

18
09

> Regeneration von Hochmooren

Grundlagen und technische Massnahmen



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

18
—
09

> **Regeneration von Hochmooren**

Grundlagen und technische Massnahmen

Rechtlicher Stellenwert dieser Publikation

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BAFU als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert unbestimmte Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfen, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen; andere Lösungen sind aber auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind. Das BAFU veröffentlicht solche Vollzugshilfen (bisher oft auch als Richtlinien, Wegleitungen, Empfehlungen, Handbücher, Praxishilfen u. ä. bezeichnet) in seiner Reihe «Umwelt-Vollzug».

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autoren

Alain Lugon, Yvan Matthey, Sarah Pearson, Ecoconseil SA, La Chaux-de-Fonds
Philippe Grosvernier, LIN'eco, Reconvilier
Peter Staubli, Beck & Staubli, Zug

Zitiervorschlag

Grosvernier Ph. und Staubli P. (Hrsg.) 2009:
Regeneration von Hochmooren. Grundlagen und technische Massnahmen.
Umwelt-Vollzug Nr. 0918.
Bundesamt für Umwelt, Bern. 96 S.

Begleitung BAFU

Carole Gonet, Abteilung Artenmanagement

Externe Begleitung

Andreas Grünig, WSL, Birmensdorf
Thomas Oberson, 2. Forstkreis, Plaffeien (FR)
Xaver Jutz, Pluspunkt, Zürich

Gestaltung

Grafikwerkstatt upart, Bern

Übersetzung

Rolf Geiser, Neuchâtel

Titelfoto

Regenerationsmassnahmen in der Moorlandschaft Rothenthurm
(Foto Beck & Staubli)

Illustrationen

Geneviève Méry, NATURA, Les Reussilles
Cléa Liniger, Dombresson
Margrit von Euw, WSL, Birmensdorf

Bezug

BAFU
Verlagsauslieferung
CH-3003 Bern
Fax +41 (0)31 324 02 16
docu@bafu.admin.ch
www.umwelt-schweiz.ch/uv-0918-d

Bestellnummer:

UV-0918-D

Diese Publikation ist auch in französischer Sprache erhältlich (UV-0918-F).

Download als PDF

www.umwelt-schweiz.ch/uv-0918-d

© BAFU 2009

> Inhalt

Abstracts	5
Vorwort	7
<hr/>	
1	Abklärungen und Methoden
1.1	Grundlagen 9
1.2	Topografie 10
1.3	Boden 11
1.4	Hydrologie 12
<hr/>	
2	Bepflanzung
2.1	Grundlagen 21
2.2	Wahl der Massnahme 22
2.3	Vorbereiten des Geländes und Wiederinstandsetzung 23
2.3.1	Bepflanzung von flachem Gelände 24
2.3.2	Bepflanzung von schwach geneigtem Gelände 29
2.3.3	Befestigung und Bepflanzung von stark geneigtem Gelände 38
<hr/>	
3	Wassereinstau
3.1	Grundlagen 49
3.2	Wahl der Massnahme 50
3.3	Vorbereiten des Geländes und Wiederinstandsetzung 54
3.3.1	Holz- oder Metallplattendämme 56
3.3.2	Einstau eines Grabens mit Holzplatten und Verfüllen mit Torf 64
3.3.3	Einstau eines Grabens mit Holzplatten und Verfüllen mit Sägemehl (Zuger Methode) 69
3.3.4	Einstau eines Grabens mit einem Holzbohlendamm 73
3.3.5	Wasserregulierung über einen Holzkasten 78
3.3.6	Wasserregulierung durch einen Regulierschacht mit Überlauf 86
<hr/>	
Verzeichnisse	
Glossar	92
Bibliografie	95
Abbildungen	96

|

|

> Abstracts

This guide describes the basic knowledge required to plan the restoration or regeneration of a raised bogs. It also describes in detail how to execute restoration measures so as to revegetate bare peat and to dam the water flow. This technical guide is addressed to the authorities responsible for implementing mire protection and to the managers of the sites concerned.

Keywords:

raised bogs, restoration, regeneration, revegetation of bare peat, water retention, filling up of ditches, damming of ditches, groundwater regulation, hydrology

Diese Anleitung beinhaltet einerseits die erforderlichen Grundlagen für die Erarbeitung eines Renaturierungs- oder Regenerationsprojekts in einem Hochmoor. Andererseits beschreibt sie in den Bereichen Bepflanzung nackter Torfflächen und Rückhalt von Wasser umfassend die Umsetzung technischer Massnahmen für die Renaturierung. Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe und richtet sich an Behörden, die mit dem Schutz der Moore betraut sind, sowie an die Gebietsverantwortlichen.

Stichwörter:

Hochmoore, Renaturierung, Regeneration, Bepflanzung von nackten Torfflächen, Wasserrückhalt, Auffüllen von Entwässerungsgräben, Stau von Entwässerungsgräben, Wasserregulierung, Hydrologie

Ce guide présente, d'une part, les données de base nécessaires à l'élaboration d'un projet de restauration ou de régénération dans un haut-marais et, d'autre part, décrit précisément l'exécution de mesures techniques de restauration dans les domaines de la végétalisation de surfaces de tourbe nue et des retenues d'eau. Ce guide technique s'adresse aux autorités chargées de la mise en oeuvre de la protection des marais et aux gestionnaires de sites.

Mots-clés:

hauts-marais, restauration, régénération, végétalisation de tourbe nue, retenues d'eau, comblement de fossés, barrages sur fossés, régulation hydrique, hydrologie

La presente guida riporta da un lato le conoscenze necessarie per elaborare un progetto di rivitalizzazione e di rigenerazione di una torbiera alta. Dall'altro descrive in modo preciso l'esecuzione delle misure tecniche di rivitalizzazione nel settore della piantagione della torba scoperta e delle ritenute d'acqua. La presente pubblicazione è un aiuto all'esecuzione destinato alle autorità preposte all'attuazione della protezione delle torbiere e ai gestori dei siti.

Parole chiave:

torbiere alte, rivitalizzazione, rigenerazione, piantagione della torba scoperta, ritenute d'acqua, ripiena di drenaggio, sbarramento su drenaggio, regolazione del livello d'acqua, idrologia

|

|

> Vorwort

Hochmoore sind lebendige Zeugen der Vergangenheit. Als seltene und empfindliche Lebensräume reagieren sie sehr sensibel auf ökologische Veränderungen. Der inzwischen verbotene Torfabbau, Störungen ihres Wasserhaushalts sowie die Intensivierung der Land- und Forstwirtschaft haben ihre charakteristische Fauna und Flora beeinträchtigt und teilweise gar zum Verschwinden gebracht. Deshalb gelten die Hochmoore heute als die am stärksten bedrohten natürlichen Lebensräume der Schweiz.

Laut Bericht über den Zustand und die Entwicklung der Moore in der Schweiz (BAFU 2007) ist ihre Fläche in den letzten 5 Jahren zwar annähernd erhalten geblieben, aber die Bemühungen in Bezug auf die Qualität und insbesondere die Hydrologie der Moore müssen fortgesetzt beziehungsweise verstärkt werden. Die Entstehung der heutigen Hochmoore hat Tausende von Jahren gedauert. Deshalb sind ihre Erhaltung und ihre Regeneration von vorrangiger Bedeutung. Die Regeneration ist eine wichtige Etappe der langfristigen Pflege von Hochmooren, denn sie ermöglicht die Wiederherstellung der spezifischen ökologischen Voraussetzungen für die Wiederansiedlung und Entwicklung der moortypischen Flora und Fauna.

Die Regeneration von Mooren trägt nicht nur wirksam zur Erhaltung der Biodiversität, sondern auch zum Klimaschutz bei, denn torfige Böden vermögen Kohlenstoff langfristig zu binden. Wird aber ihr Wasserhaushalt gestört oder trocknen sie aus, setzen sie Kohlendioxid frei. Somit ist die Regeneration beeinträchtigter Moore auch ein Beitrag zur Senkung der Treibhausgasemissionen.

Die vorliegende Publikation stellt verschiedene Techniken zur Bepflanzung nackter Torfflächen sowie zur Wiederherstellung eines natürlichen Wasserhaushalts vor, die bei der Regeneration von Mooren zum Einsatz kommen. Planung und Durchführung solcher Eingriffe setzen solide Vorkenntnisse über Moore sowie eine Berücksichtigung vorgelagerter Faktoren voraus, denn nur so lassen sich Situationen im Detail analysieren und die Ziele für jeden einzelnen Sektor des Moores festlegen. Die Publikation versteht sich als Hilfestellung bei der Wahl der geeignetsten Massnahme und erläutert die verschiedenen Parameter, die es namentlich in Bezug auf die Hydrologie zu berücksichtigen gilt. Um die Wirksamkeit der durchgeführten Arbeiten beurteilen und die weitere Entwicklung des Standortes beobachten zu können, ist ein mittelfristiges Kontrollprogramm angezeigt.

Die vorliegende Publikation ist eine ergänzte und aktualisierte Fassung der «Technischen Massnahmen zur Regeneration von Hochmooren», die 1997/1998 vom BUWAL herausgegeben worden sind. Sie dient als technisches und praktisches Hilfsmittel und richtet sich an die für die Pflege von Hochmooren zuständigen Stellen – namentlich an kantonale Naturschutzfachstellen und ihre Beauftragten –, an Umweltbüros sowie an Personen, die die Massnahmen vor Ort durchführen.

Ich hoffe, dass alle Beteiligten hier die Informationen, Denkanstösse und Motivation finden, die für den Erfolg der Regeneration und der langfristigen Erhaltung der Hochmoore erforderlich sind, denn diese sind für unser Land von unschätzbarem Wert.

Bevor eine Baustelle eröffnet wird ...

1 > Abklärungen und Methoden

Klare und realistische Ziele sind die Grundvoraussetzungen, ohne die es bei Massnahmen für die Hochmoorregeneration keinen Erfolg gibt. Unter den zahlreichen Möglichkeiten, die sich den Verantwortlichen theoretisch bieten, muss sich die Wahl der einen oder anderen Massnahme zwingend auf ein Ziel abstützen. Bevor man also eine Baustelle eröffnet, lohnt es sich konsequenterweise, einige Informationen zusammenzutragen, die dazu dienen, die Eingriffe korrekt zu planen und die vorhandenen Mittel wirksam einzusetzen.

Die Regeneration von gestörten Moorbereichen ist ein wesentliches Ziel des Hochmoorschutzes (gemäss Artiekl 4 und 5 der Verordnung über den Schutz der Hoch- und Übergangsmoore von nationaler Bedeutung).

1.1 Grundlagen

Hochmoore sind meist komplexe Gebilde. Obwohl sie grundsätzliche lebensraumspezifische Gemeinsamkeiten aufweisen (Grosvernier, Lugon & Matthey 1998), ist jedes Moor ein Individuum mit eigener Charakteristik. Bei der Planung und Realisierung von Regenerationsprojekten geht es darum, die wesentlichen Parameter zu erfassen. Um ein Projekt nicht unnötig zu verteuern und verzögern, gilt es, die vorhandenen und relevanten Daten zu erhalten. Am Anfang eines Regenerationsvorhabens lohnt es sich deshalb, bestehende Grundlagen und Informationen über das Gebiet und Moorregenerationsvorhaben zusammenzutragen. Dafür stehen mehrere wichtige und nützliche Informationsquellen zur Verfügung (Akkermann 1982; Brooks & Stoneman 1997; BUWAL 1992/2002; Dupieux 1998; Eigner & Schmatzler 1991; Grosvernier, Matthey, Mulhauser 2001; Haab & Jutz 2004; Matthey, Lugon, Grosvernier 1999; Matthey, Lugon, Grosvernier & Grünig 2001; Quinty & Rochefort 2003; Staubli 1997, 2004; Wheeler & Shaw 1995; Wheeler, Shaw, Fojt & Robertson 1995).

1.1.1 Bibliotheken und Archive

Zahlreiche Bibliotheken und Archive besitzen Literatur und sachdienliche Angaben zu Mooren. Das Institut für Wald, Schnee und Landschaft WSL in Birmensdorf (von Euw, Grünig & Fischbacher 1995) besitzt die wohl umfangreichste Bibliothek und ein umfassendes Archiv über die Moore und den Moorschutz in der Schweiz. Diese Literaturdatenbank ist über die Website der WSL zugänglich (siehe S. 96). Das gleiche gilt für die Literaturdatenbank des «Pôle-relais Tourbières» in Frankreich, die über weltweite Referenzen über Moore und ihren Schutz und Pflege verfügt (siehe Kapitel Literatur). Weitere Informationsquellen sind öffentliche oder private Archive (z. B. von Grundeigentümern wie Korporationen, Industriebetriebe etc.), amtliche Dokumente wie Torfabbaukonzessionen, Subventionsabrechnungen, Meliorationsprojekte, Studien, Projekte, Diplomarbeiten oder auch mündliche Quellen.

1.1.2 Hochmoorinventar

Im Auftrag der privaten Stiftung Pro Natura Helvetica inventarisierten drei Fachleute in der Zeit zwischen 1978 und 1984 die Hochmoore der Schweiz. Die durch gezielte Recherche



Abb. 1 Luftbild des Hochmoorgebiets Hudelmoos (TG, SG) von 1932

eruierten Moore wurden besucht, auf der Landeskarte 1:25 000 erfasst und in einem kurzen Text beschrieben. In der Regel wurden sie mit einem Kommentar bezüglich ihrer Gefährdung und im Hinblick auf Schutzmassnahmen versehen. Dieses ausführliche Inventar ist beim Bundesamt für Umwelt BAFU einsehbar. Es bildete die Grundlage für das Bundesinventar der Hochmoore von nationaler Bedeutung, welches im Anhang der Hochmoorverordnung enthalten ist.

1.1.3 Moorhandbuch

Das BAFU hat 1992 das Moorhandbuch (2 Ordner) herausgegeben, das seither periodisch ergänzt und aktualisiert wurde. Es enthält zahlreiche nützliche Hinweise und viel Wissenswertes zum Thema Moore und Moorlandschaften. Der erste Band behandelt fachliche und rechtliche Aspekte, darunter auch die Flora und Fauna, aber auch Methodisches zur Erfolgskontrolle. Der zweite Band enthält Angaben über die Nutzungen, Nutzungskonflikte und deren Lösungen.

1.1.4 Renaturierungsdatenbank

Das Institut für Wald, Schnee und Landschaft betreibt eine über die Website der WSL (siehe Kapitel Literatur) zugängliche Datenbank zum Thema Renaturierung von Mooren. Die für den Moorschutz zuständigen Stellen von Bund und Kantonen sowie legitimierte Fachleute haben Zugang zu einer ausführlichen Version dieser Renaturierungsdatenbank, die einen Überblick über den Stand der Moorrenaturierungsprojekte in der Schweiz und die angewendeten Techniken gibt.

1.1.5 Luftbilder

Das Bundesamt für Landestopografie in Wabern besitzt eine umfangreiche Sammlung von Luftbildern mit hervorragender Qualität. Die ältesten Serien stammen aus den Jahren 1931/32 (Abb. 1). Danach folgen Aufnahmen aus den Jahren 1944/45 sowie aus den 50er-, 60er- und 70er-Jahren. Ab etwa 1980 handelt es sich um Farbfotos, die in einem Abstand von etwa 6 Jahren bis heute aufgenommen wurden. Sie können käuflich erworben werden.

Luftbilder sind in mehrerer Hinsicht sehr nützlich. Aus ihnen lässt sich die Entwicklung der Gebiete rekonstruieren, da die ersten Aufnahmen noch vor der grossen Torfabbauperiode im 2. Weltkrieg stammen. Allerdings wurde auch schon vor 1930 viel Torf abgebaut, vor allem in Siedlungsnähe oder gut erschlossenen Gebieten.

Alte Luftbilder und selbstverständlich auch andere historische Fotos liefern augenfällige und überzeugende Argumente für die Wiederherstellung, da sich Grundeigentümer, Bewirtschafter oder anderweitig mit den Mooren beschäftigte Personen an den früheren Zustand der Gebiete erinnern können, der sich in den vergangenen Jahrzehnten häufig sehr stark verändert hat. Da die Entwicklung oft schleichend verläuft,

gewöhnt man sich an den jeweils aktuellen Zustand. Mit der Auffrischung des früheren Bildes lassen sich Regenerationsprojekte in gewissen Fällen leichter realisieren.

1.1.6 Flora und Fauna

Da Moore aufgrund ihrer Seltenheit und naturkundlichen Bedeutung schon früher oft Gegenstand von wissenschaftlichen Untersuchungen waren und es auch heute noch sind, sind für zahlreiche Gebiete Daten zur Flora und Fauna vorhanden. Darauf abgestützt können Massnahmen geplant und auch die Erfolgs- und Wirkungskontrolle durchgeführt werden, die an die spezifischen Ansprüche der spezialisierten Flora und Fauna angepasst sind. Bedeutende Informationsquellen sind Hochschulen, das Schweizerische Zentrum für die Kartierung der Fauna (SZKF; CSCF) in Neuenburg und kantonale Fachstellen.

1.2 Topografie

Weil Moore vom Wasser geprägte Lebensräume sind und Regenerationsmassnahmen in der Regel mittels Veränderungen in der Oberflächenstruktur in den Wasserhaushalt eingreifen, ist die genaue Kenntnis der Moortopografie eine der wichtigen Grundlagen sowohl für die Beurteilung eines Gebietes wie für die Planung. Da Moorvegetation nicht überstaut werden darf, ist die genaue Kenntnis der Oberfläche und der Folgen, die z. B. Staumassnahmen haben können, eine wichtige Voraussetzung für die Planung und den späteren Erfolg. Die Oberfläche eines Gebietes lässt sich mit verschiedenen Methoden erfassen.

Bei Moorregenerationsprojekten in bewaldeten oder stark verbuschten Mooren ist die Durchforstung oder Entbuschung eine übliche Massnahme, deren Umfang oft schon früh in der Projektierung abgeschätzt werden kann. Daher ist in diesen Fällen prüfenswert, Durchforstungen oder Auslichtungen bereits vor der Vermessung oder vor anderweitigen Datenerhebungen durchzuführen.

1.2.1 Karten, Pläne

Als Erstes gilt es auch hier, bestehende Grundlagen zu verwenden. Sowohl vom Bund, von der Landestopografie wie von Seiten der Kantone existieren heutzutage aufgrund der fortgeschrittenen technischen Möglichkeiten der Fernerkundung und Datenverarbeitung zahlreiche geeignete Planunterlagen. Dazu gehören konventionelle Pläne, besonders aber digitale Geländemodelle, die auch entlegene Gebiete hochauflösend abbilden. Mehrere Kantone stellen auf ihren Websites GIS-Daten zur Verfügung, die von aktuellen Luftbildern über historische Landkarten und naturkundlichen Daten ein breites Feld von nützlichen Informationen abdecken.

Hochmoore sind in der Regel kantonale Schutzgebiete, von denen entsprechende Pläne und Bestimmungen vorliegen, die berücksichtigt werden müssen.

1.2.2 Terrestrische Vermessung

In einfachem, übersichtlichem Gelände kann mit Vorteil mit dem GPS gearbeitet werden. Die Daten, die daraus resultieren, reichen für die Planung aus. In Gebieten mit schlechtem Satellitenempfang kommen die klassische Methode mit dem Tachymeter oder eine der nachfolgend beschriebenen Methoden zum Einsatz.

1.2.3 Stereoskopische Vermessung

Senkrechtaufnahmen aus der Luft, die mit einer möglichst hohen gegenseitigen Überdeckung fotografiert wurden, können stereoskopisch ausgewertet werden. Die Auflösung von ca. 25 cm pro Höhenlinie reicht nicht in jedem Fall für die Feinplanung von Massnahmen aus. Eingeschränkt ist die Methode in bewaldeten oder stark bestockten Flächen.

1.2.4 Laserscan

Seit einigen Jahren steht eine neue Technik für die Terrain- und Oberflächenvermessung mittels Laserscan (LIDAR) zur Verfügung, welche zu verhältnismässig günstigen Konditionen sehr gute Resultate bringt. Eine in einem Flugzeug montierte Vorrichtung sendet Laserstrahlen auf die Erdoberfläche. Aufgrund der unterschiedlichen Reflexion der Strahlen kann die Erdoberfläche mit und ohne Bewuchs mit einer ausreichenden Genauigkeit ermittelt werden. Weiter lassen sich mit den Daten hydrologische und andere Modelle errechnen, die für die Kenntnis der Moorobjekte und die Planung von Massnahmen

von grossem Nutzen sind. Die WSL Birmensdorf kann den Kantonen im Auftrag des BAFU kostenlos (Stand 2008) derartige Modelle zur Verfügung stellen, die aus den LIDAR-Daten der Landestopografie errechnet werden (Abb. 2).

1.3 Boden

Moore sind unter anderem durch Torfböden charakterisiert. Die Kenntnis der ursprünglichen oder der aktuellen Torfmächtigkeit gibt zusammen mit der aktuellen Topografie wichtige Informationen über den Moortyp und die Entstehungsgeschichte des Moores. Daraus lassen sich Folgerungen für die Entwicklungsziele und die Regenerationsmassnahmen herleiten.

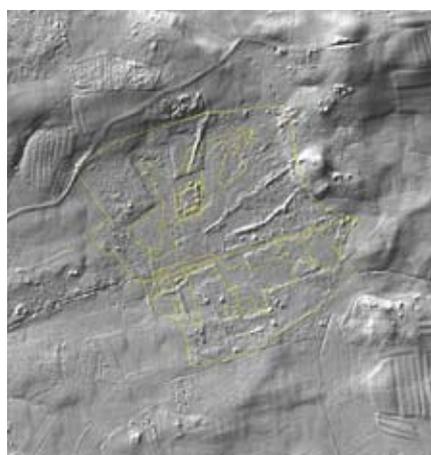
Da der mechanische Aufschluss (z. B. Baggerschlitze) gerade in Mooren problematisch und wegen der gesetzlichen Vorgaben nur in Ausnahmefällen zulässig ist, müssen zerstörungsfreie oder möglichst schonende Methoden zur Anwendung kommen.

1.3.1 Messen der Torfmächtigkeit mit Bohrungen

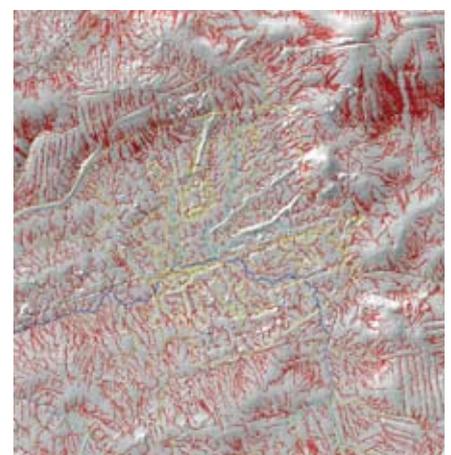
Die klassische Methode zur Ermittlung der Torfmächtigkeit ist die Verwendung eines Bohrstockes oder – bei Mächtigkeiten über einem Meter – eines Handbohrers mit einer maximalen Bohrtiefe von 12 Metern. Die Bohrungen erfolgen bei genau eingemessenen Punkten. Abgeleitet von der bekannten Oberfläche und der vertikalen Ausdehnung des Torfkörpers kann die unsichtbare Oberfläche des mineralischen Untergrundes rekonstruiert werden. Sie lässt sich in Form von Geländeschnitten oder als Torf-Isopachenkarte auf Plänen darstellen.



a) Karte



b) Digitales Geländemodell



c) Hydrologisches Modell

Karte flowaccumulation © WSL 2008

Abb. 2 Auswertung der LIDAR-Daten für das Hochmoorgebiet Hudelmoos (TG, SG)

Landeskarte: pixmaps © 2008 swisstopo (DV033492.2); LIDAR-Modelle: DTM-AV DOM-AV © 2008 Eidg. Vermessungsdirektion (DV033531)

Schwierigkeiten können entstehen und der Arbeitsaufwand zunehmen, wenn der Torf zäh ist (z. B. hoher Anteil an *Eriophorum vaginatum*), wenn der Torf viel Holz enthält oder wenn der Übergang vom Torf in einen weichen mineralischen Boden oder durch eine weiche Sedimentschicht hindurch verläuft. Die Vorteile des Bohrstocks und des Bohrers sind die gewonnenen Bodenproben, die analysiert werden können (Buttler, Grosvernier & Matthey 1998). Die Nachteile sind die punktuelle Störung und, vor allem bei grossen Mooren und solchen mit mächtigen Torfkörpern, der eher grosse Arbeitsaufwand (Abb. 3).

