, H. B. M. (2018): *Duurzaam herstel van hoogveenlandschappen*. – 36 S., OBN-Deskundigenteam Nat zandlandschap; Zeist (KNNV Publishing), OBN/VBNE, Driebergen, <[https://www.natuurkennis.nl/Uploaded\\_files/Publicaties/obnbrochure-hoogveen-def.c4efa8.pdf](https://www.natuurkennis.nl/Uploaded_files/Publicaties/obnbrochure-hoogveen-def.c4efa8.pdf)>.
- VEGELIN, K., SCHULZ, K., OLSTHOORN, G. & WACHLIN, V. (2009): *Erfolgskontrolle Polder Randow-Rustow 2008. Gebietszustand im 9. Jahr der geregelten Wiedervernässung*. – [Unveröff.].
- VON DRACHENFELS, O. (2010): *Überarbeitung der Naturräumlichen Regionen Niedersachsens*. – *Inform. d. Naturschutz Niedersachsen*. 30. Jg. Nr. 4: 249–252, <<https://www.nlwkn.niedersachsen.de/download/54126>>.
- VON DRACHENFELS, O. (2021): *Kartierschlüssel für Biotoptypen in Niedersachsen unter besonderer Berücksichtigung der gesetzlich geschützten Biotope sowie der Lebensraumtypen von Anhang I der FFH-Richtlinie, Stand März 2021*. – *Naturschutz Landschaftspf. Niedersachs.* **A/4**, 336 S., Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) (Hrsg.), <<https://www.nlwkn.niedersachsen.de/kartierschluesel-biotoptypen/kartierschluesel-fuer-biotoptypen-in-niedersachsen-45164.html>>.
- VON POST, L. (1924): *Das genetische System der organogenen Bildungen Schwedens*. – *Comité international de Pédologie IV. Communication* **22**: 287–304.
- WADDINGTON, J. M., LUCCHESI, M. C. & DUVAL, T. P. (2011): *Sphagnum moss moisture retention following the re-vegetation of degraded peatlands*. – *Ecohydrol.* **4** (3): 359–366.
- WIEGLEB, G., KIEHL, K., OTT, K., PIECHOCKI, R., POTTHAST, T. & WIERBINSKI, N. (2013): *Vilmer Thesen zu Renaturierung und Naturschutz*. 12. Sommerakademie vom 8. bis 11. Juli 2012: „Zurück zur Natur? Renaturierung als

Naturschutz“. – *Natur und Landschaft* **88** (5): 220–224.

YOUNG, A., BOYLE, T. & BROWN, T. (1996): The population genetic consequences of habitat fragmentation for plants. – *Trends Ecol. Evol.* **11** (10): 413–8.

ZERBE, S. (2019): *Renaturierung von Ökosystemen im Spannungsfeld von Mensch und Umwelt*. – XXII und 406 S.; Berlin (Springer Spektrum), [ISBN: 978-3-662-58650-1].

## Redaktion

- Dr. Martha Graf  
Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie,  
Referat L 3.2 Landwirtschaft, Bodenmonitoring,  
Stilleweg 2,  
30655 Hannover.
- Dr. Heinrich Höper  
Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie,  
Referat L 3.2 Landwirtschaft, Bodenmonitoring,  
Stilleweg 2,  
30655 Hannover.
- Katharina Hauck-Bramsiepe  
Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie,  
Referat L 3.2 Landwirtschaft, Bodenmonitoring,  
Stilleweg 2,  
30655 Hannover.

## Autorenschaft

- Anna Bartel  
Landkreis Diepholz,  
Niedersachsenstraße 2,  
49356 Diepholz.
- Thomas Beuster  
Ökologische Schutzstation Steinhuder Meer e. V.,  
Hagenburger Straße 16,  
31547 Rehburg-Loccum.
- Prof. Dr. Joachim Blankenburg  
Eichhörnchenweg 4,  
27777 Ganderkesee.
- Angelika Bretschneider  
Planungsbüro Mordhorst-Bretschneider GmbH,  
Kolberger Str. 25,  
24589 Nortorf.
- Holger Brux  
Lerchenstr. 28,  
26123 Oldenburg.
- Peter Germer  
BUND Diepholzer Moorniederung,  
Auf dem Sande 11,  
49419 Wagenfeld-Ströhen.