1.3.2 Messen der Torfmächtigkeit mit Georadar

Eine mehrfach bewährte, zerstörungsfreie Methode zur Ermittlung der Torfmächtigkeit ist die Verwendung von Georadar (ground penetrating radar GPR). Das Wirkungsprinzip beruht darauf, dass ein Radarsender mit einer Frequenz zwischen 50 und 1000 MHz über den Moorboden bewegt wird, wobei an genau bekannten Punkten, die entweder eingemessen wurden oder laufend per GPS erfasst werden, ein Radarsignal in den Boden geschickt wird (Abb. 4). Eine Antenne nimmt das reflektierte Signal auf, worauf die Daten prozessiert und in der gewünschten Form dargestellt werden (Abb. 5 und 6).

Mit dieser effizienten geophysikalischen Methode lassen sich auch grössere Flächen mit gutem Resultat und mit einem guten Kosten-Nutzen-Verhältnis bearbeiten. Die Geräte und Vorgehensweise sind vom Anbieter und vom Gelände abhängig (Meier et al. 2002).



Abb. 3 Bohrer (Modell Hiller), mit Mergel und Torf gefüllte Probenkammer

1.4 Hydrologie

1.4.1 Allgemeines

Da der Wasserhaushalt einer der wichtigsten Faktoren eines Moores ist, ist die Kenntnis der Hydrologie eines Moores von entscheidender Bedeutung für die Planung von Regenerationsprojekten (Steiner & Grünig 1999). In einem natürlichen Moorsystem sind die hydrologischen Bedingungen das Resultat aus geologischen, bodenbedingten, topografischen und klimatischen Bedingungen (Grünig & Steiner 1998). In einem beeinträchtigten Moor kommen weitere Faktoren dazu. Dies sind entweder direkte Veränderungen innerhalb des Moores wie Entwässerungen, Veränderung der topografischen Ausgangssituation durch Torfabbau, Aufschüttungen, Bodenschwund etc. oder auch die Ein- und Durchleitung von Drainagen (Grosvernier, Lugon & Matthey 1998). Dazu kommen indirekte Einwirkungen im Einzugsbereich eines Moores, z. B. Veränderungen des Wassereinzugsgebietes oder intensive Nutzungen (Marti, Krüsi, Heeb & Theis 1997).

Je nach Zustand und Entwicklungspotenzial ist die Gewichtung der einzelnen Einflussfaktoren unterschiedlich. Das Hauptaugenmerk soll auf jene Faktoren gerichtet werden, welche mit Massnahmen wesentlich beeinflusst werden können. Auf diese Aspekte soll in diesem Kapitel denn auch näher eingegangen werden. Im Detail betrachtet ist der Wasserhaushalt der Moore oft sehr komplex, und ihn zu verstehen, verlangt verschiedene Abklärungen. Hydrologische Abklärungen sind trotzdem nur ein Aspekt an notwendigen Untersuchungen für ein Hochmoor-Regenerationsprojekt. Der Aufwand zur Kenntnis des Wasserhaushaltes soll in einem ausgewogenen Verhältnis zu den übrigen Abklärungen sein. Erleichternd kommt hinzu, dass die hydrologischen Bedingungen oft direkt gemessen werden können und sollen. Wichtig bleibt die Gesamtschau über ein Moor oder einen Moorkomplex.



Abb. 4 Auf einem Quad montiertes Georadargerät

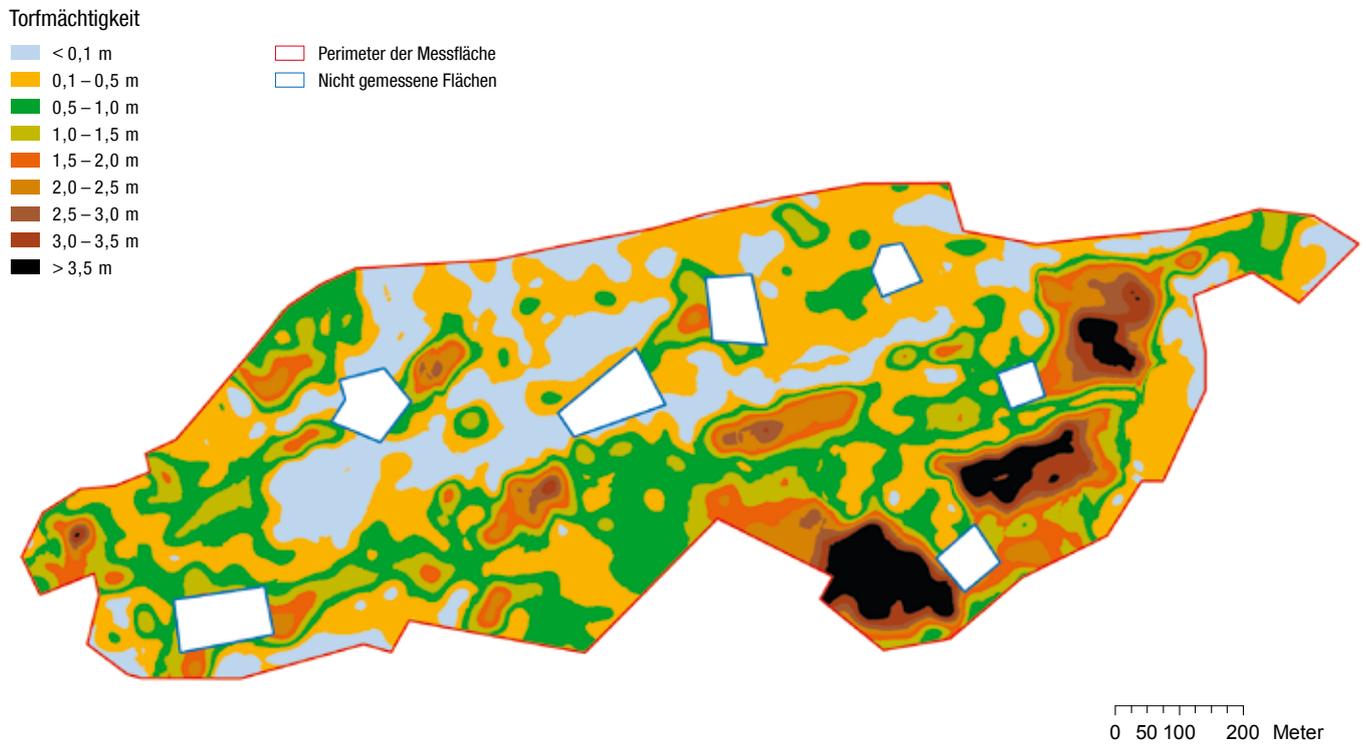


Abb. 5 Isopachenkarte zur Darstellung der mittels Georadar ermittelten Torfmächtigkeit Zug/Walchwil (ZG), Kantonales Naturschutzgebiet Eigenried

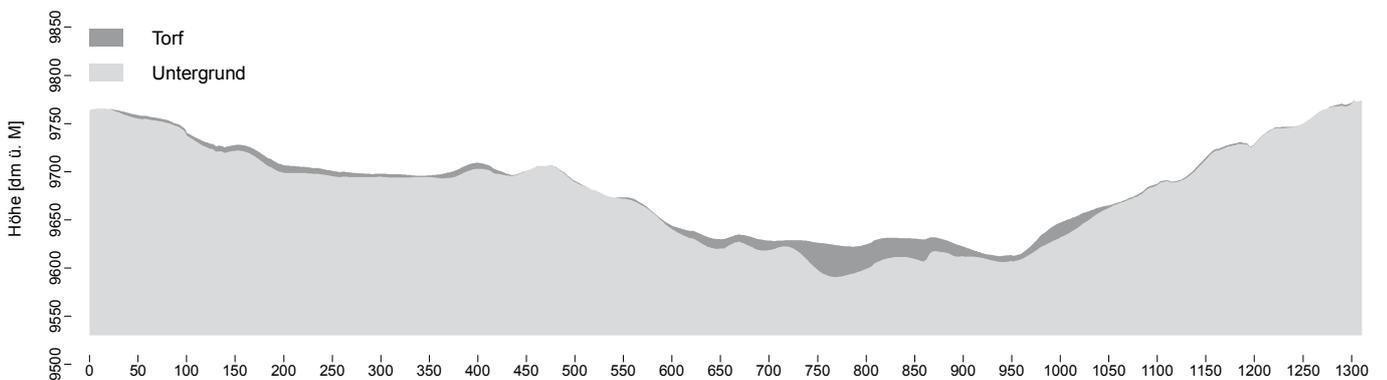


Abb. 6 Profil der mittels Georadar ermittelten Torfmächtigkeit (gleiches Gelände wie in Abb. 5)

1.4.2 Vorgehen bei hydrologischen Abklärungen

Bei hydrologischen Abklärungen soll in der Regel nach folgendem Ablauf vorgegangen werden:

a) Grundlagen zusammenstellen und bei Bedarf ergänzen

Bevor mit den hydrologischen Abklärungen angefangen wird, soll ein Oberflächenmodell beschafft oder erstellt werden, welches wichtige Hinweise für alle weiteren Arbeitsschritte liefert. Eine gute und kostengünstige Grundlage bilden die Oberflächenmodelle und die aus diesen abgeleiteten Modelle, die gestützt auf die LIDAR-Daten des Bundesamtes für Landestopografie errechnet werden können (Kapitel 1.2.4). Wesentlich für die Planung ist auch die Kenntnis der Entwicklungsgeschichte des Moores und somit des hydrologischen Moortyps (Grünig & Steiner 1998).

Eine ausführliche Kartierung der Gräben mit der Angabe der Fliessrichtung bildet eine unentbehrliche Grundlage, nicht nur zur Beurteilung der Wasserzu- und -abflüsse eines Moores, sondern auch zur Bestimmung der möglichen Regenerationseingriffe (Abb. 7). Die Gräben werden vorteilhaft im Spätwinter oder anfangs Frühling bei der Schneeschmelze kartiert. Zu dieser Zeit sind die Gräben auffällig, da fließendes Wasser die Schneeschmelze fördert und somit schwarze Streifen auf der weissen Schneedecke zeichnet. Unauffällige, ganz langsam und oberflächlich fließende Ströme können im Frühling dank der gelben Streifen, die durch die frühe Blüte der Sumpfdotterblume (*Caltha palustris*) in Flachmooren oder sekundären Moore entstehen, sehr leicht erkannt und kartiert werden. Mit Hilfe eines Infrarot-Ortholufbildes ist eine solche Kartierung einfach und rasch durchführbar. Zusammen mit den obenerwähnten LIDAR-Daten bilden diese Grundlagen das wertvollste Instrument für eine sinnvolle Planung von Regenerationsmassnahmen.



Abb. 7 Beispiel einer Karte des oberflächlichen hydrografischen Netzes und der geomorphologischen Formen

b) Messstellenkonzept erarbeiten

Aufgrund der bisherigen Arbeiten wird das Messstellenkonzept erarbeitet. Dabei sind insbesondere das Terrainmodell und die hydrologisch relevanten Eingriffe wie Gräben, Torfstiche etc. von Bedeutung. Wichtig ist, dass mit der Messstellenanordnung Aussagen über die gesamte Moorfläche gemacht werden können und die Messstellen so angelegt sind, dass sie die massgeblichen projekt- und massnahmenspezifischen Fragen klären.

Fragen, die in der Regel für jedes Regenerationsprojekt von Bedeutung sind:

- > Wie sind die durchschnittlichen (witterungsbereinigten), maximalen und minimalen Wasserstände an charakteristischen Stellen eines Moores?
- > Wie stark weichen die durchschnittlichen (witterungsbereinigten) Wasserstände vom Optimum ab?
- > Welche Wirkungsbreite haben Gräben und wie stark wirken sie entwässernd?
- > Wie mineralisch ist das Wasser?
- > Woher stammt das Wasser (Niederschläge, aus dem Moor oder aus der mehr oder weniger genutzten Umgebung)?
- > Wie stetig sind Zu- und Abflüsse aus den Gebieten?

c) Hydrologische Messstellen einrichten und Messungen vornehmen

Die Pegel einrichten und regelmässig ablesen. Manuelle Pegel sollten zwischen April und Oktober mindestens alle zwei Wochen, besser häufiger abgelesen werden. In den restlichen Monaten genügt ein Rhythmus von 2 bis 4 Wochen. Auf die verschiedenen Messeinrichtungen wird weiter unten detailliert eingegangen.

d) Erfolgskontrolle frühzeitig berücksichtigen

Bereits bei der Erarbeitung des Messstellenkonzeptes sollen erste Überlegungen zur Erfolgskontrolle angestellt werden (Haab & Jutz 2003). Messpegel sollen z. B. dort gesetzt werden, wo:

- > momentan suboptimale Bedingungen herrschen, die mit der Regeneration verbessert werden sollen;
- > bereits optimale Bedingungen gegeben sind, die durch Massnahmen nicht verändert werden sollen.

1.4.3 Hydrologische Messungen

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Messwerte und die gebräuchlichsten Messvorrichtungen mit ihren Vor- und Nachteilen sowie ihren Kosten vorgestellt. Die Messeinrichtungen dienen in erster Linie der manuellen oder automatischen Messung der ökologischen Faktoren Wasserstand und Wasserfluss. Sie können und sollen aber auch zur Messung der chemischen Faktoren herangezogen werden. Die Wahl der Messeinrichtung ist stets abhängig von den zu beantwortenden Fragen. In der Praxis hat sich eine Kombination eines

Dauerkurven des Grundwasserspiegels

Die Kurve wird berechnet als Funktion der kumulierten Anzahl von Tagen, an denen der Grundwasserstand über einem bestimmten Wert lag. Man beginnt bei den Werten, die am nächsten an der Oberfläche liegen, und geht weiter in die Tiefe. Die Gestalt der Kurve gibt Auskunft über die hydrologischen Verhältnisse des Standortes. Man kann Höhen des Grundwasserspiegels definieren, welche zu 25 %, 50 % oder 75 % der Zeit erreicht werden. Die durchschnittliche Tiefe entspricht in der Regel ziemlich genau dem Wert, der bei 50 % der Zeit beobachtet wird.

Drei Kurventypen dienen als Grundlage für die Interpretation der Daten:

- 25 %
- 50 %
- 75 %

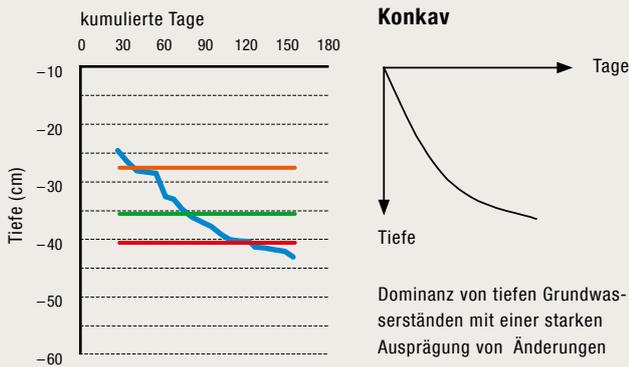


Abb. 9 Typische Kurve in einem Moorrandwald mit einer natürlichen Entwässerung

Diese Kurven erlauben es, den Verlauf des Grundwasserspiegels an verschiedenen Stellen oder in Bezug auf eine oder zwei Messstellen im Zentrum des Hochmoores zu vergleichen. Man muss sich trotzdem in Erinnerung rufen, dass diese Unterschiede stark von niederschlagsreichen oder niederschlagsarmen Jahren geprägt sind. Zudem können die Unterschiede zwischen den Stationen gerade in nassen Jahren in einem drainierten Moor den falschen Eindruck erwecken, dass das Moor einen intakten Wasserhaushalt aufweist!

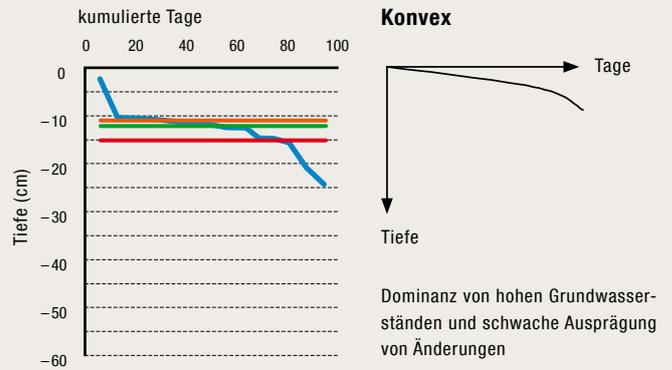


Abb. 8 Typische Kurve in einem Hochmoor, Torfmoosrasen

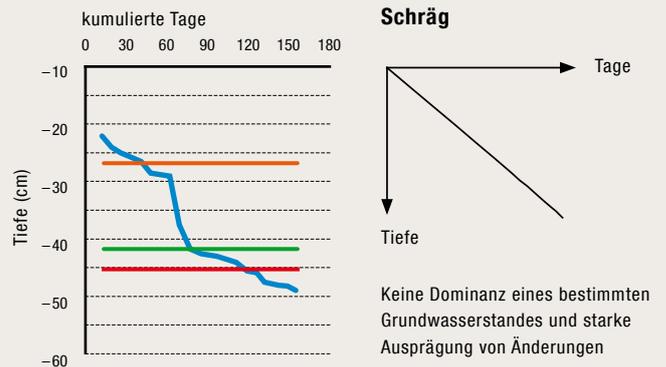


Abb. 10 Typische Kurve eines durch künstliche Gräben entwässerten Standortes

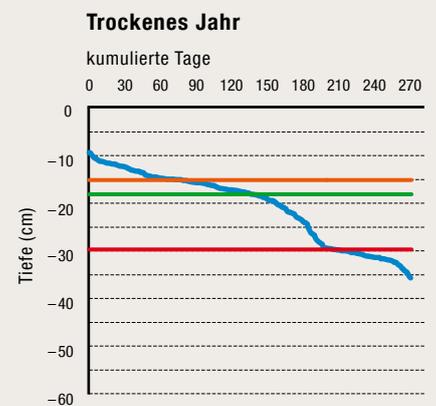
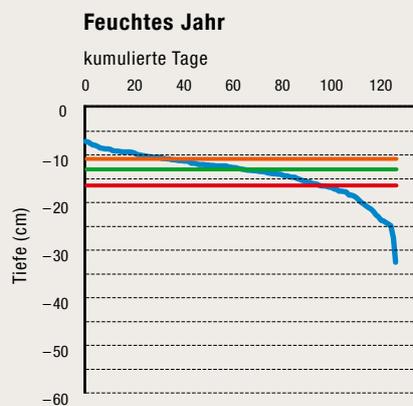


Abb. 11 Vergleich der Kurven derselben Messstelle für ein feuchtes und ein trockenes Jahr

Netzes von Wasserstandsmessrohren mit einer kleineren Anzahl von Wasserfluss-Beobachtungsstellen in den wichtigsten Gräben und mit einzelnen automatischen Druckmesspegeln bewährt (Haab & Jutz 2003).

Es ist zu beachten, dass für einzelne Fragestellungen verlässliche und einigermaßen rasche und effiziente Antworten nur mit automatisch registrierenden Drucksonden beigebracht werden können.

Wasserstand

Für die Hochmoorvegetation bildet die Wasserspiegelhöhe im Boden der allerwichtigste Faktor. Quantitative Messungen sind einfach und liefern sehr wichtige Daten für die Hydrologie eines Moores.

a) Messwerte

Der Mittelwert der Wasserspiegelhöhe liefert die meisten Informationen. Mit ein- bis zweiwöchentlichen Messungen bekommt man eine gute Abschätzung des Mittelwertes und der Maximal- und Minimalwerte (wenn man von April bis Oktober misst). Mit den gleichen Daten kann man eine sogenannte Dauerkurve (Yerly 1970) erstellen, die gut mit verschiedenen Standorten vergleichbar, sehr informativ und einfach zu interpretieren ist (Abb. 8 bis 11).

b) Messeinrichtungen

Wasserstandsmessrohre sind einfach in der Herstellung und im Einsatz. In Hochmooren genügen i. d. R. Rohre mit einer Länge von maximal 150 cm. Ein an beiden Enden offenes Kunststoffrohr von 3 cm Durchmesser wird ca. alle 10 cm kreuzweise gelocht und mit Ausnahme der obersten 30 cm

mit einem Filtervlies ummantelt. Das Rohr wird in ein vorgebohrtes Loch eingeführt, so dass es noch 10 bis 20 cm über die Bodenoberfläche ragt. Das Rohr muss fest im Boden sitzen. Im Torfboden lässt sich das Rohr leicht einbringen. Hingegen kann das Vorbohren in den mineralischen Untergrund aufwändig sein. Die Oberkante und die Bodenoberfläche werden in der Lage und in der Höhe eingemessen. Weil der Torf mit der schwankenden Feuchtigkeit des Bodens «aufbläst» bzw. schrumpft, wird das Rohr allmählich im Boden heruntergezogen. Deshalb empfiehlt es sich, bei jeder Messung auch die Distanz von der Oberkante des Rohres bis zur Bodenoberfläche zu messen, da die Tiefe des Wasserstandes gegenüber der Bodenoberfläche der zu messende Parameter ist.

Der Wasserstand kann mittels eines Blasrohres einfach ermittelt werden, wenn beim langsamen Absenken des Blasrohres und bei gleichzeitigem Hineinblasen Blubbergeräusche hörbar werden. Durch die Skalierung am Blasrohr kann der Wasserspiegel relativ zur Rohroberkante abgelesen werden (Tab. 1).

Minimum-Maximum-Recorder (Walrag, nach Bragg et al. 1994): Er ermöglicht die Messung des aktuellen Wasserstandes sowie des Minimums und Maximums über eine definierte Zeitspanne.

Der Minimum-Maximum-Recorder ist ein speziell ausgerüstetes Wasserstandsmessrohr, das etwa einen Meter über die Bodenoberfläche hinausragt. Es funktioniert so, dass ein Schwimmer zwei Magnete, die an einer oberhalb der Bodenoberfläche stehenden Metallstange haften, jeweils nach oben bzw. nach unten schiebt. Der Minimum-Maximum-Recorder hat den Nachteil, dass er in der Herstellung und im Betrieb eher aufwändig ist. Sein Einsatz lohnt sich in Gebieten, die nicht abgelegen und gut zugänglich sind. Die periodischen Be-

Tab. 1 Wasserstandmessrohr

Herstellung	einfach, ca. Fr. 30.–
Installation	pro Rohr ca. 5–20 Min.; Fr. 10–30.–
Betrieb	Ablesen alle 1–4 Wochen, je nach Jahreszeit
Datenmenge	klein
Vorteile	geringer Materialaufwand, geringe Kosten
Nachteile	geringe Datenmenge
Bemerkungen	Häufige Begehungen zum Ablesen nötig. Dies erhöht zwar die Kosten, bringt aber zusätzliche Erkenntnisse.

Tab. 2 Minimum-Maximum-Recorder

Herstellung	einzig bekannte Bezugsmöglichkeit: WSL Birmensdorf. Ca. Fr. 150.–
Installation	ca. 0,5 Std.
Betrieb	Alle 1–4 Wochen ablesen mit Besuch
Datenmenge	klein
Vorteile	Wasserstand und Schwankungsbereich
Nachteile	häufige Begehungen notwendig
Bemerkungen	Häufige Begehungen zum Ablesen nötig. Dies erhöht zwar die Kosten, bringt aber zusätzliche Erkenntnisse.

suche bringen aber erfahrungsgemäss zusätzliche und wertvolle Kenntnisse über ein Untersuchungsgebiet (Tab. 2).

Automatischer Druckmesspegel: Mit einem automatischen Druckmesspegel wird der Wasserstand gemessen. Der hohe Preis erlaubt seinen Einsatz in der Regel aber nur ausnahmsweise. Die lückenlose Datenaufzeichnung und die Minimierung der Präsenz im Gebiet sind aber die grossen Vorteile.

Das Setzen des Kunststoffrohres ist analog wie beim Wasserstandsmessrohr beschrieben. In das Rohr wird zusätzlich ein Druckmesspegel eingeführt, der den Wasserspiegel indirekt über die Messung des Druckes, den die Wassersäule erzeugt, misst. Die Messfrequenz kann eingestellt werden, das geringste Zeitintervall zwischen zwei Messungen beträgt eine Sekunde. Die gemessenen Daten werden im Gerät gespeichert und können in beliebigen Abständen direkt auf einen Computer ausgelesen werden (Tab. 3).

c) Messrhythmus

Bei manuellen Messungen sind in der Zeit von April bis Oktober Messungen mindestens alle 2 Wochen, in der übrigen Zeit mindestens alle 4 Wochen vorzunehmen. Da sie keinen zusätzlichen Zeitaufwand verursachen, können Automatische Messungen viel häufiger durchgeführt werden, so in der Regel alle 1 bis zwei Stunden. Sie bringen somit für einen gewissen Standort präzise Messungen, die als Referenz im Vergleich zu anderen Standorten dienen können.

Tab. 3 Automatischer Druckmesspegel

Herstellung	Verschiedene Produkte sind im Angebot. Zur Installation ist zusätzliches Material notwendig. Ca. Fr. 1100.– für neues Gerät; Miete ca. Fr. 400.– pro Jahr. Materialkosten ca. Fr. 200.–
Installation	einfach; ca. 1–1,5 Std.; Fr. 100–200.–
Betrieb	Daten alle paar Monate ablesbar mit einem Computer. Geringer Aufwand
Datenmenge	sehr gross, lückenlos
Vorteile	grosse, lückenlose und digital gespeicherte Datenmenge
Nachteile	Kosten
Bemerkungen	Für die Kombination mit Wasserstandsrohren, Wasserfluss-Beobachtungsstellen, Temperatur- und Leitfähigkeitsmessung geeignet. Aufpreis Temperaturmessung: Fr. 150.–; elektrische Leitfähigkeit Fr. 1500.–

Wasserfluss

Qualitative Messungen der Wasserzu- und -abflüsse, vor allem zur Kenntnis des Versiegens von Wasserflüssen im Sommer sowie der Bedeutung von einzelnen Gräben, sind einfach und liefern Daten zur Nachhaltigkeit der Versorgung mit Wasser bzw. des Wasserabflusses aus dem Moor.

a) Messwerte

Wasserfliessrichtung: Für die Kenntnis des Wasserhaushaltes eines Moores ist es wichtig, über die wichtigsten Zu- und Abflüsse mindestens qualitativ Bescheid zu wissen. Die Wasserfliessrichtung lässt sich in erster Linie an Wasserfluss-Beobachtungsstellen erfassen.

Wassermenge: Für die Durchführung von quantitativen Wassermessungen ist der Einbau normierter Überlaufwehre notwendig, die in Gräben mit zu- oder abfliessendem Wasser installiert werden. Zusammen mit den Daten eines Druckmesspegels lässt sich die in das Gebiet fliessende oder daraus abfliessende Wassermenge mit grosser Zuverlässigkeit bestimmen.

b) Messeinrichtungen

Wasserfluss-Beobachtungsstellen werden in den wichtigsten Gräben mit zu- bzw. abfliessendem Wasser eingerichtet, indem Pflöcke mit Zentimeter-Skalierung in die Gräben gesetzt werden. Bei jedem Rundgang sollen die Wasserfliessrichtung, der Wasserstand und die Wasserfliessgeschwindigkeit in cm/s mittels einer Schätzung ermittelt werden. Ein automatischer Druckmesspegel kann auch bei einer Wasserfluss-Beobachtungsstelle verwendet werden. In Gebieten, in

Tab. 4 Wasserfluss-Beobachtungsstelle

Herstellung	Einfach. Kann selbst hergestellt werden (Holzpflöck mit cm-Skalierung; Messband). Ca. Fr. 20.–
Installation	Sehr einfach. Ca. Fr. 20.–
Betrieb	Alle 1–4 Wochen ablesen
Datenmenge	klein
Vorteile	Geringer Materialaufwand, geringe Kosten. Bewährte und i. d. R. sinnvolle Methode
Nachteile	geringe Datenmenge
Bemerkungen	Häufige Begehungen zum Ablesen nötig. Dies erhöht zwar die Kosten, bringt aber zusätzliche Erkenntnisse.

denen die Versorgung mit Wasser ungenügend erscheint, können damit wichtige Daten erfasst werden.

Wasserfluss-Beobachtungsstellen sind in der Herstellung einfach (Tab. 4).

Normiertes Überlaufwehr: Das Wehr muss in die Grabensohle und gegen die Seiten sehr gut eingebunden sein (Abb. 12), damit es nicht umflossen wird. Im Fall der abgebildeten Messstelle konnte ein rechteckiges Holzkastenprofil verwendet werden. Der den Wasserspiegel aufzeichnende Druckmesspegel muss millimetergenau eingestellt sein, da sich Messfehler auf die ermittelte Wassermenge auswirken.

Zur Messung von Wasserflüssen ist auch der Einsatz von Wasserzählern möglich (z. B. Flügelradwasserzähler). Hierbei ist allerdings zu bemerken, dass solche Messgeräte für homogene Strömungsverhältnisse, wie sie in Rohren herrschen, konzipiert sind und im Feld kaum verwendet werden können, da die angestrebte Quantifizierung der Messung in der Regel kaum möglich ist (Tab. 5).

c) Messrhythmus

Bei manuellen Messungen sind in der Zeit von April bis Oktober Messungen mindestens alle 2 Wochen, in der übrigen Zeit mindestens alle 4 Wochen vorzunehmen. Automatische Messungen sollen halbstündlich erfolgen. Quantitative Messungen sind zwar erwünscht, aus Kostengründen aber nur in Einzelfällen möglich.

Wasserqualität

a) Messwerte

Die elektrische Leitfähigkeit ist sehr einfach messbar. Messungen ergeben in kurzer Zeit ein gutes Bild der Mineralstoffsituation (v. a. Calcium) eines Moores, was insbesondere bei Hochmoor-Regenerationen sehr wichtig ist. Bei sauren Verhältnissen müssen die Messwerte allerdings noch nach dem pH-Wert des Wassers korrigiert werden (Sjörs 1950), weil in solchen Fällen H_3O^+ -Ionen die elektrische Leitfähigkeit beeinflussen. Die regelmässige Messung der elektrischen Leitfähigkeit liefert zudem gute Anhaltspunkte über die Herkunft und Qualität des Wassers.

Der pH-Wert ist auch wichtig. Er korreliert allerdings gut mit der deutlich einfacher messbaren elektrischen Leitfähigkeit. Daher kann auf pH-Messungen meist verzichtet werden.

Je nach Situation ist es aber zusätzlich erforderlich, Nährstoffmessungen vorzunehmen (Stickstoff, Phosphor, Kalium). Quantitative Messungen sind methodisch schwierig und aufwändig. Daher sollen sie durch spezialisierte Labors durchgeführt werden. Für Stickstoffmessungen gibt es einfache Messungen (qualitativ/semiquantitativ), die einen Anhaltspunkt zur Stickstoffsituation geben. Allerdings erfordern sie mehrere Messungen am gleichen Ort.

b) Messeinrichtungen

Die Messungen der elektrischen Leitfähigkeit und des pH-Wertes können im Wasser sowohl eines Wasserstandsmessrohres oder eines Minimum-Maximum-Recorders (Walrag) als auch einer Wasserfluss-Beobachtungsstelle oder eines normierten Überlaufwehrs vorgenommen werden. Es ist auch

Tab. 5 Normiertes Überlaufwehr

Herstellung	Aufwändig. Normierte Überläufe können gekauft werden. Grösse muss den Gegebenheiten angepasst werden. Mindestens einige Hundert Franken
Installation	Sehr aufwändig. Mindestens Fr. 500.– bis mehrere Tausend Franken
Betrieb	mindestens monatliche Kontrolle
Datenmenge	sehr gross
Vorteile	exakte Daten zum Wasserhaushalt
Nachteile	relativ hohe Kosten
Bemerkungen	in Spezialfällen, wo der Gesamtwasserhaushalt wichtig ist



Abb. 12 Normiertes Überlaufwehr

möglich, mittels einer Pumpe Wasserproben zu entnehmen, falls solche z. B. für Nährstoffmessungen benötigt werden. Allerdings muss darauf geachtet werden, dass es in abgestandenem Wasser in fest installierten Rohren aus verschiedenen Gründen zu punktuellen Veränderungen der chemischen Eigenschaften kommen kann. Dazu wird das Wasser am Tag davor restlos aus dem Rohr gepumpt, damit am nächsten Tag frisch zugeflossenes Wasser gemessen werden kann.

Wenn das Rohr bis in den mineralischen Untergrund reicht, ist bei der Messung der elektrischen Leitfähigkeit Vorsicht geboten, denn durch das Lösen mineralischer Stoffe kann das Messresultat verfälscht werden. In einem solchen Fall kann ein kürzeres oder ein separates Rohr verwendet werden.

Nackte Torfflächen

2 > Bepflanzung

Der Torfabbau oder die Bodenbearbeitung im Hinblick auf einen Torfabbau haben manchmal mehr oder weniger ausgedehnte Flächen aus nacktem Torf zurückgelassen. Ohne aktive Massnahmen zur Wiederherstellung von günstigen Wuchsbedingungen für die Pflanzen können derartige Flächen während mehrerer Jahrzehnte vegetationsfrei bleiben. Bepflanzungsmassnahmen, welche von einer Wiederherstellung der Topografie zum besseren Wasserrückhalt und zur Verhinderung der Erosion begleitet sind, erlauben einen raschen Wiederbewuchs.

2.1 Grundlagen

Dieses Kapitel beschreibt die Bepflanzung und stellt ihre verschiedenen Anwendungsgebiete in den Hochmooren vor.

Definition

Das Ziel einer Bepflanzung ist die Regeneration von Bereichen, deren Vegetationsdecke beschädigt oder vollständig zerstört wurde (Abb. 13). Viele Hochmoore wurden zu Heizzwecken und für den Gartenbau abgetorft. Die typischen Hochmoorarten (insbesondere Torfmoose, *Sphagnum sp.*) können auf solchen häufig unbeschatteten und teilweise ausgetrockneten Flächen nicht mehr Fuss fassen. Deshalb soll durch Wiederherstellung günstiger mikroklimatischer Voraussetzungen ihr Wiederansiedeln gefördert werden.

Eine Möglichkeit ist, Bodendecker auszubringen, welche das Mikroklima auf Bodenniveau verändern. Da das Scheidige Wollgras (*Eriophorum vaginatum*) solche Fähig-

keiten besitzt, werden zu diesem Zweck Pflanzen aus ungestörten Flächen der Umgebung ausgegraben und verpflanzt. Durch die Bildung von Horsten bedeckt diese Art manchmal bis zu 1 m². Unter ihrem üppigen Blattwerk schaffen diese ein schattenspendendes, feuchtes Kleinklima (nächtliche Kondensation), in dem sich die Torfmoose vor dem Austrocknen geschützt am Fuss der Horste entwickeln und langsam auf die nackte Fläche ausdehnen können.

Auch andere Arten können zur Bepflanzung verwendet werden (Schmalblättriges Wollgras, *Eriophorum angustifolium*; Moorbeere, *Vaccinium uliginosum*). Diese stabilisieren und strukturieren den Standort, ohne jedoch das Mikroklima auf Bodenniveau entscheidend zu beeinflussen.

Anwendung

Die Methode der Bepflanzung wird auf allen teilweise oder vollständig vegetationslosen Torfflächen angewandt, auf denen sich die Torfmoose nur schwer wieder ansiedeln. Das



Abb. 13 Nackte Torffläche, die über 20 Jahre lang sich selbst überlassen und im Hinblick auf eine Bepflanzung wieder vernässt wurde, Eggwil (BE), Kantonales Naturschutzgebiet Steinmösli

Ebene Oberfläche (Neigung < 1 %)

beschränkter Wasserabfluss, schwache Erosion, vorhergehende Gestaltungsmassnahmen sind nicht erforderlich → Kapitel 2.3.1

Schwach geneigte Oberfläche (zwischen 1 und 2 %)

Wasseraufstau mittels Wällen und Terrassen ist notwendig, um erhöhte Feuchtigkeit zu erhalten → Kapitel 2.3.2.

Stark geneigte Oberfläche (zwischen 2 und 6 %)

Zur Verminderung von Erosion und der Gefahr von Erdrutschen muss das Gelände durch den Bau von eng aufeinanderfolgenden Wällen stabilisiert werden → Kapitel 2.3.3.

Geländeneigung über 6 %

keine zuverlässige Bepflanzungstechnik verfügbar

betrifft sowohl ausgedehnte abgetorfte Flächen wie auch Flächen mit Trittschäden von einigen Quadratmetern (zum Beispiel Wege).

Auf stark ausgetrockneten Flächen jedoch ist der Erfolg einer Bepflanzung nicht gewährleistet. Im Gegenteil: Eine spontane Wiederbesiedlung durch Torfmoose bedingt sehr feuchte Verhältnisse. Völlig durchnässte Torfflächen bieten folglich dazu günstige Voraussetzungen.

Häufig haben aber tief liegende oder oberflächliche Drä-nagen die Grundwasserdynamik erheblich gestört und das Hochmoor durch Ableitung des Oberflächenwassers in die Randbereiche ausgetrocknet. Deshalb ist als erster Schritt vor der Bepflanzung der Grundwasserspiegel anzuheben. Bei geneigtem Gelände ist diese Vorstufe sogar noch wichtiger, denn dort tendieren die Abflüsse dazu, das Gelände auf natürliche Weise auszutrocknen. Im Kapitel 3 werden einige solcher Techniken beschrieben.

Bei geneigten Flächen, wo der Boden aufgrund von Wasserabflüssen austrocknen und erodieren kann, muss das Gelände vor der Bepflanzung durch Gestaltungsmassnahmen stabilisiert werden (dieser Fall wird in den Kapiteln 2.3.2 und 2.3.3 behandelt).

2.2 Wahl der Massnahme

Dieses Kapitel soll den Verantwortlichen ermöglichen, eine Massnahme auszuwählen, welche den morphologischen Eigenheiten des zu bepflanzenden Geländes am besten entspricht.

Wahl der Bepflanzungsart

Ob vor Beginn der Bepflanzungsarbeiten Gestaltungsmassnahmen nötig sind, hängt von der Neigung der zu regenerierenden Fläche ab. Bei schwach geneigtem Gelände (1 bis 2 %) muss das Wasser mittels Torfwällen aufgestaut werden, damit eine erhöhte Bodenfeuchtigkeit gewährleistet ist. Auf stärker geneigtem Gelände (> 2 %) soll in erster Linie die Erosion gebremst werden; dies geschieht durch Gestaltungsmassnahmen und das Fördern einer natürlichen Wiederansiedlung der Vegetation.

Der oben aufgeführte Schlüssel (siehe Kasten) soll als Orientierungshilfe dienen, damit jene Massnahme ausgewählt werden kann, die der Neigung des Geländes am besten entspricht.

Jedes Hochmoor ist ein komplexes System, das meistens eine Kombination der drei im Schlüssel beschriebenen Situationen darstellt. Vor allem in den Voralpen begegnen wir gelegentlich Hochmooren, welche ein wahres Mosaik von Terrassen und geneigten Flächen sind. Deshalb ist es wichtig, die verschiedenen Bedingungen genau zu beurteilen, um den Schlüssel entsprechend einsetzen zu können.



Abb.14 Trittschäden

2.3 Vorbereiten des Geländes und Wiederinstandsetzung

Bei allen hier erwähnten Bepflanzungsmethoden (Kapitel 2.3.1 bis 2.3.3) sind bei der Vorbereitung des Geländes bestimmte Vorsichtsmassnahmen zu treffen, um die Beeinträchtigungen durch die Arbeiten in Grenzen zu halten. Der Wiederinstandsetzung der Stellen, wo die Pflanzen entnommen wurden, ist grosse Aufmerksamkeit zu schenken.

Vorbereiten des Geländes

Die Arbeiten auf nackten Torfflächen haben unweigerlich Trittschäden zur Folge. Diese entstehen einerseits auf der zu bepflanzenden Fläche und andererseits auf den angrenzenden Flächen bei der Entnahme und beim Transport von Pflanzen oder Samen. Trittbelastung gibt aber den Startschuss zur Torferosion und trägt so zum raschen Verschwinden des Torfmoosteppichs bei. Auf nackten Flächen bewirkt Trittbelastung Torfverdichtungen (Abb. 14).

Folgende Punkte sollten in der Planungs- und Ausführungsphase berücksichtigt werden:

A. Beim Betreten des Geländes:

- > Die Zugangswege zur Baustelle und zur Entnahmestelle sind vorher festzulegen.
- > Wenn möglich sind Zugangswege durch trockene, weniger trittempfindliche Zonen zu führen; Wege durch Plastikbänder abgrenzen.
- > Falls trotzdem trittempfindliche Flächen durchquert werden müssen (Torfmoosteppich, überflutete Flächen), ist es sinnvoll, Holzpasserellen (Bohlenwege) zu erstellen; dazu Bauholzbretter verwenden, welche auf kleine Prügel oder Nadelbaumäste gelegt werden; dadurch werden Torfverdichtungen und das Ersticken der Vegetation vermieden (Abb. 15 und 16).



Abb. 15 Steg aus Gerüstbrettern

B. An den Entnahmestellen von Setzlingen oder Samen:

- > Entnommene Setzlinge sind auf einer Plastikfolie oder einem Geotextil zu lagern, damit kein Torf auf die örtliche Vegetation gelangt (Gefahr der Eutrophierung des Geländes).
- > Betreten des Torfmoosteppichs vermeiden

C. Auf der zu bepflanzenden Fläche:

- > unnötiges Betreten vermeiden
- > Auf sehr nassem Gelände ist es ratsam, einen Bohlenweg gemäss der oben beschriebenen Methode zu erstellen; andernfalls die Zugangswege mit Plastikmarkierband abgrenzen.

Die Beeinträchtigungen bei der Entnahme der Pflanzen variieren je nach Typ der Pflanzen und der gewählten Methode.

Wiederinstandsetzung von Entnahmestellen

A. Entnahme einzelner Setzlinge:

- > Bei der Entnahme einzelner Horste (ein Horst alle 10 m² zum Beispiel) des Scheidigen Wollgrases (*Eriophorum vaginatum*) entstehen nicht so tiefe Löcher; trotzdem ist es ratsam, die Löcher zu verfüllen; dazu wird bei der Entnahme ein kleiner Teil des Horstes zur Seite gelegt und im Ausgrabungsloch wieder eingepflanzt.
- > Werden einzelne Setzlinge der Moorbeere (*Vaccinium uliginosum*) entnommen, entstehen je nach Grösse der ausgegrabenen Pflanze verschieden grosse Löcher; hier kann ein Teil des Torfes an den Wurzeln der entnommenen Pflanze zum Zuspuffen des entstandenen Loches verwendet werden.



Abb. 16 Holzpasserelle für Fahrzeuge

B. Entnahme in Gruppen:

- > Eine Entnahme in Gruppen (*Eriophorum vaginatum* am selben Ort entnommen) ist auf dem Gelände besser sichtbar; deshalb ist es empfehlenswert, die Entnahmefläche wieder zu besiedeln; dazu werden schon vorher einige Setzlinge beiseite gelegt; im Zusammenhang mit einem Pflegeplan kann die Massnahme auch mit dem Anlegen einer Wasserfläche verbunden werden, welche eine Erhöhung der Standortvielfalt bewirkt.
- > Die Entnahme von *Vaccinium uliginosum* in Gruppen ist nicht zu empfehlen.

C. Entnahme von Blütenständen:

- > Die Entnahme von Blütenständen erfordert keine besondere Wiederinstandsetzung; es ist jedoch ratsam, auf den Sammelflächen nicht alle Ährchen zu entnehmen, sondern ungefähr jedes Zweite stehen zu lassen.

Wiederinstandsetzung der Zugangswege

Wenn auf Zugangswegen durch Trittschäden nackte Torfflächen entstanden sind, sind diese wieder zu bepflanzen (siehe Kapitel 2.3.1).

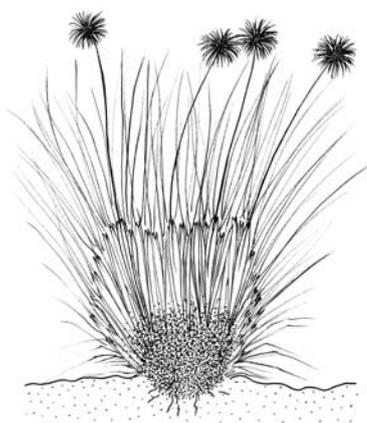


Abb. 17 *Eriophorum vaginatum*, nur ein Ährchen pro Trieb

2.3.1 Bepflanzung von flachem Gelände

Die Kenntnis der Kapitel 2.1, 2.2 und 2.3 ist Voraussetzung für das Verständnis dieses Kapitels. Hier werden die einzelnen Schritte zur Bepflanzung eines flachen oder schwach geneigten Geländes erklärt.

Beschreibung der Massnahme

Um eine ausgedehnte Fläche auf flachem Gelände (Neigung < 1 %) zu bepflanzen, werden entweder einzelne Setzlinge zerteilter Horste des Scheidigen Wollgrases *Eriophorum vaginatum* (Abb. 17) verpflanzt, oder dessen Samen werden ausgesät. Damit die Beeinträchtigungen möglichst gering bleiben, werden die Horste oder Samen aus Zonen entnommen, in denen die Art sehr verbreitet ist. Es ist ebenfalls möglich, den Standort mittels Moorbeeren (*Vaccinium uliginosum*, Abb. 18), zu strukturieren, vor allem auf Flächen, die für die Aufnahme von *Eriophorum vaginatum* zu trocken sind.

Die Massnahme kann sowohl auf ebenen, vegetationslosen Flächen der Hochmoore des Juras wie auch auf ebenen Flächen von Hanghochmooren der Voralpen und Alpen angewendet werden (Abb. 19 und 20).

Zielsetzungen

- > Durch das Schaffen günstiger mikroklimatischer Verhältnisse soll das Ansiedeln von Torfmoosen auf flachen, vegetationslosen Flächen nach Beeinträchtigungen und verschiedenen Arbeiten begünstigt werden.
- > Langfristig sollen gestörte Flächen wieder wie ein primäres Hochmoor funktionieren können.



Abb. 18 *Vaccinium uliginosum*: Heidekrautgewächs mit bläulichgrauen, matten Beeren, sommergrünen Blättern, braunen, zylindrischen Zweigen

- > Die Erosion soll verringert werden.
- > Das Landschaftsbild soll verbessert und der Standort restrukturiert werden.

Wahl der geeigneten Technik

Wahl der Pflanzenart

Auf flachem Gelände werden die besten Resultate mit Hilfe des Scheidigen Wollgrases (*Eriophorum vaginatum*) erzielt. Diese Art verfügt über Pioniereigenschaften und erträgt die Verpflanzung gut. Sie kann auch ausgesät werden. Zudem entwickelt sie sich sehr schnell auf gestörten Flächen (zum Beispiel nach einer Abtorfung). Sie bevorzugt sehr feuchte, sogar leicht überflutete Böden.

Eriophorum vaginatum unterscheidet sich von andern Wollgräsern durch seine Struktur: Es bildet mächtige Horste, die aus zahlreichen Trieben bestehen. Durch ihr grünes und deckendes Blattwerk werden günstige mikroklimatische Verhältnisse geschaffen, unter denen sich die Torfmoose leicht ansiedeln können (siehe Kapitel 2.1).

Weiter ist es ebenfalls möglich, Moorbeeren (*Vaccinium uliginosum*) zu verpflanzen. Besonders auf Flächen, die für *Eriophorum vaginatum* zu trocken sind, ist dies zu empfehlen. Ständig durchnässte Böden werden von der Moorbeere nicht sehr geschätzt. Allerdings verändert die Moorbeere das Mikroklima auf Bodenniveau nicht genügend, um eine Rückkehr der Torfmoose zu erlauben. Andererseits ist sie für folgende zwei Situationen sehr geeignet: 1) Bepflanzung vegetationsloser Flächen lichter Föhrenwälder, in denen *Eriophorum vaginatum* nicht natürlich dominiert; 2) Strukturierung und Erhöhung der Vielfalt des Lebensraumes als Ergänzung zu einer grossflächigen Bepflanzung durch das Scheidige Wollgras.