- Dr. Martha Graf  
Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie,  
Referat L 3.2 Landwirtschaft, Bodenmonitoring,  
Stilleweg 2,  
30655 Hannover.
  
- Amanda Grobe  
Leibniz Universität Hannover,  
Institut für Umweltplanung,  
Herrenhäuser Str. 2,  
30419 Hannover.
  
- Bernd Hofer  
Hofer & Pautz GbR,  
Buchenallee 18,  
48341 Altenberge.
  
- Prof. Dr. Norbert Hölzel  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster,  
Institut für Landschaftsökologie, Ökohydrologie und Stoffkreisläufe,  
Heisenbergstr. 2,  
48149 Münster.
  
- Dr. Heinrich Höper  
Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie,  
Referat L 3.2 Landwirtschaft, Bodenmonitoring,  
Stilleweg 2,  
30655 Hannover.
  
- Dr. Vytas Huth  
Universität Rostock,  
Grassland and Fodder Sciences/Landscape Ecology,  
Justus-von-Liebig-Weg 6,  
18059 Rostock.
  
- Nicole Janinhoff-Verdaat  
Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz,  
Göttinger Chaussee 76,  
30453 Hannover.
  
- Dr. Gerald Jurasinski  
Universität Rostock,  
Landschaftsökologie und Standortkunde,  
Justus-von-Liebig-Weg 6,  
18059 Rostock.
  
- Prof. Dr. Till Kleinebecker  
Justus-Liebig-Universität Gießen,  
Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement,  
Heinrich-Buff-Ring 26–32,  
35392 Gießen.

- Prof. Dr. Klaus Holger Knorr  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster,  
Institut für Landschaftsökologie, Ökohydrologie und Stoffkreisläufe,  
Heisenbergstr. 2,  
48149 Münster.
- Dr. Jan Felix Köbbing  
Klasmann-Deilmann GmbH,  
Georg-Klasmann-Straße 2–10,  
49744 Geeste.
- Dr. Hans-Gerhard Kulp  
Biologische Station Osterholz e. V.,  
Lindenstr. 40,  
27711 Osterholz-Scharmbeck.
- Friedhelm Niemeyer  
BUND Diepholzer Moorniederung,  
Auf dem Sande 11,  
49419 Wagenfeld-Ströhen.
- Peter Raabe  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster,  
Institut für Landschaftsökologie, Ökohydrologie und Stoffkreisläufe,  
Heisenbergstr. 2,  
48149 Münster.
- Eva Rosinski  
Hofer & Pautz GbR,  
Buchenallee 18,  
48341 Altenberge.
- Dr. Wiebke Saathoff  
Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz,  
Göttinger Chaussee 76,  
30453 Hannover.
- Jörg Schneider  
Region Hannover,  
Höltystraße 17,  
30171 Hannover.
- Ludwig Stegink-Hindriks  
Niedersächsische Landesforsten,  
FB-Leitung Innovation und Entwicklung,  
Bienroder Weg 3,  
38106 Braunschweig.

- Tina Wixwat  
Niedersächsische Landesforsten,  
Betriebsleitung, Abteilung Wald und Umwelt,  
Sachgebiet Naturschutz,  
Bienroder Weg 3,  
38106 Braunschweig.
  
- Hermann Wreesmann  
Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz,  
Im Dreieck 12,  
26127 Oldenburg.
  
- Lotta Zoch  
Leibniz Universität Hannover,  
Institut für Umweltplanung,  
Herrenhäuser Str. 2,  
30419 Hannover.

ISSN 1864 – 7529