Abb. 19 Ehemalige Torfabbaufäche ohne Bepflanzung, Les Ponts-de-Martel (NE)

Wir sollten uns deshalb bewusst sein, dass die angestrebten Ziele durch die Wahl der einen oder der anderen Art stark beeinflusst werden.

Zur Bepflanzung kann man auch direkt Torfmoose zusammen mit Mulch aussäen. Diese Technik wurde von einem Team aus Forschern und Technikern in Quebec entwickelt und umfassend beschrieben. Voraussetzung dafür ist aber, dass ein Standort verfügbar ist, von dem die Moose entnommen und anschliessend auf einer 10- bis 20-mal grösseren Fläche verpflanzt werden können. Detaillierte Angaben hierzu finden sich im «Guide de restauration des tourbières» von Quinty & Rochefort 2003 (131 S., Download als PDF-Datei unter www.gret-perg.ulaval.ca).

Bepflanzungstechnik

Zwei Techniken können angewandt werden:

1. Verpflanzung von Setzlingen von *Eriophorum vaginatum* oder ganzer Pflanzen von *Vaccinium uliginosum*;
2. Aussaat von Samen von *Eriophorum vaginatum*.

Die erste Methode hat den Nachteil, den Entnahmeort zu stören. Sie ergibt jedoch ausgezeichnete Resultate. Die Setzlinge erholen sich im Prinzip sehr gut und wachsen schnell; dadurch strukturieren sie den Standort sofort. Die Beeinträchtigungen können auf ein Minimum reduziert werden, wenn bestimmte Vorsichtsmassnahmen getroffen werden (siehe Kapitel 2.3).

Die zweite Methode ist zwar etwas sanfter, hat aber auch eine beschränktere Wirkung. Das Wachstum junger Keimlinge ist sehr langsam; die Bildung von Horsten und das Ansiedeln von Torfmoosen sind langfristige Prozesse (mehrere Jahrzehnte). Andererseits ist die Fruchtbildung von Wollgras unregelmässig und von Jahr zu Jahr verschieden, das Sammeln der Samen ist also dem Zufall unterworfen.



Abb. 20 Unmittelbar angrenzende ehemalige Torfabbaufäche, die mit *Eriophorum vaginatum* bepflanzt wurde, Les Ponts-de-Martel (NE)

Das Verpflanzen und die Aussaat eignen sich für dauernd oder auch nur zeitweise überflutete Böden. Auf trockenem Gelände ist solchen Eingriffen meistens nur geringer Erfolg beschieden. Beide Methoden benötigen also sehr feuchtes Gelände, andernfalls sollten zuvor hydrologische Massnahmen getroffen werden (Anheben des Grundwasserspiegels; siehe Kapitel 3).

Um das lokale genetische Erbe zu erhalten, sind Verpflanzungen zwischen entfernten geografischen Regionen (zum Beispiel von der Jurakette zu den Voralpen) zu vermeiden. Wenn die zu verpflanzende Art im Objekt selten vorkommt, kann eine Entnahme von Setzlingen in einem Hochmoor der gleichen Region in Betracht gezogen werden. Dies sollte jedoch nur mit dem Einverständnis der zuständigen kantonalen Fachstelle für Naturschutz geschehen. In diesem Fall sollten die Setzlinge in überflutete Vertiefungen gelegt werden, damit sie bis zum Zeitpunkt der Verpflanzung am Leben bleiben.

Bevor ein Eingriff vorgenommen wird ...

Welche Punkte sind zu beachten?

Negative Auswirkungen und Vorsichtsmassnahmen

Im Zusammenhang mit der Bepflanzung können verschiedene Beeinträchtigungen vorkommen; die Bedeutendsten sind:

- > Störung des Standortes, an dem Pflanzen entnommen werden;
- > Trittbelastung auf Zugangswegen.

Kapitel 2.3 schlägt Lösungen vor, um diese Beeinträchtigungen möglichst gering zu halten. Ganz allgemein ist es ratsam, Pflanzen aus ausgedehnten Beständen zu entnehmen.



Abb. 21 Ausgraben eines Horstes

Schwierigkeiten bei der Umsetzung und Ratschläge

- > Falls *Eriophorum vaginatum* in der Gegend selten vorkommt, kann in zwei Etappen vorgegangen werden: In der ersten Phase werden einige Setzlinge auf einem Teil der zu besiedelnden Fläche angepflanzt; nach 4 bis 5 Jahren, wenn diese Setzlinge gut entwickelte Horste gebildet haben, werden sie ein zweites Mal ausgegraben, zerteilt und wie in Variante A (siehe unten) beschrieben wieder eingepflanzt; so wird es möglich, eine sehr viel grössere Fläche zu bepflanzen.
- > Die Unregelmässigkeit der jährlichen Samenproduktion von *Eriophorum vaginatum* erschwert die Methode der Aussaat.

Zuverlässigkeit und Sicherheit

Bei der Bepflanzung ergeben sich grundsätzlich keine Sicherheitsprobleme. Sind aber zusätzlich hydrologische Massnahmen zur Anhebung des Grundwasserspiegels vorgesehen, sind die Empfehlungen im Kapitel 3 zu beachten.

Kombinieren von Massnahmen

- > Wenn ein Gelände zu stark entwässert und dadurch zu trocken ist, sollten die Bepflanzungsmassnahmen durch den Bau von Dämmen oder Grabenverfüllungen zur Anhebung des Grundwasserspiegels ergänzt werden (siehe Kapitel 3).
- > Im Rahmen eines Pflegeplanes oder im Einverständnis mit der zuständigen kantonalen Fachstelle für Naturschutz kann die Entnahme von Pflanzen mit dem Ausheben einer Mulde verbunden werden, welche das Ansiedeln von aquatischen Lebensgemeinschaften begünstigt.



Abb. 22 Zerteilter Horst

Technische Parameter

- > Bevor ein geeignetes Gebiet für die Entnahme der Pflanzen gefunden werden kann, muss die Anzahl benötigter Setzlinge von *Eriophorum vaginatum* bestimmt werden, und zwar unter Berücksichtigung folgender Punkte:
 - 1) Auf der zu bepflanzenden Fläche sollte die Pflanzdichte bei 4 bis 5 Setzlingen pro m² liegen.
 - 2) Ein Horst von *Eriophorum vaginatum* kann je nach Grösse in ungefähr 20 bis 40 Setzlinge geteilt werden.
- > Das gleiche Vorgehen gilt für die Aussaat; die optimale Saatedichte liegt zwischen 15 bis 20 gesäten Ährchen pro m².
- > Beim Verpflanzen von *Vaccinium uliginosum* erweist sich eine Pflanzdichte von 3 oder 4 Pflanzen pro m² als optimal.

Zeitpunkt der Durchführung

Entscheidend für den Erfolg der Verpflanzung oder der Aussaat ist die Bodenfeuchtigkeit. Die günstigste Zeit ist das Frühjahr (Mai–Juni). Für die Aussaat sollten die Blütenstände bis Anfang Juni geerntet werden.

Werkzeuge

Für die Arbeiten werden nur leichte Werkzeuge benötigt.

Bei Verpflanzungen:

- > Rundschaufeln
- > Pflanzhölzer
- > Schubkarren
- > Giesskanne

Bei Aussaat:

- > Scheren
- > Papiertüten
- > Giesskanne



Abb. 23 Eingepflanzter Setzling, der aus einem Horst entnommen wurde

Anderes Material:

- > Plastikmarkierband
- > Plastikfolie oder Geotextil
- > Stiefel, Gartenhandschuhe
- > eventuell Hacke zum Zerteilen der Horste
- > eventuell Bauholzbretter und Rundholz (für Zugangswege)

Baumaterial

Alle (lebenden!) Materialien befinden sich vor Ort und sind mit Sorgfalt und nach Bedarf zu entnehmen! Die Horste von *Eriophorum vaginatum* sollten schnell wieder eingepflanzt werden; sie dürfen nicht während Stunden der Sonne ausgesetzt sein (Austrocknungsgefahr). Für kurze Zeit können sie in einer Vertiefung oder einem Weiher in der Nähe des Pflanzortes gelagert werden.

Personal

Für diese Arbeiten ist kein besonders qualifiziertes Personal erforderlich. Sie können auch mit Schulklassen oder Freiwilligen durchgeführt werden.

Betreuung

Beim Einsatz einer Gruppe muss eine regelmässige Betreuung eingeplant werden, damit eine möglichst zufällige Verteilung der Setzlinge oder Samen gewährleistet ist (jeder neigt dazu, in Reihen zu pflanzen).

Die Betreuung erfordert eher praktische Erfahrung als spezifisches Fachwissen. Diese Aufgabe kann von Biologen, Agronomen, Förstern oder Gärtnern übernommen werden.

Kosten

- > Löhne für Personal
- > Honorare für Betreuung und Bauleitung
- > eventuell Arbeitsgeräte



Abb. 24 Mit *Eriophorum vaginatum* bepflanzte Fläche, Les Ponts-de-Martel (NE)

Ausführung der Massnahmen

Variante A: Verpflanzen von *Eriophorum vaginatum*

Zur Vorbereitung des Arbeitsgeländes vorher Kapitel 2.3 beachten.

- a) Mit Hilfe einer Rundschaufel einen Horst samt Wurzelwerk sorgfältig ausgraben, um die Wurzeln nicht zu beschädigen (das Wurzelvolumen ist etwas geringer als das Volumen des Blattwerkes; die lebenden Wurzeln haben eine weisse Farbe); die Horste auf einem Schubkarren zum Pflanzort transportieren; um die Horste am Leben zu erhalten, sollten sie wenn möglich vorübergehend in überflutete Vertiefungen gelegt werden (Abb. 21).
- b) Den Horst am Boden auf die Seite legen und von Hand (oder mit einer Hacke) in einzelne Teile zerlegen; diese bestehen aus 10 bis 15 Halmen mit Blättern, und ihre Wurzeln sind von einem Torfklumpen umgeben; ein grosser Horst ergibt auf diese Weise bis zu 40 neue Setzlinge (Abb. 22).
- c) Mit dem Pflanzholz ein Loch machen, das etwa der Grösse des Wurzelballens des Setzlings entspricht; den Setzling in die Erde stecken und das Loch um die Wurzeln zuschütten; den Torf mit den Füssen leicht festdrücken; Giessen ist nicht unbedingt notwendig; die Pflanzabstände sollten unterschiedlich sein, durchschnittlich aber etwa 50 cm betragen; unregelmässiges Pflanzen ist äusserst wichtig, um die Bildung einer künstlichen Landschaft zu vermeiden (Abb. 23).

Nach Abschluss der Bepflanzungsarbeiten (Abb. 24) folgt die Wiederinstandsetzung des Geländes wie im Kapitel 2.3 beschrieben.



Abb. 25 Entnahme eines Setzlings von *Vaccinium uliginosum*

Variante B: Verpflanzen von *Vaccinium uliginosum*

Zur Vorbereitung des Geländes zuerst Kapitel 2.3 beachten.

- a) Mit der Rundschaufel (Abb. 25) eine Pflanze lösen; genügend grossen Torfballen entnehmen, damit die Wurzeln nicht beschädigt werden (manchmal ist es notwendig, einige Wurzeln abzustechen); im Idealfall wird ein Block von 50 × 50 cm Seitenlänge und 20 cm Tiefe ausgestochen; die Pflanzen mit einer Schubkarre zum Bepflanzungsort führen.
- b) eine Mulde ausheben, die Pflanze mit dem Torfballen hineinstellen und gut feststampfen, damit sich die Masse mit dem gewachsenen Torf verbindet (Abb. 26); giessen
- c) Soll in einem Föhrenwald ein Unterholz bepflanzt werden, wird ziemlich dicht gepflanzt (im Abstand von 80 bis 100 cm), um die Struktur einer Heidelandschaft zu erzeugen; unregelmässiges Pflanzen ist äusserst wichtig, um die Bildung einer künstlichen Landschaft zu vermeiden.
- d) Wenn mit der Bepflanzungsmassnahme ein Strukturieren und Erhöhen der Vielfalt des Standortes angestrebt wird, kann in Gemeinschaft mit *Eriophorum vaginatum* lockerer gepflanzt werden.

Nach Abschluss der Pflanzarbeiten folgt die im Kapitel 2.3 beschriebene Wiederinstandsetzung des Geländes.

Variante C: Aussaat von *Eriophorum vaginatum*

Zur Vorbereitung des Geländes zuerst Kapitel 2.3 beachten.

- a) Fruchtstände bis Anfang Juni mit der Schere (Abb. 27) abschneiden (weisse Ährchen), bevor sie von selbst abzufallen beginnen; falls nötig, Ährchen in Papiertüten trocken aufbewahren



Abb. 26 Verpflanzen eines Setzlings von *Vaccinium uliginosum*

- b) mit einfachem Fingerdruck die ganzen Ährchen 1 bis 2 cm tief im Abstand von 20 bis 30 cm in den Boden drücken (Abb. 28); Oberfläche ausgiebig giessen, damit die Fäden der Samen am Torf kleben, Giesswasser im Hochmoor entnehmen (kein kalkhaltiges Wasser!); wenn der Boden sehr trocken wird, bis zur Keimung regelmässig giessen

Nach Abschluss der Aussaat erfolgt die im Kapitel 2.3 beschriebene Wiederinstandsetzung des Geländes.

Nach Beendigung des Eingriffs

Erfolgskontrolle der durchgeführten Massnahmen

Verpflanzung von Wollgräsern oder Moorbeeren:

- > nach einem Jahr den Anteil der überlebenden Pflanzen schätzen
- > Wenn mehr als 70% der Setzlinge überlebt haben, kann das Unternehmen als erfolgreich bezeichnet werden.
- > Andernfalls ist die Fläche durch neue Setzlinge zu ergänzen.

Aussaat:

- > nach einem Jahr die Keimlinge pro m² schätzen; ergänzen, falls weniger als 70% der Ährchen gekeimt haben

Kontrollprogramm

Langfristig gesehen wird mit der Durchführung der Massnahme eine Wiederansiedlung von Torfmoosen angestrebt, welche unter dem Schutz der Pionierpflanzen günstige Wachstumsbedingungen vorfinden. Bereits jetzt ist es wichtig, ein

mittelfristiges bis langfristiges (5 bis 20 Jahre) Kontrollprogramm zu planen.

Folgende Punkte sollten in einem vollständigen Programm berücksichtigt werden:

- > nach neuen, typischen Hochmoorarten (*Drosera rotundifolia* usw.) suchen und diese, mit Datum versehen, in eine Karte eintragen
- > Dauerüberwachungsflächen oder Transekte erstellen, um ein Wiederansiedeln von Torfmoosen nachweisen zu können
- > Wiederansiedlung der Fauna als Folge der Massnahmen
- > das Wachstum der neuen Horste und die Besiedlung durch Torfmoose mit der Entwicklung des Grundwasserspiegels in Beziehung setzen, vor allem, wenn gleichzeitig Stauanlagen errichtet wurden (Dämme, Verfüllungen)

2.3.2 Bepflanzung von schwach geneigtem Gelände

Voraussetzung für das Verständnis dieses Kapitels ist das Studium der Kapitel 2.1, 2.2 und 2.3. Im vorliegenden Beitrag werden die einzelnen Schritte zur Bepflanzung eines schwach geneigten Geländes erklärt. Der Schwerpunkt liegt hier vor allem bei den Vorbereitungsarbeiten zur Bepflanzung, die im Kapitel 2.3.1 erklärt wird.

Beschreibung der Massnahme

Diese Massnahme eignet sich vor allem für Hochmoore der Voralpen und Alpen, die häufig leicht geneigte Flächen aufweisen und deren Abflüsse die Tendenz haben, das Wasser

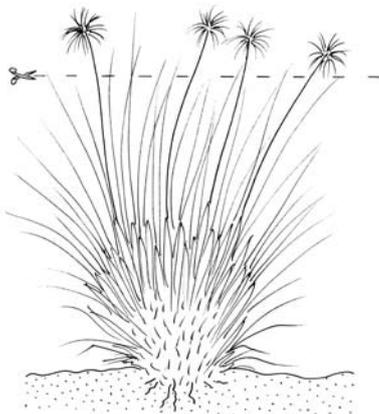


Abb. 27 Abschneiden von Ährchen von *Eriophorum vaginatum* mit der Schere

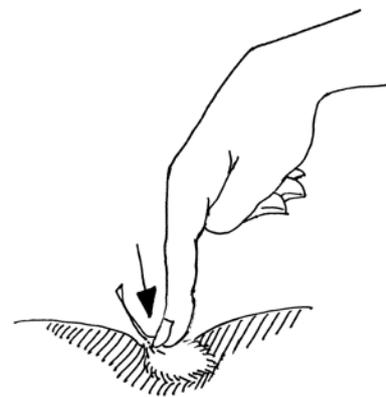


Abb. 28 Aussäen von *Eriophorum vaginatum* (ganze Ährchen)

nach unten abzuziehen und dadurch die oberste Torfschicht zu erodieren.

Auf schwach geneigtem Gelände (1 bis 2%) sollten die Arbeiten in zwei Etappen erfolgen. In der ersten Etappe wird das Gelände wieder vernässt. Dazu werden überschwemmbarere Terrassen gestaltet, welche durch Torfwälle (Stränge) begrenzt sind. In der zweiten Etappe werden Flächen hinter den Wällen mit dem Scheidigen Wollgras (*Eriophorum vaginatum*) bepflanzt (Abb. 30).

Im vorliegenden Kapitel werden die Gestaltungsmaßnahmen der ersten Etappe detailliert beschrieben:

- > Auf der zu regenerierenden Fläche werden die Unebenheiten des Geländes (kleine Hügel, Vertiefungen, Gräben usw.) mittels eines Kleinbaggers planiert, damit mehr oder weniger flache Stufen erstellt werden können.
- > Errichten von Torfwällen in regelmässigen Abständen zum Aufstauen des Oberflächenwassers; die Abstände sind von der Geländeneigung abhängig
- > Gestaltung (fakultativ) zusätzlicher Furchen und kleiner, eng aufeinanderfolgender Wälle, die rechtwinklig zur Hangneigung liegen und eine künstliche Struktur von Hochmoorbulten und -schlenken bilden

Details im Zusammenhang mit der eigentlichen Bepflanzung (zweite Etappe) werden im Kapitel 2.3.1 beschrieben.

Zielsetzungen

- > Fördern der Wiederansiedlung von Torfmoosen auf schwach geneigtem, nacktem Gelände nach Beeinträchtigungen und verschiedenen Arbeiten durch Wiederherstellen der ursprünglichen mikroklimatischen und hydrologischen Verhältnisse



Abb. 29 Nackte Torffläche auf schwach geneigtem Gelände mit Markierungen

- > Langfristig sollen gestörte Flächen wieder wie ein primäres Hochmoor funktionieren können.
- > Wiedervernässung des Geländes, damit die Bepflanzung den angestrebten Erfolg bringen kann (Wasserstandsschwankungen zwischen +5 cm und –5 cm im Vergleich zur Bodenoberfläche gelten als optimal)
- > Es soll wieder ein in Bulten und Schlenken gegliedertes Hochmoor entstehen.
- > Geländeneigung wenn möglich bis auf einen Wert unter 5% herabsetzen und so die Erosion vermindern
- > Durch die Bildung einer Bulten- und Schlenkenstruktur sollen die Speicherkapazität erhöht und dadurch die Wasserstandsschwankungen verringert werden.
- > Das Landschaftsbild soll verbessert werden.

Bevor ein Eingriff vorgenommen wird ...

Welche Punkte sind zu beachten?

Negative Auswirkungen und Vorsichtsmaßnahmen

Das Errichten der Torfwälle, die Planierungsarbeiten und die Bepflanzung können praktisch nur mit Hilfe eines Kleinbaggers ausgeführt werden. Diese Arbeiten können aber negative Auswirkungen auf den Lebensraum haben. Die Bedeutendsten sind:

- > Zerstörung der bestehenden Vegetation durch den Kleinbagger;
- > Verdichtung und Zerstörung der Torfstruktur.

Kapitel 2.3 enthält Lösungsvorschläge zur Verminderung von Beeinträchtigungen im Zusammenhang mit der Bepflanzung. Weiter müssen folgende Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden:



Abb. 30 Für die Bepflanzung vorbereitete Fläche auf schwach geneigtem Gelände; im Hintergrund ist ein Wall erkennbar.

- > Fahrstrecke des Kleinbaggers vorher genau planen und mit Markierbändern klar bezeichnen; sie soll so festgelegt werden, dass empfindliche Vegetationszonen geschont werden (Abb. 29).
- > mit den Arbeiten am entferntesten Punkt beginnen, um so schrittweise zum Zugangsort der Maschine zurückzukommen, ohne bereits bearbeitete Abschnitte durchqueren zu müssen
- > Der Bagger muss unbedingt auf Matratzenlagen (mit Seilen zusammengehängte kleine Holzbalken) gefahren werden, deren Gewicht und Grösse dem Arbeitsbereich der Maschine angepasst werden; die Erfahrung hat gezeigt, dass zwei zusätzliche dicke Balken mit einer Länge von 3 bis 4 Metern bei den Bewegungen ganz beträchtlich zur Stabilität der Maschine beitragen (indem zum Beispiel der Schild des Baggers darauf gedrückt wird oder indem man die Raupen darauf vorwärts bewegt).
- > Mit Vorteil wird eine ziemlich schwere Maschine verwendet (10 bis 12 Tonnen), welche in der Lage ist, die Matratzenlage problemlos zu verschieben; Bagger mit breiten Eisenraupen sind vorzuziehen (Gummiraupen sind ungeeignet, da sie auf der Matratzenlage gleiten, wenn diese mit feuchtem Torf bedeckt ist).
- > Falls die Maschinen auf intakten Teilstücken ohne Matratzenlage bewegt werden, ist ein Drehen an Ort unbedingt zu vermeiden, denn dadurch würde die den Wasserhaushalt des Moors regulierende Vegetation mit ihrer besonderen Struktur zerstört.

Schwierigkeiten bei der Umsetzung und Ratschläge

- > Durch die Torfausbeutung wurde das Gelände beträchtlich verändert und die Struktur des Torfes zerstört; die Folge davon ist eine starke Instabilität, die nicht unbedingt sofort



Abb. 31 Im Torf eingesunkener Kleinbagger

> Achtung

Ausbessern und Flickern des Bauwerks führt zu Beeinträchtigungen und hohen Kosten. Deshalb ist äusserst sorgfältig zu arbeiten, damit das Werk gleich beim ersten Mal gelingt.

erkennbar ist; die oberste Torfschicht kann ausgetrocknet sein und eine mehr oder weniger kompakte Kruste gebildet haben, die man sogar begehen kann; trotzdem darf das Risiko des Einsinkens mit schweren Maschinen nicht unterschätzt werden (Abb. 31); deshalb ist es notwendig, die instabilen Zonen vorher ausfindig zu machen (zum Beispiel mittels Sondierbohrungen) und diese mit Bändern zu markieren.

- > Die relative Mächtigkeit der obersten Torfschicht, deren Struktur als Folge der Torfausbeutung zerstört wurde, hat einen wesentlichen Einfluss auf den Ablauf der Arbeiten; zum Bau der Wälle kann sie nämlich nicht verwendet werden und muss deshalb vorher entfernt und zwischengelagert werden.
- > Mit dem Bau der Wälle ist nach Möglichkeit oben zu beginnen und die Arbeit nach unten fortzusetzen; dies ist vor allem dann von Bedeutung, wenn die Arbeiten auf mehrere Jahre (mehrere Etappen) verteilt werden. Würde unten begonnen, bestünde das Risiko, eine oberhalb liegende Fläche, wo der nachfolgende Wall zu erstellen wäre, zu vernässen und sie auf diese Weise für die Maschinen unpassierbar zu machen. Aufgrund der Einschränkungen im Zusammenhang mit den Zugangswegen kann es in der Praxis aber durchaus vorkommen, dass man gezwungen ist, vom erwähnten Prinzip abzuweichen.

Zuverlässigkeit und Sicherheit

Die hinter den Wällen entstehenden Wasseransammlungen bringen die Gefahr von Brüchen oder Erdrutschen mit sich. Mit folgenden Vorsichtsmassnahmen werden die Risiken eingeschränkt:

- > Aus Stabilitätsgründen dürfen die Wälle nach dem Sacken des Torfes eine Höhe von 50 cm nicht übersteigen; ihre Breite sollte mindestens 2 Meter betragen.
- > Um den Druck an der Basis des Walles zu begrenzen und um ein Wiederansiedeln der Torfmoose zu ermöglichen, sollte der maximale Wasserstand hinter dem Wall 20 bis 30 cm betragen.
- > Jeder Wall ist mit einem festen Überlauf zu versehen, damit er bei starkem Regen und während der Schneeschmelze nicht erodiert wird; die Position der Überläufe ist vorher festzulegen, und zwar dort, wo die grösste Wasseransammlung erwartet wird; der Rohrdurchmesser für die

einzelnen Überläufe muss gegen unten wegen der Erweiterung des Einzugsgebietes durch die aufeinanderfolgenden Wälle grösser werden.

- > Wegen der schwachen Neigung des Geländes, auf dem diese Technik angewandt wird, ist keine zusätzliche Stabilisierung und kein Schutz gegen Erosion nötig, was bei starker Neigung vorzusehen ist (siehe Kapitel 2.3.3).
- > Der mineralische Untergrund muss undurchlässig sein, damit das durch die Wälle aufgestaute Wasser nicht versickern kann.

Kombinieren von Massnahmen

- > Wenn Entwässerungsgräben vorhanden sind, ist es empfehlenswert, das Errichten von überschwemmbareren Terrassen mit dem Bau von Dämmen oder dem Verfüllen von Gräben zu kombinieren (siehe Beiträge des Kapitels 3).
- > Für die Bepflanzung muss das Gelände geplant werden; abhängig von den Schutzziele können zur Erhöhung der Vielfalt Torfstichgruben (aquatische Lebensräume) oder kleine Erhebungen (trockene Lebensräume) belassen werden.
- > Der Entscheid, ob zur Erhöhung der Vielfalt des Lebensraumes zwischen den Wällen eine künstliche Struktur von Bulten und Schlenken gebildet werden soll, hängt von den Pflegezielen, von den verfügbaren Mitteln und der Ausgangssituation ab.
- > Wenn die zu regenerierende Fläche kleine Zonen mit sekundärer Hochmoorvegetation enthält, welche die trockenen Bedingungen der Bulten gut erträgt (zum Beispiel Zwergsträucher wie die Besenheide, *Calluna vulgaris*, oder die Moorbeere, *Vaccinium uliginosum*), kann es durchaus sinnvoll sein, eine Bulten- und Schlenkenstruktur zu bilden, damit diese Pflanzen nachher nicht überschwemmt werden

Technische Parameter

- > Eine ausgezeichnete Grundlage zur genauen fotogrammetrischen Kartierung der zu regenerierenden Flächen sind Infrarot-Luftaufnahmen (Falschfarben) der Eidg. Vermessungsdirektion (KSL, Neugutstrasse 66, 8600 Dübendorf); das Gelände kann mit einem Theodoliten aufgenommen werden; zusätzlich zu den Höhenlinien bietet eine Fotointerpretation den Vorteil der direkten Rekonstruktion der Informationen aus den Luftaufnahmen (Vegetationsgrenzen, Bodenfeuchtigkeit, Lage verschiedener Elemente wie kleine Erhebungen, Torfstiche, Gräben, Erosionszonen oder Wasseransammlungen). Gut geeignet sind auch Ortholuftbilder (sog. entzerrte Luftaufnahmen). Sie bieten eine maximale Präzision mit Abweichungen von höchstens 5 Zentimetern.

- > Zur Ermittlung der Torfmächtigkeit und -qualität werden mit einem Torfbohrer (Russenbohrer) Sondierungen durchgeführt (Eijelkamp Agrisearch Equipment, P.O. Box 4, 6987 Giesbeek, The Netherlands; Vertretung für die Schweiz: Agba Instrumente AG, Zentralstrasse 42, 6030 Ebikon; Modell: 04.09 Peat sampler; siehe auch das von Buttler et al. 1998 vorgestellte Modell).
- > Das zu verschiebende Torfvolumen schätzen; eine Schubkarren auf Raupen kann sich für den Torftransport als nützlich erweisen (zum Beispiel für den Abtransport des zersetzten Torfes).
- > Materialbedarf für die Überläufe berechnen: Rohre und Kniestücke verschiedener Durchmesser, Platten, Pflöcke, Schraubenbolzen mit Muttern

Zeitpunkt der Durchführung

Wegen der möglichen Schädigung durch die Maschinen ist eine trockene Jahreszeit, vorzugsweise Juli bis September, zu wählen. Arbeiten bei gefrorenem Boden sind zu vermeiden; gefrorener Torf kann nicht bearbeitet werden, und es besteht die Gefahr, dass sich alle Bauwerke verformen.

Werkzeuge

Errichten der Torfwälle:

- > Kleinbagger
- > Matratzenlage zur Stabilisierung des Baggers; 1–2 lange Balken
- > Markierband
- > Laser-Nivellierinstrument, Wasserwaage
- > Schubkarren auf Raupen (nach Bedarf)
- > eventuell Bauholzbretter und Rundholz (Holzpasserelle)

Bau der Überläufe:

- > Nylonhammer, Rundschaufeln, Säge, eventuell Motorsäge (zum Einsetzen der Platten)
- > Bohrmaschine mit «Rundbohreinsätzen» (Durchmesser entsprechen jenen der PVC-Rohre)

Bepflanzung:

- > siehe Kapitel 2.3.1

Baumaterial

- > Holzplöcke für die Markierung (mindestens 80 cm lang)
- > PVC-Rohre mit Kniestücken und Muffen zum Schutz vor schwimmenden Pflanzenresten
- > Schalungsplatten (unbehandelte, kreuzverleimte Sperrholzplatten); Grösse einer Platte: 100 cm × 50 cm; 1 Stück pro Überlauf
- > Holzpfähle, Länge = 100 cm; 4 Stücke pro Platte

Personal

- > Diese Arbeiten erfordern qualifiziertes Personal; der Baggerführer sollte in der Lage sein, präzise und gewissenhafte Arbeit zu leisten, damit die Zuverlässigkeit und Gleichmässigkeit der Wälle gewährleistet werden kann; er sollte ein Laser-Nivellierinstrument bedienen können, damit die relative Wallhöhe auf ihrer gesamten Länge genau gleich bleibt.
- > Der Zusammenbau der Überläufe bedarf keiner besonderen Erfahrung. Um die Richtigkeit der Konstruktion zu garantieren, muss sorgfältig gearbeitet werden. Der Materialtransport kann vom Baggerführer und seinem Gehilfen durchgeführt werden.

Betreuung

- > Die Anordnung und das Errichten der Wälle erfordern spezifisches Fachwissen; der Planungsbeauftragte muss über Fachwissen in der Betreuung von Hochmooren verfügen.
- > Eine ständige Baubegleitung während der Bauphase ist unerlässlich.

Kosten

- > Löhne für Personal
- > Honorare für Planung, Betreuung und Bauleitung
- > Miete Kleinbagger: zwischen Fr. 120.– und Fr. 200.–/h, einschliesslich Lohn des Baggerführers, ohne Transportkosten
- > falls nötig, Miete für Schubkarren auf Raupen
- > Sperrholzplatten: ca. Fr. 30.–/m²
- > PVC-Rohre und Kniestücke, Preis abhängig vom Durchmesser
- > eventuell andere Werkzeuge, Kleinmaterial (Holzpflocke)

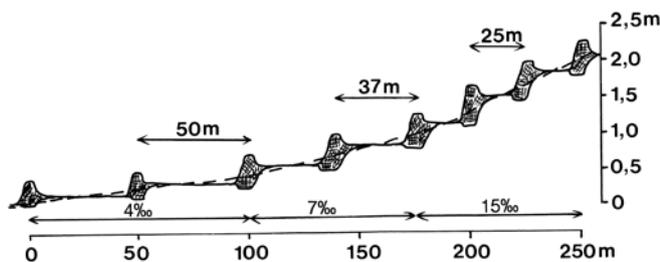


Abb. 32 Abstände zwischen den Wällen abhängig vom Gefälle (Querschnitt; verändert nach Eggelsmann, in Nick 1993, S. 27)

Ausführung der Arbeiten

Planung der Terrassen

Anordnung und genaue Lage der Wälle sind in erster Linie von der Topografie abhängig und folglich situationsspezifisch anzupassen. Die Grenzen der Hangneigung und der Wälle müssen eingehalten werden. Notwendig sind:

- a) Karte (Massstab 1:1000 oder 1:500) des zu regenerierenden Gebietes erstellen; darauf ist Folgendes einzutragen:
 - > Höhenlinien (mindestens alle 50 cm);
 - > die verschiedenen Wasserabflüsse an der Oberfläche;
 - > überschwemmbar, oft mit feinem Torf bedeckte Zonen auf Terrassen;
 - > Erosionszonen;
 - > zu planierende Erhebungen oder Torfstichgruben.
 Diese Informationen ergeben ein genaues Bild des Wasserabflusses an der Oberfläche, welcher die zu realisierenden Gestaltungsmassnahmen wesentlich beeinflusst.
- b) Mit Hilfe dieser Informationen soll die allgemeine Anordnung der Terrassen festgelegt werden können; grundsätzlich ist jenen Stellen der Vorrang zu geben, an denen sich das Wasser natürlich ansammelt; danach wird das Wallsystem der Topografie entsprechend ergänzt.
- c) Das Gefälle bestimmt den Abstand der Wälle: je grösser das Gefälle, desto enger die Wälle (Abb. 32).
- d) Um ein Überlaufen zu vermeiden, muss die Krone eines Walles auf einem bestimmten Niveau bleiben. Daher ist es notwendig, von einem bekannten Fixpunkt aus die Krone der einzelnen Wälle genau zu nivellieren; Lage und Höhe der Wälle auf die Karte oder die entzerrte Luftaufnahme übertragen.

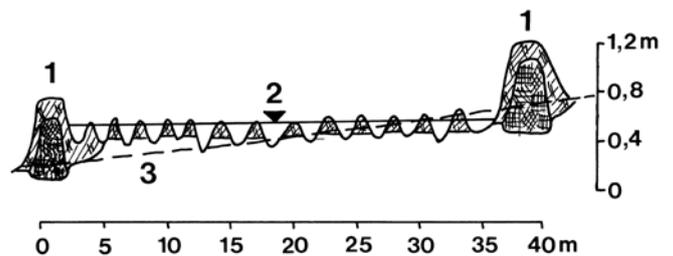


Abb. 33 Bulten- und Schlenkenstruktur zwischen zwei Wällen (Querschnitt; verändert nach Eggelsmann, in Nick 1993, S. 43); 1: Torfwälle; 2: maximaler Wasserstand; 3: ursprüngliche Geländeneigung

- e) Die Lage der Überläufe bestimmt den Wasserabfluss; diese Punkte vorausplanen und in die Karte oder die entzerrte Luftaufnahme eintragen.
- f) zur Bestimmung von Mächtigkeit und Qualität des Torfes Sondierbohrungen durchführen (rostfarbener, faseriger Torf von guter Qualität oder schwarzer, schlammiger, zersetzter Torf); Mächtigkeit des zersetzten Torfes bestimmen, der vor dem Errichten der Wälle entfernt werden muss; vorübergehende Lagerorte festlegen und auf die Karte oder die entzerrte Luftaufnahme übertragen
- g) Die Reihenfolge, in der die Terrassen zu erstellen sind, in die Karte eintragen
- h) auszubebende Flächen, instabile Zonen sowie Flächen, die mit einer Bulten- und Schlenkenstruktur neu zu gestalten sind, festlegen und auf der Karte eintragen
- i) Zugangswege und Fahrstrecken für die Maschinen planen; Baustelle organisieren (siehe auch Kapitel 3.3) und Fahrstrecken des Kleinbaggers für die Oberflächenbearbeitung und den Bau der verschiedenen Wälle festlegen

Vorbereiten der Terrassen

1. Planieren der Oberfläche

Mit Hilfe des Kleinbaggers werden die Flächen der Terrassen ausgeebnet. Dabei wird entsprechend Geländeneigung und Notwendigkeit der Torf an der Oberfläche aufgekratzt und nach unten bis zum Wall geschoben, der die Terrasse begrenzen wird. Ziel ist ein Gefälle der Terrassen von weniger als 5‰.

Das Abschaben der Oberfläche bricht die Kruste, die sich eventuell nach Frost oder Austrocknung gebildet hat. Gleichzeitig wird dadurch die oberste, zersetzte Torfschicht aufgelockert.



Abb. 34 Markierte Fahrstrecke des Kleinbaggers

2. Bilden einer Bulten- und Schlenkenstruktur

Sofern geplant wurde, solche Strukturen zu gestalten, können die Furchen gleichzeitig mit dem Planieren der Oberfläche ausgehoben werden. Dabei arbeitet man von oben nach unten, wobei die Furchen aber rechtwinklig zur Geländeneigung angelegt werden.

Mit dem Kleinbagger werden Furchen in der Grössenordnung von 30 cm Tiefe und 50 bis 100 cm Breite ausgehoben. Zwischen ihnen liegen Bulten gleicher Breite, die mit dem Aushub aus den Furchen aufgeworfen werden (Abb. 33).

Im unteren Teil der auf diese Weise bearbeiteten Zone ist eine Arbeitsfläche für den Bau des Walles freizulassen. Der Freiraum sollte einen etwa 4 bis 5 m breiten Korridor bilden. Er enthält die für den Wall vorgesehene Fläche, die Zone, aus der das Material für den Bau des Walles (oberhalb) entnommen wird, und die Fläche, wo der zersetzte Torf zwischengelagert wird.

Um eine erhöhte Feuchtigkeit zu erreichen, dürfen die Bulten die maximale Stauhöhe des Wassers auf den Terrassen nicht übersteigen. Falls die vorhandene Vegetation für das Moor von Interesse ist, wird sie als Plaggen abgestochen und am Schluss auf die Bulten gelegt. Aus ästhetischen Gründen sind keine geradlinigen, parallelen sondern unregelmässige Furchen auszuheben.

Errichten der Torfwälle

Die Torfwälle werden in drei Etappen errichtet: 1) Markieren der Lage der Wälle im Gelände; 2) Errichten des Torfwalles und parallel dazu, 3) Zusammenbau des Überlaufes.

1. Markierung

- a) Die genaue Lage der Wälle wird mit Pflöcken im Abstand von 2 bis 5 m markiert; dabei richtet man sich nach

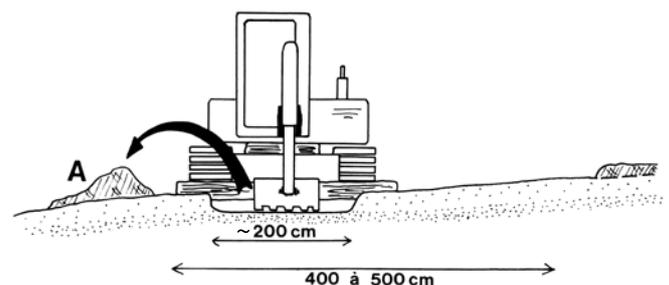


Abb. 35 Abheben des zersetzten Torfes

dem zuvor erstellten detaillierten Plan. Ein Ortholuftbild und ein GPS-System gewährleisten eine maximale Präzision.

- b) Lage der Überläufe markieren
- c) Markieren instabiler, zu meidender Zonen
- d) Fahrstrecke des Kleinbaggers markieren (Abb. 34)

2. Errichten des Torfwalles

Der Torfwall wird in kleinen, aufeinanderfolgenden Abschnitten von 2 bis 3 m errichtet, indem der Bagger schrittweise rückwärts bewegt wird. Das folgende Vorgehen betrifft nur einen Abschnitt (siehe auch Abb. 37).

- a) Mit Hilfe des Kleinbaggers wird an einem Ende des zukünftigen Walles der mineralisierte Torf auf einer

Breite von 2 m entfernt; abhängig von der Dicke des zersetzten Torfes wird mehr oder weniger Material abgehoben und unterhalb des künftigen Walles zwischengelagert (A, Abb. 35).

- b) Oberhalb des Walles, mehr als 1 m von der Basis des Walles entfernt, wird die Torfschicht bis auf wenig zersetzten, rostbraunen, faserigen Torf abgehoben und ebenfalls unterhalb des künftigen Walles zwischengelagert (Abb. 36 a).
- c) Mit dem Bagger werden aus dieser Fläche grosse Blöcke des wenig zersetzten Torfes entnommen und zum Errichten des Walles aufeinandergeschichtet; durch Anpressen der Blöcke erhält der Wall seine Form und Festigkeit (Abb. 36 b).

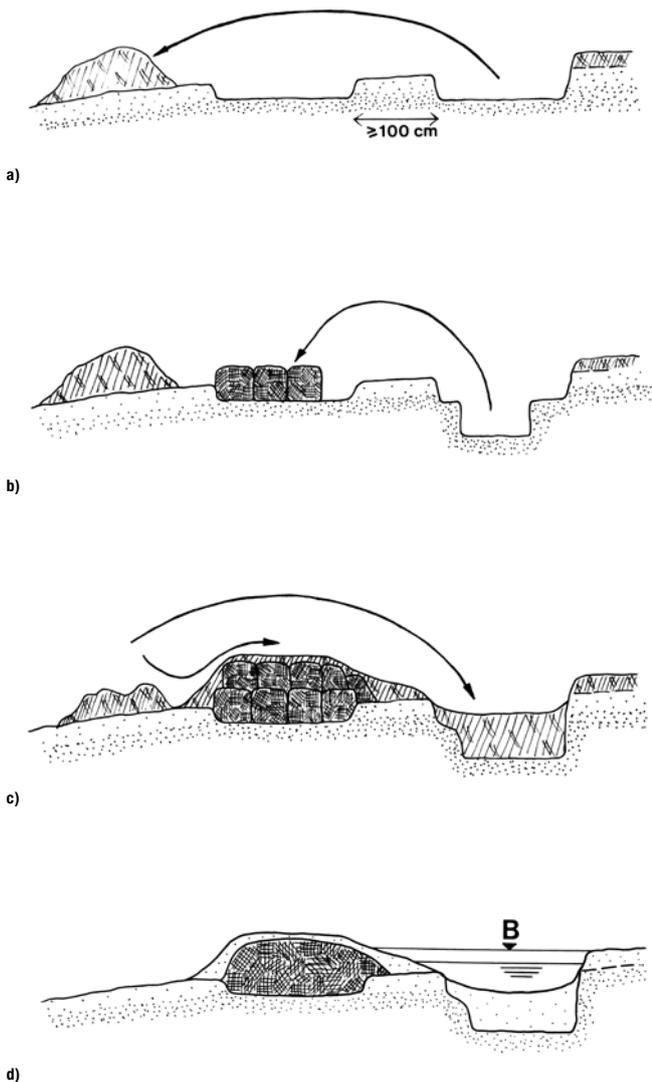


Abb. 36 a-d) Etappen der Errichtung eines Torfwalles (Querschnitt)

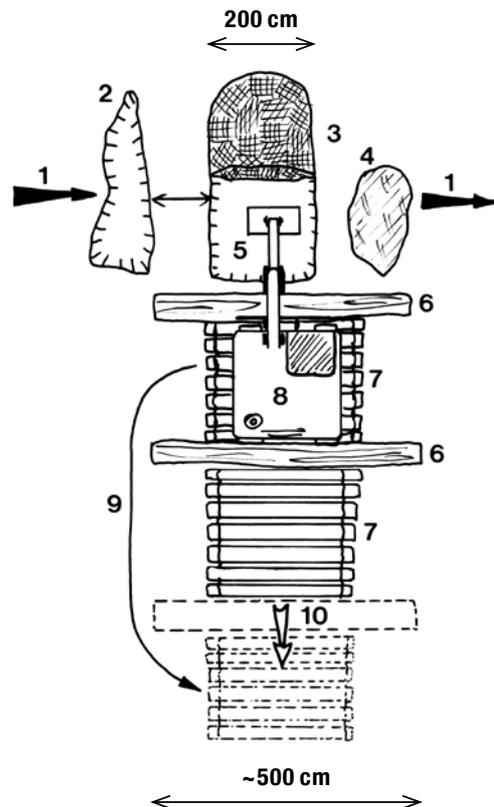


Abb. 37 Draufsicht der Baustelle; 1: Geländeneigung; 2: Fasertorf-Abbauzone; 3: Schwaden; 4: Ablagerung von zersetztem Torf; 5: Streifen, von dem der Torf abgehoben wurde; 6: Balken zur Stabilisierung; 7: Baggermatratze; 8: Bagger; 9: Zone für das Verlegen der Baggermatratze; 10: Arbeitsrichtung des Baggers

- d) Danach wird der Wall mit dem unterhalb gelagerten Aushub abgedeckt (5 bis 10 cm dick); den verbleibenden Rest des zersetzten Torfes in die Grube oberhalb des Walles füllen; dabei sanfte Böschungen formen, damit eine überflutbare Mulde zurückbleibt, welche der Fauna zugute kommen wird; ein Teil der Böschungen kann steiler bleiben, um die Vielfalt der aquatischen Lebensräume zu erhöhen (Abb. 36 c).
- e) Die endgültige Höhe des Walles darf 50 cm nicht übersteigen; beim Bau der Wälle muss berücksichtigt werden, dass der Torf in den ersten Jahren noch 10 bis 20 cm sacken wird; deshalb muss der Wall entsprechend höher gebaut werden. Die Spitze des Walles wird ausgeebnet und die Seitenhänge werden zu sanften Böschungen geformt (Verhältnis 1:2); B = maximaler Wasserstand.
- f) Die relative Höhe der Torfwälle ist mit einem Laser-Nivellierinstrument regelmässig zu kontrollieren (zum Beispiel nach jedem Meter); liegt die Krone des Walles unter dem Niveau des Überlaufes, wird dort ein Überlauf und die Erosion des Walles unvermeidbar sein.
- g) In der Nähe liegende Plaggen können zum Abdecken des Walles verwendet werden, um die Wiederbesiedlung einzuleiten.
- h) mit dem Bagger rückwärts fahren und eventuell die Matratzenlage versetzen; den ganzen Vorgang für das nachfolgende Teilstück wiederholen (Abb. 37)
3. Erstellen der Überläufe
- a) An der Stelle, wo der Überlauf stehen soll, wird der zersetzte Torf an der Oberfläche entfernt; dies nicht nur auf der Grundfläche des Walles, sondern zusätzlich jeweils etwa 1 m auf beiden Seiten der Basis des Walles.
- b) Vorbereiten der Schalungsplatten: Löcher für PVC-Rohre bohren; die Löcher müssen genau dem Durchmesser der verschiedenen zu verwendenden Rohre entsprechen; sie sind so zu bohren, dass die Dichtigkeit zwischen Platte und Rohr gewährleistet ist, wenn sich das Holz durch den Kontakt mit Wasser ausdehnt.
- c) Einsetzen der Holzplatte mit Hilfe des Kleinbaggers in den Torf (für Details siehe Kapitel 3.3.1) bezogen auf die Mittellinie des Walles leicht bergwärts versetzt; die Platte darf noch nicht bis in ihre endgültige Tiefe eingesetzt werden, damit sie nach dem Einsetzen des Rohres noch angepasst und die Neigung des Rohres eingestellt werden kann.
- d) Rohr durch das Loch der Platte schieben und Platte in ihre definitive Lage bringen; dabei darauf achten, dass das Gefälle des Rohres stimmt; zudem muss das untere Rohrende gegenüber der Umgebung erhöht liegen, um jederzeit einen freien Abfluss zu gewährleisten; um jedoch eine zu starke Erosion im Mündungsbereich des Rohres zu vermeiden, sollte diese Höhendifferenz 10 cm nicht übersteigen. Es kann auch eine Platte unterhalb der Rohrmündung angebracht werden, die dafür sorgt, dass das Wasser zum Rinnen kommt, bevor es den Torf erreicht. Dadurch wird das Risiko einer rückschreitenden Erosion stark vermindert. Das obere Rohrende muss so liegen, dass das Rohrknie und das vertikale Rohrstück eingebaut werden können. Dieses wird die maximal aufgestaute Wasserhöhe bestimmen (maximal 30 cm von der Wallbasis aus gemessen!); im Allgemeinen genügt ein Gefälle von einigen Promille für einen guten Wasserabfluss im Rohr; ist hingegen das Gefälle zu gross, erhält das Wasser beim Austritt zu starke

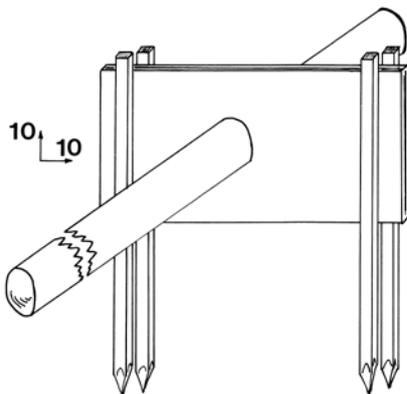


Abb. 38 Durch Holzplatte geschobenes Rohr, Masse in cm

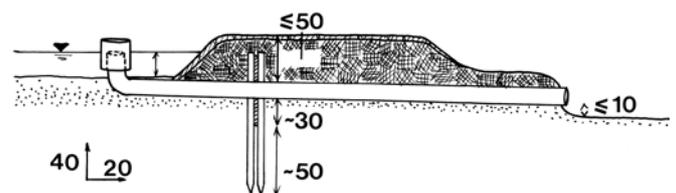


Abb. 39 Längsschnitt eines Überlaufes mit Rohrknie, Masse in cm

Kraft und würde die Erosionsgefahr im Mündungsbereich des Rohres beträchtlich erhöhen.

- e) Die Platte wird mit Hilfe der 4 Pfähle verankert, indem diese senkrecht, an beiden Enden und auf beiden Seiten der Platte in den Boden gerammt werden; nach Bedarf können die Pfähle an die Platte geschraubt werden (Abb. 38)
- f) Das gesamte Bauwerk (Rohre, Platte und Pfähle) wird bis an beide Rohrenden mit fasrigem Torf aus der Grube oberhalb des Walles abgedeckt (PVC ist nicht UV-beständig); das Rohrknie und das senkrechte Rohr bleiben frei, da sie später im Prinzip unter Wasser stehen werden.
- g) Rohrknie und senkrecht Rohr einbauen; Letzteres wird auf der gewünschten Höhe abgesägt.
- h) Eine Muffe über das Rohrende des vertikalen Rohres stülpen und mit drei Bolzenschrauben am Ende des senkrechten Rohres befestigen; die Muffe besteht aus einem PVC-Rohrstück, das einen etwas grösseren Durchmesser hat als das Abflussrohr des Überlaufes; auf diese Weise kann das Wasser nur über die beiden ineinandergeschachtelten Rohren durch den Überlauf abfließen; schwimmendes Material (abgestorbene Pflanzen, Torfklumpen usw.) verstopft so den Abfluss nicht (Abb. 39 und 40).

Nach Abschluss der Bauarbeiten an den Terrassen kann man zur Bepflanzung der Flächen gemäss Anleitung im Kapitel 2.3.1 übergehen. Die nassen Terrassen hinter den Wällen müssen zuerst bepflanzt werden. Eine Bepflanzung der Wälle zu ihrer Stabilisierung ist nur dann notwendig, wenn Erosion auftritt.

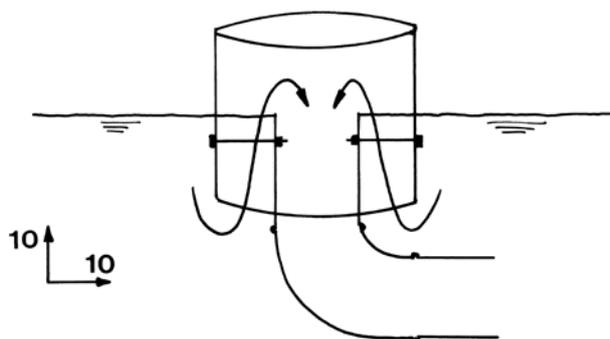


Abb. 40 Radialschnitt der Muffe am Rohreinlauf, die das Eindringen von schwimmendem Material verhindert; Abmessungen in cm

Nach Beendigung des Eingriffs

Erfolgskontrolle der durchgeführten Massnahmen

- > Funktionieren der Überläufe überprüfen; wenn sie richtig funktionieren, sollte keine Erosion auftreten.
- > 1 bis 2 Jahre nach Abschluss der Arbeiten Terrassen kontrollieren und allfällige Spuren von Erosion aufnehmen; ist die Erosion sehr ausgeprägt, sollte der Bau zusätzlicher Wälle in Betracht gezogen werden, um das Wasser zu bremsen, oder es können weitere Überläufe eingebaut werden.
- > Bei sichtbaren Spuren von Erosion an den Wällen sollten diese verfestigt und bepflanzt werden.
- > Kapitel 2.3.1 gibt Auskunft über das Kontrollprogramm nach einer Bepflanzung.

Kontrollprogramm

Langfristig gesehen wird mit der Durchführung der Massnahme eine Wiederansiedlung von Torfmoosen angestrebt, welche unter dem Schutz der Pionierpflanzen günstige Wachstumsbedingungen vorfinden. Bereits jetzt ist es wichtig, ein mittel- bis langfristiges Kontrollprogramm (5 bis 20 Jahre) zu erstellen.

Folgende Punkte sollten in einem vollständigen Kontrollprogramm beurteilt werden:

- > nach neuen, typischen Hochmoorarten (*Drosera rotundifolia* usw.) suchen und diese, mit Datum versehen, in eine Karte eintragen;
- > Dauerüberwachungsflächen oder Transekte erstellen, um ein Wiederansiedeln von Torfmoosen nachweisen zu können;
- > Wiederansiedlung der Fauna als Folge der Massnahmen;

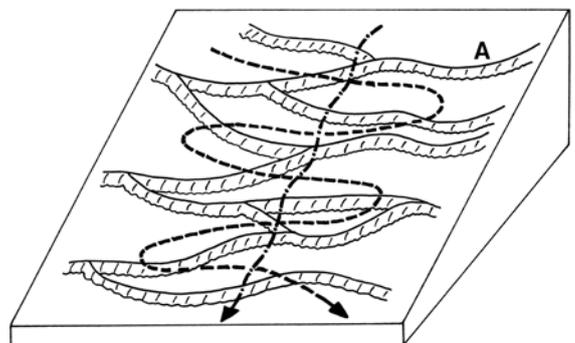


Abb. 41 Wasserverlauf vor (- - -) und nach (---) dem Bau von Wällen (A); die Massnahme ermöglicht eine Verlängerung des Wasserverlaufes und dadurch eine Verringerung der Erosionskraft; gleichzeitig wird ein grosser Teil der Fläche wiedervernässt.

> Achtung

Ausbessern und Flickern des Bauwerks führt zu Beeinträchtigungen und hohen Kosten. Deshalb ist äusserst sorgfältig zu arbeiten, damit das Werk gleich beim ersten Mal gelingt.

- > regelmässige Kontrolle der Wallhöhe, um das natürliche Sacken des Torfes beurteilen zu können und einem Überlaufen vorzubeugen

2.3.3 Befestigung und Bepflanzung von stark geneigtem Gelände

Voraussetzung für das Verständnis dieses Kapitels ist das Studium der Kapitel 2.1 bis 2.3. Im vorliegenden Kapitel werden die einzelnen Schritte zur Befestigung und Bepflanzung eines stark geneigten Geländes erklärt. Ziel dieser Massnahmen ist, den Wasserabfluss zu bremsen und die Wiederansiedlung der Vegetation zu fördern. Dabei liegt der Schwerpunkt vor allem bei den Vorbereitungsarbeiten für die Befestigung des Geländes.

Beschreibung der Massnahme

Diese Massnahme eignet sich vor allem für voralpine und alpine Hochmoore, die häufig stark geneigtes Gelände aufweisen und deren nackte Torfflächen starker Erosion ausgesetzt sind. Sie ist auch für die geneigten abgetorften und nackten Flächen jurassischer Moore sehr gut verwendbar.

Bei Flächen mit starker Neigung (über 2%) muss das Gelände zuerst mit Torfwällen befestigt werden, um die Erosion einzudämmen und das Gelände wieder zu vernässen. Ziel der Massnahme ist, eine netzartige Struktur von aufeinanderfolgenden Wällen zu bilden, zwischen denen jeweils überschwemmte Vertiefungen liegen, ähnlich dem Muster skandinavischer Strangmoore oder «aapa». Dabei soll durch die maximale Verlängerung des Abflussweges die Erosionskraft verringert werden (Abb. 41). Die dadurch entstandenen Bedingungen begünstigen die spontane Wiederansiedlung einer hochmoortypischen Vegetation in den Senken (Schmalblättriges Wollgras, *Eriophorum angustifolium*, zum Beispiel). In solchen Strukturen ist langfristig sogar eine Rückkehr der Torfmoose möglich (Abb. 42 bis 44).

Zur Befestigung der Torfwälle können in einer zweiten Phase die klassischen Bepflanzungstechniken eingesetzt werden. Dies ist dann empfehlenswert, wenn Zeichen von Erosion auftauchen oder zu befürchten sind, oder auch, um die Wiederansiedlung der Vegetation in den Vertiefungen zu beschleunigen.

Zielsetzungen

- > Befestigung stark geneigter, nackter Torfflächen nach Beeinträchtigungen und verschiedenen Arbeiten
- > Bildung von Wasserflächen zwischen den Wällen zur Förderung der Wiederansiedlung der hochmoortypischen Vegetation
- > Verlängerung des Wasserlaufes zwecks Verringerung des Abflusses und Verminderung der Erosionskraft
- > Verringerung der Wasserstandsschwankungen durch Erhöhen der Speicherkapazität
- > Verbesserung des Landschaftsbildes

Bevor ein Eingriff vorgenommen wird ...**Welche Punkte sind zu beachten?****Negative Auswirkungen und Vorsichtsmassnahmen**

Die Arbeiten für den Bau der Wälle müssen mit einem Kleinbagger ausgeführt werden. Solche Arbeiten können aber negative Auswirkungen auf den Lebensraum haben. Die Bedeutendsten sind:

- > Zerstörung der bestehenden Vegetation durch den Kleinbagger;
- > Verdichtung und Zerstörung der Torfstruktur.

Kapitel 2.3 enthält Vorschläge zur Verminderung von Beeinträchtigungen bei der Bepflanzung. Bei der Befestigung des Geländes sind weiter folgende Vorsichtsmassnahmen zu treffen:

- > Fahrstrecke des Kleinbaggers vorher genau planen und mit Markierbändern klar bezeichnen; sie soll so festgelegt werden, dass empfindliche Vegetationsbereiche geschont werden.
- > mit den Arbeiten am entferntesten Punkt beginnen, um so schrittweise zum Zugangsort der Maschine zurückzukommen, ohne bereits umgestaltete Abschnitte durchqueren zu müssen
- > Der Bagger muss unbedingt auf Matratzenlagen (mit Seilen zusammengehängte kleine Holzbalken) gefahren werden, deren Gewicht und Grösse dem Arbeitsbereich der Maschine angepasst werden; die Erfahrung hat gezeigt, dass zwei zusätzliche dicke Balken mit einer Länge von 4 bis 5 Metern bei den Bewegungen ganz beträchtlich zur Stabilität der Maschine beitragen (indem zum Beispiel der Schild des Kleinbaggers darauf gedrückt wird oder indem man die Raupen darauf vorwärts bewegt).
- > Mit Vorteil wird eine ziemlich schwere Maschine verwendet (10 bis 12 Tonnen), welche in der Lage ist, die Matratzenlage problemlos zu verschieben; Bagger mit breiten Eisenraupen (Gummiraupen sind ungeeignet, da

sie auf der Matratzenlage gleiten, wenn diese mit feuchtem Torf bedeckt ist).

- > Falls die Maschinen auf intakten Teilstücken ohne Matratzenlage bewegt werden, ist ein Drehen an Ort unbedingt zu vermeiden, denn dadurch würde die den Wasserhaushalt des Moors regulierende Vegetation sowie auch das Akrotelm mit seinen besonderen Strukturen zerstört.

Schwierigkeiten bei der Umsetzung und Ratschläge

- > Durch die Torfausbeutung wurde das Gelände beträchtlich verändert und die Struktur des Torfes zerstört; die Folge ist eine starke Instabilität, die nicht unbedingt sofort erkennbar ist; die oberste Torfschicht kann ausgetrocknet sein, und es kann sich eine mehr oder weniger kompakte Kruste gebildet haben, die man sogar begehen kann; trotzdem darf das Risiko des Einsinkens mit schweren Maschinen nicht unterschätzt werden; deshalb ist es notwendig, die instabilen Zonen vorher ausfindig zu machen (zum Beispiel mittels Sondierungen) und diese mit Bändern zu markieren.

- > Mit dem Bau der Wälle ist nach Möglichkeit oben zu beginnen und die Arbeit nach unten fortzusetzen; dies ist vor allem dann von Bedeutung, wenn die Arbeiten auf mehrere Jahre (mehrere Etappen) verteilt werden. Würde unten begonnen, bestünde das Risiko, eine oberhalb liegende Fläche, wo ein neuer Wall zu erstellen wäre, zu überschwemmen und somit für die Maschinen unpassierbar zu machen. Aufgrund der Einschränkungen im Zusammenhang mit den Zugangswegen kann es aber durchaus vorkommen, dass man gezwungen ist, vom erwähnten Prinzip abzuweichen.
- > Da die Wälle häufig eng aufeinanderfolgen, kann es vorkommen, dass der verfügbare Torf für den Bau der Wälle knapp wird; für diesen Fall ist ein Entnahmeort in der Nähe auf der Basis eines Pflegeplans und im Einvernehmen mit den Verantwortlichen vorzusehen, der möglichst wenig beeinträchtigt werden muss.

Zuverlässigkeit und Sicherheit

Die hinter den Wällen entstehenden Wasseransammlungen bringen eine nicht zu unterschätzende Gefahr von Brüchen



Abb. 42 Entwicklung einer instandgesetzten Fläche, Eggwil (BE), Kantonales Naturschutzgebiet Steinmösli, nach Abschluss der Arbeiten (1998)

oder Erdrutschen mit sich. Die Wälle sollten deshalb, unter Berücksichtigung der folgenden Vorsichtsmassnahmen, mit grösster Sorgfalt erstellt werden:

- > Die Massnahme eignet sich nur für Gelände, dessen maximale Neigung nicht über 5–6% liegt; da die Anzahl der Wälle von der Neigung abhängig ist, müssten die Wälle bei stärkerer Neigung sehr nahe beieinander liegen, was jedoch ihre Konstruktion verunmöglichen würde.
- > Die Wälle sollten unbedingt mit Kokos- oder Jutefasermatten verstärkt werden; ohne diese kann die Stabilität des Bauwerks nicht garantiert werden. Kokosfasern sind langlebiger als Jutefasern.
- > Nach dem Anpressen und Sacken des Torfes dürfen die Wälle nicht höher als 40 bis 50 cm sein; ihre Breite sollte zwischen 1 bis 1,5 m liegen.
- > Um den Druck an der Basis des Walles zu begrenzen, darf der maximale Wasserstand hinter dem Wall nicht zu hoch sein (maximal 40 cm).
- > Jeder Wall ist mit einem festen Überlauf zu versehen, damit er bei starkem Regen und während der Schneeschmelze nicht erodiert wird; die Überläufe sind so

anzuordnen, dass der Wasserlauf maximal verlängert wird, um dadurch die Erosionkraft zu verringern; im Gegensatz zur Massnahme im Kapitel 2.3.2 werden hier aus praktischen Gründen anstelle von PVC-Rohren Überläufe aus Kokosmatten empfohlen.

- > Die relative Mächtigkeit der obersten Torfschicht, deren Struktur als Folge der Torfausbeutung zerstört wurde, kann einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf den Ablauf der Arbeiten haben. Für den Bau der Wälle ist unbedingt intakter Torf zu verwenden (rostfarbener, faseriger, wasserundurchlässiger Torf), der Wall sollte ebenfalls auf intaktem Torf aufliegen, um das Risiko von Infiltrationen (und folglich von Brüchen) möglichst gering zu halten; zersetzter Torf muss deshalb vorher entfernt und vorübergehend zwischengelagert werden.
- > Während der Entnahme des Torfes für den Bau der Wälle ist unbedingt darauf zu achten, dass der undurchlässige Untergrund nicht durchstochen wird (zum Beispiel die Lehmschicht), denn Infiltrationen könnten das errichtete Netz von Wällen wirkungslos machen; folglich muss die Mächtigkeit der Torfschicht bekannt sein.



Abb. 43 Entwicklung einer instandgesetzten Fläche, Eggwil (BE), Kantonales Naturschutzgebiet Steinmösli, zwei Jahre nach Abschluss der Arbeiten (2000)

Kombinieren von Massnahmen

- > Falls Entwässerungsgräben Wasser aus dem Moor ableiten und dieses austrocknen, ist es empfehlenswert, das Errichten von Wällen mit dem Bau von Dämmen oder dem Verfüllen von Gräben zu kombinieren (siehe Kapitel 3).

Technische Parameter

- > Eine ausgezeichnete Grundlage zur genauen fotogrammetrischen Kartierung der zu regenerierenden Flächen sind Infrarot-Luftaufnahmen (Falschfarben; 1:5000 oder 1:10000) oder noch besser Ortholuftbilder der Eidg. Vermessungsstelle (KSL, Neugutstrasse 66, 8600 Dübendorf); das Gelände kann auch mit einem Theodoliten vermessen werden; die Fotointerpretation hingegen bietet zusätzlich zu den Höhenlinien den Vorteil der direkten Rekonstruktion der Informationen aus den Luftaufnahmen (Vegetationsgrenzen, Bodenfeuchtigkeit, Lage verschiedener Elemente wie kleine Erhebungen, Torfstiche, Gräben, Erosionszonen oder Wasseransammlungen; die Ortholuftbilder bieten eine maximale Genauigkeit von 5 cm; sie basieren auf Referenzpunkten, auf bekannten,

mit dem Theodoliten oder einem GPS im Feld aufgenommenen Koordinaten und erlauben so die Verzerrungen der Luftaufnahmen zu korrigieren (sogenannte entzerrte Luftaufnahmen).

- > Zur Ermittlung der Torfmächtigkeit und -qualität werden mit einem Torfbohrer (Russenbohrer) Sondierungen durchgeführt (Eijelkamp Agrisearch Equipment, P.O. Box 4, 6987 Griesbeek, The Netherlands; Vertretung für die Schweiz: Agba Instrumente AG, Zentralstrasse 42, 6030 Ebikon; Modell: 04.09 Peat sampler; siehe auch das von Buttler et al. 1998 vorgestellte Modell).
- > Das zu verschiebende Torfvolumen schätzen; eine Karrette auf Raupen kann für den Torfransport nützlich sein (zum Beispiel für den Abtransport des zersetzten Torfes).
- > Länge der zu errichtenden Wälle berechnen, um die zur Stabilisierung der Wälle nötige Menge an Kokosmatten zu ermitteln

Zeitpunkt der Durchführung

Wegen der Maschinen ist eine trockene Jahreszeit, vorzugsweise Juli bis September, zu wählen. Arbeiten bei gefrorenem



Abb. 44 Entwicklung einer instandgesetzten Fläche, Eggwil (BE), Kantonales Naturschutzgebiet Steinmösli, vier Jahre nach Abschluss der Arbeiten (2002)

Boden sind zu vermeiden; gefrorener Torf kann nicht bearbeitet werden, und es besteht die Gefahr, dass sich die Bauwerke verformen. Zudem zerstört Frost die Struktur des Torfes und macht ihn für den Bau von Wällen unbrauchbar.

Werkzeuge

Bau von Torfwällen und Überläufen:

- > Kleinbagger (10 bis 12 Tonnen, mit Eisenraupen)
- > Matratzenlage zur Stabilisierung des Baggers; 1–2 Balken von 4–5 m Länge
- > Holzpföcke (mindestens 80 cm lang) und Markierband
- > Torfbohrer
- > Laser-Nivellierinstrument, Messlatte
- > Messer zum Schneiden der Kokosmatte
- > Rundschaufeln
- > Schubkarren auf Raupen (nach Bedarf)
- > eventuell Bauholz Bretter und Rundholz (Holzpasserelle)

Bepflanzung der Wälle:

- > Rundschaufel
- > Schubkarre
- > Pflanzholz
- > Giesskanne
- > Stiefel, Gartenhandschuhe

Baumaterial

- > gewobene Kokosfasermatten 700 g/m², in Rollen von 2 m Breite und 50 m Länge
- > für die Überläufe dreidimensionale, gestrickte Kokosfasermatten 1200 g/m², in Rollen von 1 m Breite und 30 m Länge
- > Holzpfähle, 100 cm lang und 8–10 cm dick zum Befestigen der Matte; ungefähr 1 Pfahl pro 2 m Wall

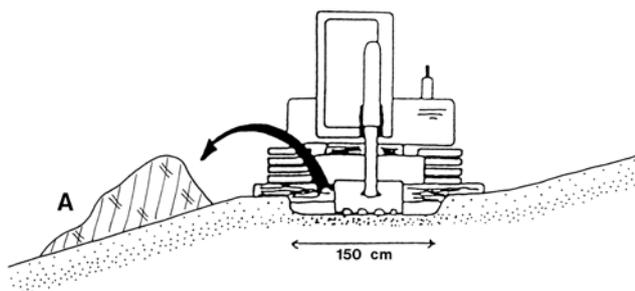


Abb. 45 Abtragung des zersetzten Torfes

Personal

Die Arbeiten erfordern qualifiziertes Personal; der Baggerführer sollte in der Lage sein, präzise und gewissenhafte Arbeit zu leisten, um die Funktionssicherheit und Ebenmässigkeit der Wälle zu gewährleisten; er sollte ein Laser-Nivellierinstrument bedienen können, damit die relative Wallhöhe auf der gesamten Länge gleich bleibt. Mit Vorteil verfügt das Personal über Erfahrung im Umgang mit Kokosmatten, denn dies erfordert grosse Geschicklichkeit (Verankerungen, Kurven, Überläufe).

Betreuung

- > Die Anordnung und das Errichten der Wälle erfordern spezifisches Fachwissen; der Planungsbeauftragte muss über Erfahrungen in der Betreuung von Hochmooren verfügen.
- > Eine ständige Betreuung während der Bauphase ist unerlässlich.

Kosten

- > Löhne der Arbeiter
- > Honorare für Planung, Betreuung und Bauleitung
- > Miete Kleinbagger: zwischen Fr. 120.– und Fr. 200.–/h, einschliesslich Lohn des Baggerführers, ohne Transportkosten
- > gewobene Kokosfasermatte 700 g/m²: etwa Fr. 8.–/m²
- > gestrickte Kokosfasermatte 1200 g/m²: Fr. 12.–/m²
- > falls nötig, Miete für Schubkarren auf Raupen
- > eventuell Werkzeuge, Kleinmaterial (Holzpföcke, Holzpfähle, etc.)

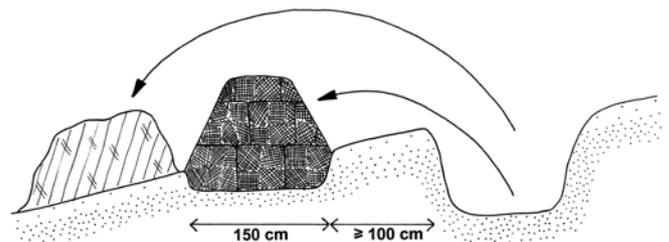


Abb. 46 Errichtung des Walles mit Torf von guter Qualität, der weiter oben entnommen wurde

Ausführung der Arbeiten

Planung der Torfwälle

Die Positionierung der Wälle sind in erster Linie von der Topografie abhängig und folglich situationsspezifisch anzupassen unter Berücksichtigung der Grenzen der Hangneigung und der Wälle (siehe oben). Notwendig sind:

- Karte (Massstab 1:1000 oder 1:500) des zu regenerierenden Gebietes erstellen; darauf ist Folgendes einzutragen:
 - > Höhenlinien (mindestens alle 50 cm);
 - > die verschiedenen Wasserabflüsse an der Oberfläche;
 - > überschwemmbar Zonen auf den Terrassen;
 - > Erosionszonen.
 Diese Informationen ergeben ein genaues Bild des Wasserabflusses an der Oberfläche, welcher die zu realisierenden Gestaltungsmassnahmen wesentlich beeinflusst.
- Mit Hilfe dieser Informationen ist die allgemeine Anordnung der Wälle festzulegen; grundsätzlich ist jenen Stellen der Vorrang zu geben, an denen sich das Wasser natürlich ansammelt, danach wird das Wallsystem entsprechend der Topografie ergänzt.
- Das Gefälle bestimmt den Abstand der Wälle: je grösser das Gefälle, desto enger liegen die Wälle (Abb. 32, Seite 33); in der Regel ist der Abstand der Wälle so festzulegen, dass der maximale Wasserspiegel des durch den unteren Wall zurückgehaltenen Wassers mindestens bis zum Fuss des oberen Walles reicht; praktisch ist diese Regel nur selten anwendbar: Meistens muss man sich damit zufrieden geben, das Beste aus den Gegebenheiten des Geländes zu machen!
- Um ein Überlaufen zu vermeiden, muss die Krone eines Walles auf einem bestimmten Niveau bleiben. Von einem bekannten Fixpunkt aus ist die Krone der einzelnen Wälle mit einem Nivelliergerät genau zu nivellieren. Lage und

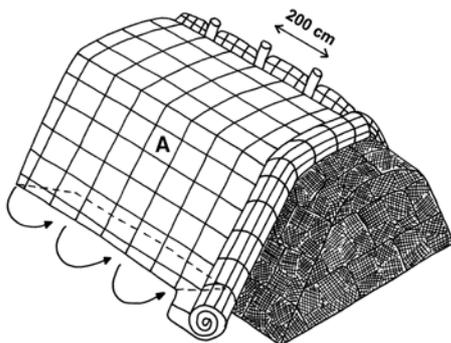


Abb. 47 Auslegung der Kokosmatten

Höhe der Wälle auf die Karte oder die entzerrte Luftaufnahme übertragen.

- Die Lage der Überläufe bestimmt den Wasserabfluss; dieser ist dadurch zu bremsen, indem sein Lauf maximal verlängert wird. Diese Punkte vorausplanen und in die Karte oder die entzerrte Luftaufnahme eintragen.
- Zur Bestimmung von Mächtigkeit und Qualität des Torfes werden am Ort der zukünftigen Wälle Sondierungen durchgeführt (rostfarbener, faseriger Torf von guter Qualität oder schwarzer, zersetzter Torf); Mächtigkeit des zersetzten Torfes bestimmen, der vor dem Errichten der Wälle entfernt werden muss; vorübergehende Lagerorte festlegen und auf die Karte oder auf die entzerrte Luftaufnahme übertragen.
- die Reihenfolge, in der die Wälle zu bauen sind, in die Karte eintragen
- instabile Zonen bestimmen und ebenfalls in die Karte einzeichnen
- Zugangswege und Fahrstrecken für die Maschinen planen; Baustelle organisieren (siehe auch Kapitel 3.3) und Fahrstrecken des Kleinbaggers für die Oberflächenbearbeitung und den Bau der verschiedenen Wälle festlegen

Errichten der Torfwälle

Die Torfwälle werden in drei Etappen erstellt: 1) Markieren der Lage der Wälle im Gelände; 2) Errichten der Torfwälle und parallel dazu, 3) Erstellen der Überläufe.

1. Markierung

- Die genaue Lage der Wälle wird mit Pflocken im Abstand von 2 bis 5 m markiert; dabei richtet man sich nach dem zuvor erstellten detaillierten Plan; eine Orthofotoaufnahme und ein GPS garantieren eine maximale Präzision.
- Lage der Überläufe markieren

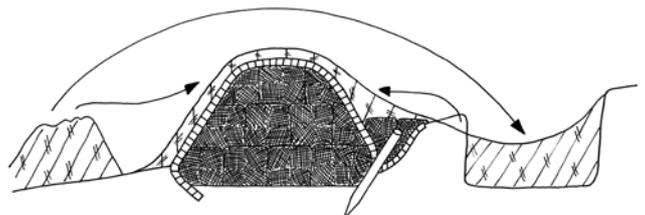


Abb. 48 Querschnitt des Walles mit verankerter Kokosfasermatte und Torfabdeckung

- c) zu meidende instabile Zonen markieren
- d) Fahrstrecke des Kleinbaggers markieren

2. Bau der Wälle

Die Wälle werden in kleinen, aufeinanderfolgenden Abschnitten von 2 bis 3 m errichtet, indem der Bagger schrittweise rückwärts bewegt wird. Beim Auslegen der Kokosmatten ist besonders sorgfältig vorzugehen, denn diese Arbeit wird in grossem Masse die Stabilität des Walles bestimmen. Das folgende Vorgehen bezieht sich nur auf einen Abschnitt. Es handelt sich um ein Standardvorgehen, das regelmässig den Gegebenheiten des Geländes anzupassen ist:

- a) Mit Hilfe des Kleinbaggers wird an einem Ende des zukünftigen Walles auf etwa 1,5 m Breite der mineralisierte Torf entfernt (schwarz, schlammig, mit wenig Struktur); abhängig von der Dicke des zersetzten Torfes wird mehr oder weniger Material abgehoben und unterhalb des künftigen Walles zwischengelagert (A, Abb. 45).

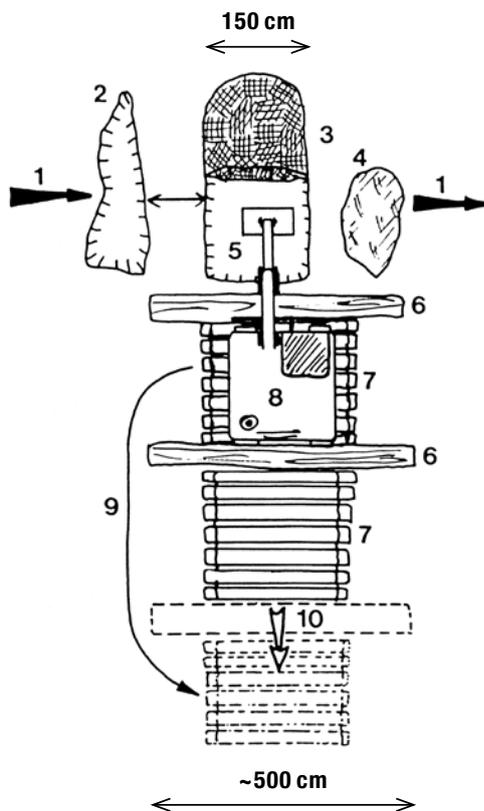


Abb. 49 Draufsicht der Baustelle; 1: Geländeneigung; 2: Fasertorf-Abbauzone; 3: Schwaden; 4: Ablagerung von zersetztem Torf; 5: Streifen, von dem der Torf abgehoben wurde; 6: Balken zur Stabilisierung; 7: Baggermatratze; 8: Bagger; 9: Zone für das Verlegen der Baggermatratze; 10: Arbeitsrichtung des Baggers

- b) Oberhalb des Walles, aber mehr als einen Meter von seiner Basis entfernt, wird die Torfschicht bis auf wenig zersetzten, rost-braunen, faserigen Torf abgehoben und ebenfalls unterhalb des künftigen Walles zwischengelagert. Aus dieser Fläche werden grosse Blöcke des wenig zersetzten Torfes entnommen und zum Errichten des Walles aufeinandergeschichtet; durch Anpressen der Blöcke erhält der Wall seine Form und Festigkeit. Die Basis des Walles soll etwa 1,5 m breit sein; falls die Wälle sehr eng liegen, ist es ratsam, einen andern Entnahmeort zu suchen (Abb. 46).
- c) Aus praktischen Gründen wird empfohlen, im Voraus ein Stück Kokosmatte 700 g/m^2 (A, Abb. 47) von 8–10 m Länge zuzuschneiden (oder so lang, dass sie bis zum ersten Überlauf reicht), um nicht die ganze Rolle bewegen zu müssen; die Matte auf dem Wall auslegen; unterhalb des Walles die Matte von Hand oder mit einer Schaufel in den Torf einfalzen; darauf achten, sie nicht zu zerreißen; oberhalb des Walles wird die Matte verankert, indem alle zwei Meter Holzpfähle schräg (etwa 45°) eingeschlagen werden; an beiden Enden des Walles wird die Matte ebenfalls mit 1 oder 2 Pfählen befestigt.
- d) Danach den Wall mit dem unterhalb gelagerten Aushub abdecken und gut anpressen (10 cm Dicke); einige Blöcke des faserigen Torfs auf die Pfähle geben, um sie gut zu befestigen; an der oberen Seite des Walles die Kokosmatte gut abdecken, indem der Torf gegen den Wall gezogen wird, dadurch entsteht eine sanfte Böschung der zukünftigen Schlenke; den verbleibenden Rest des zersetzten Torfes in die Grube oberhalb des Walles füllen (Abb. 48).
- e) Die endgültige Höhe des Walles darf 40–50 cm nicht übersteigen; beim Bau der Wälle muss berücksichtigt werden, dass der Torf in den ersten Jahren noch etwa 10 cm sacken wird; deshalb muss der Wall

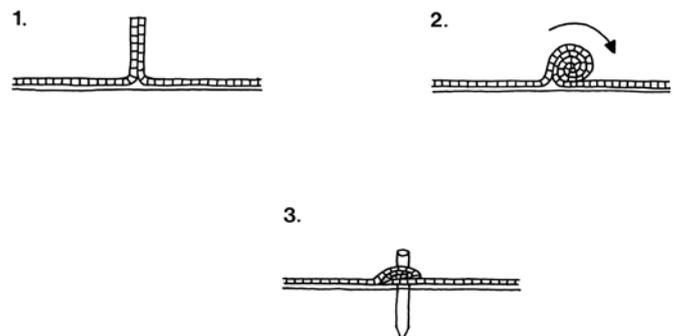


Abb. 50 Verbinden der Kokosmatten

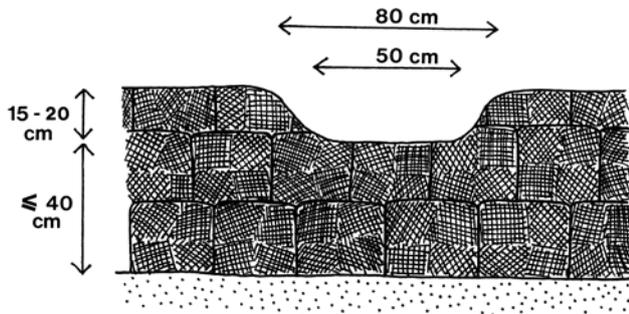


Abb. 51 Längsschnitt des Torfwalles mit Schwelle für den vorgesehenen Überlauf

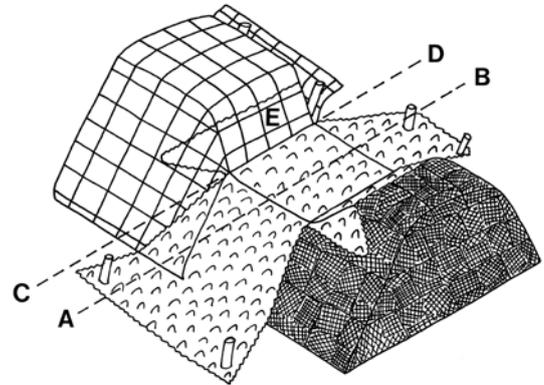


Abb. 52 Verlegen der Kokosmatten, Querschnitte A-B und C-D: vgl. Abb. 53 und 54

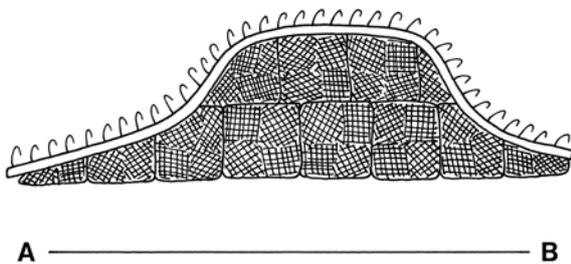


Abb. 53 Querschnitt A-B zu Abb. 52

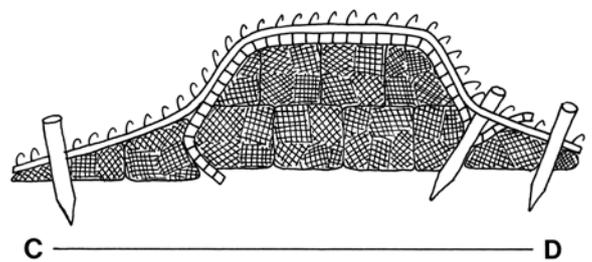


Abb. 54 Querschnitt C-D zu Abb. 52

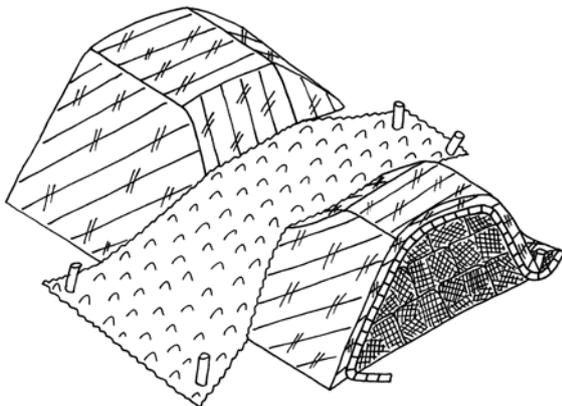


Abb. 55 Fertig erstellter Überlauf



Abb. 56 Mit Kokosmatten ausgelegter Überlauf an einem Torfwall, Eggwil (BE), Kantonales Naturschutzgebiet Steinmösli

entsprechend höher gebaut werden. Die Krone des Walles wird ausgeebnet und die Seitenhänge zu sanften Böschungen geformt, im Verhältnis 1:1 bis 1:2.

- f) Die relative Höhe des Walles ist mit einem Laser-Nivellierinstrument regelmässig zu kontrollieren (zum Beispiel nach jedem Meter); liegt die Krone des Walles unter dem Niveau des Überlaufes, wird dort ein Überlaufen und die Erosion des Walles unvermeidbar sein.
- g) In der Nähe liegende Plaggen können zum Abdecken des Walles verwendet werden, um die Wiederbesiedlung einzuleiten.
- h) mit dem Bagger rückwärts fahren und eventuell die Matratzenlage versetzen; den ganzen Vorgang für das nachfolgende Teilstück wiederholen (Abb. 49)
- i) Bei langen Teilstücken eines Walles müssen unter Umständen mehrere Bahnen der Kokosmatte verwendet werden; diese Bahnen müssen miteinander sehr fest

verbunden werden, und zwar folgendermassen: Die beide Matten an den Enden je 40 cm doppelt nehmen; diese Doppellage aufrollen und mit 4 Pfählen am Wall befestigen (Abb. 50).

3. Erstellen der Überläufe

- a) Der Überlauf wird während des Baues des Walles erstellt; an der Stelle, die für den Überlauf vorgesehen ist, wird die Höhe des Walles um 15 bis 20 cm verringert, indem eine Art Schwelle von 80 cm Breite geformt wird; die Höhe der Schwelle bestimmt den Wasserstand, den der Wall zu halten vermag; diese Höhe darf 40 cm nicht übersteigen (Abb. 51).
- b) die gewobene Kokosmatte (700 g/m²) so zuschneiden, dass sie bis zur Schwelle des Überlaufes reicht; von der gestrickten Kokosmatte (1200 g/m²) in Kreuzform ein Stück von 2 × 1 m zuschneiden und auf die Schwelle



Abb. 57 Spuren von Erosion an einem Wall, Eggiwil (BE), Kantonales Naturschutzgebiet Steinmösli



Abb. 58 Ausstechen von Stöcken von *Eriophorum angustifolium*



Abb. 59 Zerteilen der Stöcke



Abb. 60 Einpflanzen der Setzlinge von *Eriophorum angustifolium* an der Böschung des Walles

legen; nun die gewobene Matte auf der Höhe der Schwelle (E, Abb. 52) über die gestrickte Matte legen und zurückschlagen; die gewobene Matte an der unteren Seite des Walles im Torf befestigen; für die andere Seite des Walles gleich vorgehen; auf der unteren Wallseite einige Blöcke des faserigen Torfs unter die gestrickte Matte legen, beim Ausfluss des Überlaufes eine sanfte Böschung formen; die gestrickte Matte auf beiden Seiten mit Pfählen verankern (Ansicht A–B und C–D, Abb. 52 bis 54)

- c) Idealerweise steht die gestrickte Matte an der unteren Seite des Walles 30 bis 40 cm vor, um eine Unterspülung der Wallbasis zu verhindern; im Gegensatz zum Rest des Walles muss die Schwelle nicht mit Torf bedeckt werden; in den Maschen der Matte wird Feinmaterial hängenbleiben, die Fliessgeschwindigkeit des Wassers verringert und so die Erosion vermindert (Abb. 55 und 56).

Bepflanzen der Wälle

Das Bepflanzen der Wälle ist fakultativ. Es ist jedoch zu empfehlen, um zu vermeiden, dass bei starken Gewittern oder während der Schneeschmelze der Torf ausgewaschen und die Kokosmatte freigelegt wird (Abb. 57). Mit der Verwendung von *Eriophorum angustifolium*, einer ausläufertreibenden Art mit grosser Vitalität, können solche Bauwerke schnell stabilisiert werden, vorausgesetzt, die Feuchtigkeitsbedingungen sind günstig. Wie folgt vorgehen (siehe auch Kapitel 2.3.1):

- a) mit der Schaufel Stöcke (ungefähr 20 × 20 cm) des Wollgrases mit den Wurzeln ausstechen und zum Wall transportieren, der stabilisiert werden soll (Abb. 58)
- b) die Stöcke von Hand in 5 bis 6 Setzlinge zerteilen; dabei darauf achten, dass jeweils genügend Torf, Wurzeln und Ausläufer an der einzelnen Pflanze bleiben (Abb. 59)
- c) die Setzlinge im Abstand von 20 bis 30 cm einpflanzen; wenn der Torf genügend nass ist, kann von Hand gepflanzt werden, sonst mit einem Pflanzholz; danach den Torf um die Setzlinge von Hand anpressen (Abb. 60).
- d) Die neuen Setzlinge werden um so besser gedeihen, je näher sie dem Wasser stehen, wie zum Beispiel am Fuss der Wälle; wenn nach dem Pflanzen eine längere Trockenperiode folgt, kann es notwendig sein, die Setzlinge zu giessen.

Nach Beendigung des Eingriffs

Erfolgskontrolle der durchgeführten Massnahmen

- > Funktionieren der Überläufe prüfen, um eventuell vorhandene undichte Stellen abdichten zu können
- > ein paar Monate nach Abschluss der Arbeiten Spuren von Erosion auf den Wällen aufnehmen; falls die Erosion sehr ausgeprägt ist, eine neue Torfschicht auftragen und mit Setzlingen von *Eriophorum angustifolium* stabilisieren
- > Sprösslinge von Gehölzen auf den Wällen entfernen, bevor sie die Bauwerke beschädigen
- > Kapitel 2.3.1 gibt Auskunft über das Kontrollprogramm nach einer Bepflanzung.

Kontrollprogramm

Mit der vorgeschlagenen Massnahme wird eine Stabilisierung des Geländes angestrebt, indem Strukturen geschaffen werden, auf welchen sich die hochmoortypische Flora und Fauna ansiedeln kann (Abb. 42 bis 44). Bereits jetzt ist es wichtig, ein mittel- bis langfristiges Kontrollprogramm (15 bis 20 Jahre) zu erstellen.

Folgende Punkte sollten in einem vollständigen Kontrollprogramm beurteilt werden:

- > nach neuen für Hoch- oder Übergangsmoore typischen Pflanzenarten suchen (*Eriophorum vaginatum*, *Eriophorum angustifolium*, etc.) und diese, mit Datum versehen, in eine Karte eintragen
- > Dauerüberwachungsflächen oder Transekte erstellen, um ein Wiederbesiedeln durch die Pflanzen nachweisen zu können
- > Wiederansiedlung der Fauna als Folge der Massnahmen, besonders in den Wasserflächen
- > regelmässige Kontrolle der Wallhöhe, um das natürliche Sacken des Torfes beurteilen zu können und einem Überlaufen vorzubeugen. In Betracht ziehen, alle fünf Jahre einen Flug für eine Infrarot-Luftaufnahme (Falschfarben) zu organisieren, um den Fortschritt der Vegetation festzuhalten

Entwässerungsgräben

3 > Wassereinstau

Ein permanent oberflächennaher (Grundwasser-)stand ist der wesentliche Faktor bei der Wiederherstellung von günstigen (Lebens-)Bedingungen für die charakteristischen Hochmoorpflanzen und -tiere. Verschiedene Techniken erlauben es, alte Entwässerungsgräben wirksam zu stauen.

3.1 Grundlagen

In diesem Kapitel werden verschiedene Massnahmen vorgestellt, die dem Entwässern der Hochmoore durch offene Grabensysteme entgegenwirken sollen.

Definitionen

Zur Entwässerung von Hochmooren werden verschiedene Systeme angewandt; die drei Wichtigsten sind:

- > dichtes Netz von gelochten Dränageröhren (Sauger), die zu Sammlern und Vorflutern ausserhalb des Moores führen; diese Rohre werden so tief wie möglich eingegraben, oft bis auf den Kontakt zum mineralischen Untergrund.
- > Schlitzdränagen und Grabensysteme an der Oberfläche des Torfkörpers; Ausdehnung und Gefälle dieser Gräben sind sehr unterschiedlich; das Wasser wird in die Randbereiche oder in gross angelegte Gräben im Moorzentrum abgeleitet.
- > Durchstich von Moränenwällen oder Lehmriegeln, welche die Rolle eines natürlichen Dammes spielen; diese Art der Entwässerung wird in den Nordalpen häufig beobachtet.

Manchmal werden unterirdische Dränagesysteme mit Entwässerungsgräben kombiniert und direkt übereinander angelegt.

Folgende vier Arten von Massnahmen können angewandt werden, um dem Entwässern über offene Grabensysteme entgegenzuwirken:

- > **Damm:** eine solche Konstruktion dient dem Einstau von Entwässerungsgräben; Dämme haben jedoch nur im Umkreis des Bauwerks eine Wirkung auf den Grundwasserspiegel (Abb. 61 und 62 A); das seitliche Überlaufen trägt zusätzlich dazu bei, die umliegenden Flächen zu vernässen; an der angestauten Wasserfläche können sich bestimmte Arten von Torfmoosen ansiedeln; zusätzlich bewirkt sie eine Erhöhung der Vielfalt des Lebensraumes, welche die Mikrofauna (Wasserkäfer und Libellen) begünstigt.
- > **Grabenverfüllung:** Verfüllen eines Drainagegrabens mit Torf oder Sägemehl; die Grabenverfüllung vermag als einzige Technik den Wassersättigungsgrad im gesamten ausgetrockneten Gelände zu erhöhen, denn sie hebt die Wirkung der Entwässerungsgräben vollständig auf (Abb. 62 B); allerdings wird dazu eine erhebliche Menge



Abb. 61 In einem ehemaligen Entwässerungsgraben eingesetzter Damm, Les Enfers (JU)

Torf benötigt, dessen Qualität den minerotrophen Bedingungen des wiederherzustellenden Standorts entspricht.

- > **Holzkasten** (Regulierkasten): diese Stauanlage ermöglicht eine Regulierung des Wasserstandes in alten Torfstichgruben oder in kleinen, durch einen Torfkörper verfüllten Senken mit nur einem Abfluss; durch den Bau von Regulierkästen kann der Wasserstand schrittweise angehoben und so die überflutete Fläche reguliert und die Dynamik der Vegetation gefördert werden; solche Bauwerke sind besonders für den Einbau im Torf geeignet, idealerweise direkt auf dem mineralischen Untergrund.
- > **Regulierschacht mit Überlauf**: Dieses Bauwerk wird in einer Moräne oder einem Lehmwall installiert; es ermöglicht ein schrittweises und kontrolliertes Anheben des Wasserstandes in Senken mit nur einem Abfluss; aufgrund von Abdichtungsproblemen ist er für den Einbau im Torfkörper nicht geeignet.

Alle vier Massnahmen führen zu einer Anhebung des Grundwasserspiegels und schaffen so günstige Voraussetzungen für das Wachstum von Torfmoosen.

Anwendung

Die hier vorgestellten Massnahmen eignen sich nur für oberflächliche Entwässerungssysteme; sie können weder bei unterirdischen Dränagesystemen noch bei zwei übereinanderliegenden Konstruktionen angewandt werden. Das Aufheben einer tiefliegenden Dränage würde spezifische Techniken erfordern, die allerdings mangels Erfahrungswerten bislang noch nicht abschliessend beurteilt werden können.

3.2 Wahl der Massnahme

Dieses Kapitel soll die Wahl einer geeigneten Massnahme abhängig von den Eigenheiten des aufzuhebenden Grabensystems erleichtern. Folgende Schritte sind vorzusehen: 1) Zielsetzung; 2) die Art der Massnahme (Damm, Grabenverfüllung usw.) mit Hilfe eines Schlüssels bestimmen; 3) falls Dämme vorgesehen sind, Anzahl und Position der Bauwerke bestimmen; 4) Merkmale der Dränagegräben an der Stelle der zukünftigen Bauwerke ausmessen und 5) Wahl der geeigneten Dammart mittels eines Schlüssels.

Einführung

Die Wahl einer geeigneten Massnahme ist ein komplexes Thema, hängt sie doch von vielen verschiedenen Faktoren ab. Aufgrund der Vielfalt der Hochmoore der Schweiz kann deshalb nur ein flexibles Vorgehen vorgeschlagen werden. Das vorliegende Kapitel ist eine Orientierungshilfe für Fachleute, die Eingriffe an Grabensystemen planen. Mit anderen Worten: Die Wahl einer Methode ist gleichzeitig abhängig von technischen Kriterien (Gefälle, Höhe des aufzustauenden Wassers) und von Schutzzielen (Erhöhung der Vielfalt des Lebensraumes oder Wiederherstellen eines wachsenden, primären Hochmoors).

Zielsetzungen

Vorrangiges Ziel ist die Wiederherstellung der typischen hydrologischen Bedingungen eines Hochmoors an künstlich entwässerten Standorten.

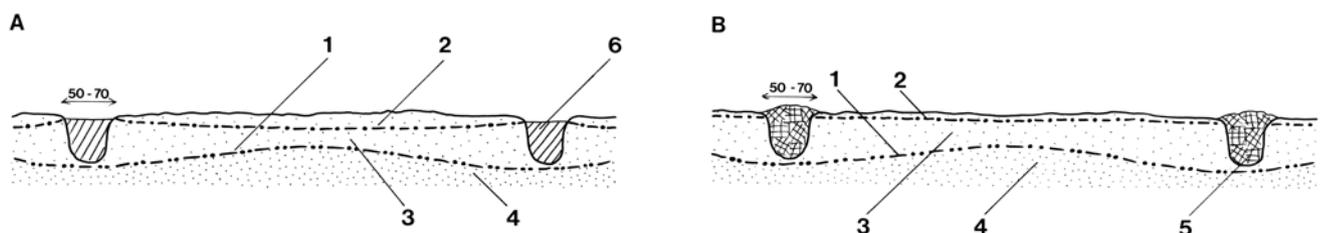


Abb. 62 Einfluss von Dämmen (A) und Grabenverfüllungen (B) auf den Grundwasserspiegel; Querschnitte; Angaben der Grabenbreite in cm; 1: Grundwasserspiegel vor dem Eingriff; 2: Grundwasserspiegel nach dem Eingriff; 3: entwässertes Torf; 4: unzersetzter Torf; 5: festgepresster Torf oder Sägemehl nach Grabenverfüllung; 6: Wasser

Massnahmen

Durch das Verfüllen eines Drainagegrabens kann ein Zustand erreicht werden, der den typischen hydrologischen Bedingungen eines Hochmoors am ehesten entspricht. Wird jedoch nur ein Damm errichtet und auf eine Verfüllung verzichtet, ist das Resultat je nach Neigung des Geländes unterschiedlich (Abb. 63):

- A) Die **Regeneration** wird hauptsächlich auf flachem Gelände angewandt (Neigung $< 1\%$); durch Anheben des Grundwasserspiegels bis an die Oberfläche wird die Wiederherstellung eines wachsenden Hochmoors angestrebt; auf diese Weise sollen optimale Voraussetzungen für das Wachstum der Torfmoose geschaffen werden; die beste Methode, um dies zu erreichen, ist das Verfüllen von Drainagegräben mit Torf; dieses Ziel kann aber auch mit Dämmen erreicht werden, vorausgesetzt, diese werden sehr dicht gestaffelt.
- B) Auf Gelände mit schwacher Neigung (1 bis 2 %) ist die Wirkung von Stauanlagen durch den natürlichen Oberflächenabfluss beschränkt; eine Regeneration ist kaum erreichbar; trotzdem ist eine **Wiedervernässung** des Lebensraumes möglich; das heisst, der Grundwasserspiegel kann zwar teilweise angehoben werden, ohne jedoch damit die Wachstumsdynamik der Torfmoose optimal zu beeinflussen; die zuverlässigste Methode ist das Verfüllen; denn beim Bau von Dämmen wäre eine beträchtliche Anzahl Sperren nötig, damit das gleiche Ziel erreicht werden kann.
- C) Mit dem Bau gestaffelter Dämme kann auf stark geneigtem Gelände ($> 2\%$) weder eine Regeneration noch eine Wiedervernässung erreicht werden; mit einer solchen Massnahme kann lediglich eine **Erhöhung der Vielfalt** erzielt werden; das heisst, die Menge der Feuchtstandorte

wird erhöht; dies fördert jedoch die spontane, aber nur lokale Wiederansiedlung der Torfmoose und schafft gleichzeitig günstige Lebensbedingungen für die wirbellose Wasserfauna.

Wahl der Massnahme

Das Verfüllen von Drainagegräben garantiert nicht in jedem Fall die vollständige Wiederherstellung der hydrologischen Bedingungen eines Hochmoors. Eine zu starke Neigung des Geländes oder beispielsweise das Vorhandensein einer alten Torfstichwand – selbst in einer Entfernung von mehreren Dutzend oder gar von mehreren Hundert Metern – haben eine entwässernde Wirkung auf die gesamte Fläche des Moores, auch wenn die Drainagegräben verfüllt wurden. Welche Massnahme zur Anwendung gelangt, muss deshalb von Fall zu Fall und abhängig von den Zielen, den Erfolgsaussichten und den verfügbaren Mitteln festgelegt werden.

Generell wird, wenn immer möglich, eine Hochmoorregeneration angestrebt. In gewissen Fällen kommt mit zunehmender Geländeneigung jedoch lediglich eine Wiedervernässung oder ein Erhöhen der Vielfalt des Standortes in Frage.

Anzahl und Position der Sperren

Beim Bau von Dämmen in linearen Strukturen (Haupt- und Seitengräben) ist deren Positionierung (und folglich auch deren Anzahl) ein komplexes Problem, das über den Rahmen dieses Kapitels hinausgeht. Daher sollte für diese Aufgabe unbedingt ein erfahrener Hochmoorspezialist beigezogen werden. Informationshalber wird das Vorgehen nachfolgend aber trotzdem kurz dargestellt.

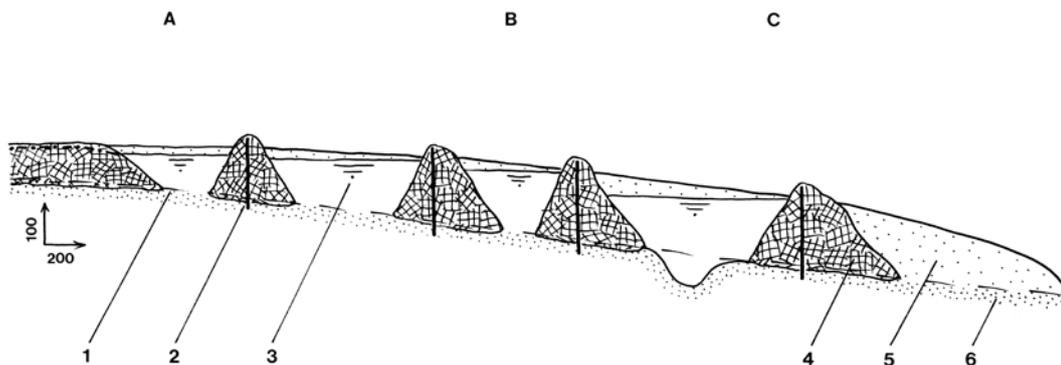


Abb. 63 Darstellung verschiedener Zielsetzungen abhängig von der Geländeneigung: Regeneration (A), Wiedervernässung (B) oder Erhöhung der Vielfalt des Standortes (C); 1: Grabensohle; 2: Damm; 3: Wasseransammlung; 4: festgepresster Torf; 5: entwässerter Torf; 6: unzersetzter Torf; Masse in cm

Die Abstände zwischen den Dämmen werden in erster Linie durch die Geländeneigung bestimmt. Das Ziel ist die maximale Erhöhung des Grundwasserspiegels. Je stärker die Geländeneigung, desto kleiner müssen die Abstände zwischen den Dämmen sein. Würden die Dämme aber sehr eng aufeinanderfolgen, ist ein Verfüllen des Grabens vorzuziehen.

Werden die Dämme in parallel verlaufende Gräben eingebaut, können sie so versetzt werden, dass sich eine mosaikartige Vernässung ergibt. Dabei muss zwischen der allgemeinen Geländeausrichtung und der Ausrichtung der Entwässerungsgräben genau unterschieden werden. Tatsächlich liegen die Drainagegräben oft nicht in der Hangrichtung. In solchen Fällen ist ein seitliches Überlaufen unvermeidbar. Dies bewirkt jedoch eine zusätzliche Vernässung der tieferliegenden Flächen. Beim Festlegen der Positionen der Sperren sollte dieser Faktor unbedingt berücksichtigt werden (Abb. 64).

Im Gelände aufzunehmende Daten

Damit eine Massnahme entsprechend den Merkmalen des Drainagegrabens geplant werden kann, müssen vorher folgende Daten aufgenommen werden (Abb. 65): Tiefe a und Breite b des Grabens an der Stelle des zukünftigen Bauwerks, Mächtigkeit des zersetzten, also durchlässigen Torfes an der Grabensohle c_1 und an den Böschungen c_2 des Grabens. Ferner sollte im Torfkörper vorhandenes Holz oder Wurzelstöcke

geortet werden. Die Angaben über die aufzustauende Wassersäule werden durch $h = a + c_1$ (maximale Wasserhöhe) und $b + 2c_2$ (Breite) bezeichnet. Gegebenenfalls kann anhand der Wasserhöhe und der Breite des Grabens ($b + 2c_2$) der Querschnitt des Drainagegrabens und abhängig von der Länge des zu verfüllenden Abschnitts die erforderliche Menge Verfüllmaterial (Torf oder Sägemehl) ermittelt werden.

Wahl der Dammart

In der Praxis hat sich der Einsatz eines Kleinbaggers beim Bau von Dämmen sehr bewährt. Wird ein Damm in Handarbeit errichtet, muss eine Grube ausgehoben werden, die nach dem Errichten des Bauwerks mit Torf verfüllt wird. Dies erhöht die Gefahr seitlicher Abflüsse in den zersetzten Torf erheblich. Man sollte sich deshalb bewusst sein, dass die Zuverlässigkeit eines von Hand konstruierten Damms wesentlich geringer ist.

Für kleine Bauwerke (100 cm Breite und 50 bis 70 cm Tiefe) sind Holz- oder Metallplattendämme ein guter Kompromiss bezüglich Kosten, Installationsaufwand und Wirksamkeit der Massnahme (gute Abdichtung). Bei breiteren (> 100 cm) oder tieferen (> 70 cm) Gräben müssen Holzbohlendämme errichtet werden (siehe Kapitel 3.3.4), denn nur diese Konstruktionsweise vermag langfristig die Dichtigkeit des Bauwerks zu gewährleisten.

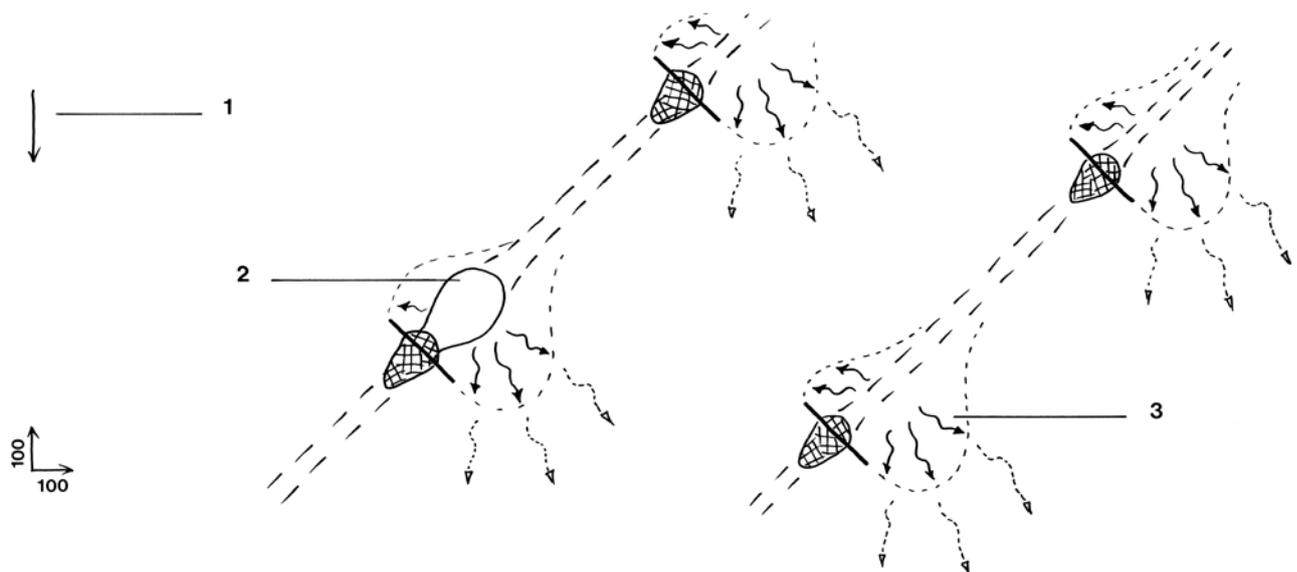


Abb. 64 Beispiel des Einsetzens von Dämmen in Entwässerungsgräben, deren Ausrichtung nicht mit derjenigen des Geländes übereinstimmt (Draufsicht); die Dämme und ihr Wirkungsbereich variieren von einem Graben zum andern, das Gleiche gilt für das seitliche Überlaufen; 1: Hangausrichtung des Geländes; 2: Wasserfläche; 3: Wirkungsbereich des Damms auf den Grundwasserspiegel; ausgezogene Pfeile: maximale Wiedervernässung; gestrichelte Pfeile: zerstreute Wiedervernässung

Definitionen

1. Tiefe des Grabens: a → Die Tiefe wird von der Geländeoberfläche aus gemessen, ohne Berücksichtigung der Vegetation.
2. Breite des Grabens: b → breiteste Stelle messen. ACHTUNG: überhängende Vegetation
3. Mächtigkeit des zersetzten Torfs: c_1 und c_2 :
 - Grabensohle und Böschungen sind oft aus zersetztem, durchlässigem Torf, was Sickerungen zur Folge hat.
 - mit einem Bohrer mit Probekammer seitlich und an der Grabensohle die Mächtigkeit des zersetzten Torfes bestimmen; zersetzter Torf ist teilweise mineralisiert, dunkel, enthält wenig Pflanzenstruktur und ist breiartig; beim Zusammenpressen tritt er zwischen den Fingern hindurch und scheidet schwarzes trübes Wasser aus; unzersetzter Torf hingegen ist farblich heller, fasig, mit deutlich erkennbarer Pflanzenstruktur: Beim Pressen in der Hand ist das austretende Wasser leicht gefärbt, bleibt aber klar.
4. Aufzustauende Wasserhöhe: h → Die maximal aufzustauende Wasserhöhe bei Dämmen entspricht der Tiefe des Grabens (a) + der Mächtigkeit des zersetzten Torfes (c_1), der zu Beginn der Arbeiten ausgehoben werden muss.
5. Totholz oder Wurzelstöcke: d
 - Im Torfkörper eingeschlossenes Holz (Totholz) führt beim Dammbau zu Problemen: Die Holzplatten drücken das Totholz nach unten und verursachen Breschen im Torf; durch diese kann dann Wasser einfließen.
 - In der Nähe des Bauplatzes mehrere Sondierbohrungen mit einem Bohrer mit Probekammer ausführen oder einfach mit einer Sondierstange (2 bis 3 m) Gelände nach Holz absuchen; Holz und Wurzelstöcke blockieren die Stange.

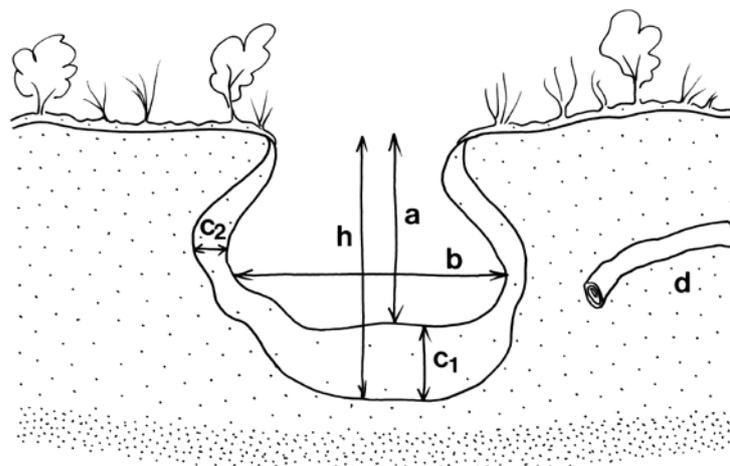


Abb. 65 Querschnitt eines Grabens: a : Tiefe; b : Breite; c_1 : vertikale Mächtigkeit des zersetzten Torfes; c_2 : seitliche Mächtigkeit des zersetzten Torfes; h : aufzustauende Wasserhöhe; d : Totholz

Rundholzdämme: eine gar nicht zu empfehlende Technik

Neben den Holz- und Metallplattendämmen oder dem Holzbohlendamm wurden in der Schweiz auch Experimente mit andern Dammkonstruktionen durchgeführt, ganz speziell mit verschiedenen Rundholzdämmen. Bei dieser Technik werden in einem Entwässerungsgraben Rundholzwände errichtet. Dabei werden die Hölzer entweder aufeinandergestapelt oder senkrecht nebeneinander eingeschlagen. Mit solchen, oft doppelten Rundholzkonstruktionen kann eine gewisse Torfmasse zurückgehalten werden. Anders als bei Holzplattendämmen ist es hier der Torf, der die Dichtigkeit gewährleistet, und nicht das Rundholz. Zur Erhöhung der Dichtigkeit der Stauanlage wird manchmal ein Geotextil verwendet.

Diese Technik wurde aus verschiedenen Gründen recht häufig angewandt: Verwendung natürlicher Materialien in einem Schutzgebiet, Möglichkeit, den Bau von Dämmen mit Bewirtschaftungs- und Pflegemassnahmen zu verbinden (Fällen von Bäumen), geringere Kosten, Erstellen von Hand ist möglich, etc.

Untersuchungen in verschiedenen Hochmooren der Schweiz haben jedoch die Grenzen dieser Methode gezeigt. Der Torf ist nie vollständig dicht, und die Verwendung eines Geotextils hat sich als zwingend erwiesen. Zusätzlich muss bei dieser Technik eine breite Grube ausgehoben werden, die am Schluss der Arbeiten mit festgestampftem Torf wieder verfüllt werden muss. Dieser Torf, der seine ursprüngliche Schichtenstruktur verloren hat, war in zahlreichen Fällen zweifellos die Ursache für die festgestellten Funktionsstörungen (Leaks). Aus diesen Gründen sollte auf den Bau von Rundholzdämmen zugunsten von Holz- und Metallplattendämmen oder eines Holzbohlendamms verzichtet werden, denn diese sind gegenwärtig die einzigen Techniken, die im Stande sind, die Abflüsse dauerhaft und wirkungsvoll zu bremsen.



Abb. 66 *Motorschubkarre auf Raupen für den Materialtransport*

3.3 Vorbereiten des Geländes und Wiederinstandsetzung

Bei allen nachfolgend beschriebenen Stauanlagen (Kapitel 3.3.1 bis 3.3.6) müssen bei der Vorbereitung des Geländes gewisse Vorkehrungen getroffen werden, um die Beeinträchtigungen durch die Arbeiten möglichst gering zu halten. Nach Abschluss der Arbeiten ist das Gelände wieder in Stand zu setzen.

Vorbereiten des Geländes

Während der Planungs- und Ausführungsphase sind folgende Punkte zu beachten:

A. Befahren und Betreten des Geländes:

Bei den meisten der hier vorgeschlagenen Staukonstruktionen ist es sinnvoll, einen Kleinbagger und eine Motorschubkarre auf Raupen für den Materialtransport einzusetzen (Abb. 66 und 67). Empfindliche Lebensräume wie Hochmoore mit schweren Maschinen zu befahren, kann sehr heikel sein.

Aus diesem Grund sollte man:

- > entsprechende Baumaschinen wählen; Maschinen mit breiten Raupen sind zu bevorzugen; ein zu schwerer Bagger würde den Torf verdichten; ein zu kleiner Bagger hingegen wäre auf aufgeweichtem Gelände zu wenig standfest und seine Leistung oder seine Reichweite wären möglicherweise zu gering. Ein 10 bis 12 Tonnen schwerer, mittelgrosser Schaufelbagger ist ein idealer Kompromiss;
- > Zufahrtsmöglichkeiten genau studieren und Linienführung vorher festlegen; in bestimmten Fällen (sehr empfindlicher Vegetationsteppich, abgelegenes Gebiet ohne Verkehrswege) mit Vorteil auf den Einsatz schwerer



Abb. 67 *10- bis 12-t-Kleinbagger mit Raupen*

Maschinen verzichten, und von Hand realisierbare Massnahmen planen,

- > dem Maschinenführer einen genauen Plan der Zufahrtswege zur Verfügung stellen, an den er sich zu halten hat;
- > Zufahrtswege mit Plastikbändern markieren;
- > beim Befahren sehr nasser Zonen mit kleinen, ganzen Nadelbäumen (Stamm und Äste) einen Zufahrtsweg erstellen; etwa 10 Bäume genügen; diese werden beim Vorwärtsbewegen fortlaufend vor die Maschine gelegt; eine andere Möglichkeit ist das Verwenden einer Matratzenlage (mit Seilen zusammengehängte kleine Holzbalken);
- > mit dem Bagger nicht an Ort drehen: Die Raupen zerstören den Torfmoostepich vollständig.

Schäden entstehen auch durch das Betreten des Geländes, durch Materialtransporte (Platten, Torf, Sägemehl) sowie durch Werkzeuge. Folgende Empfehlungen sind deshalb zu berücksichtigen:

- > Zugangswege mit Plastikmarkierbändern abgrenzen und besonders trittempfindliche Zonen absperren (Torfmoostepiche, überflutete Flächen);
- > in bestimmten Situationen (zum Beispiel beim Durchqueren überfluteter Flächen) kann es vorteilhaft sein, Holzpasserellen zu bauen: Bauholzlatten werden auf kleine Prügel oder auf Nadelbaumäste gelegt, um ein Verdichten des Torfes und das Ersticken der Vegetation zu vermeiden.

B. Am Ort des zu erstellenden Bauwerks:

Zur Vorbereitung des Geländes sollte vor dem Errichten eines Bauwerks die oberste, teilweise zersetzte Torfschicht oder die oberste Torfschicht mit Vegetation abgetragen werden. Damit kein Torf auf die Vegetation gelangt (Eutrophierungsgefahr),



Abb. 68 Oberhalb eines Dammes angelegter Tümpel zur Erhöhung der Vielfalt der Lebensräume

ist Folgendes zu beachten: Plaggen und Torf auf eine Plastikfolie oder ein Geotextil legen. Torf von guter Qualität und Pflanzen werden nach Abschluss der Arbeiten zum Abdecken des Werks verwendet.

C. Am Ort der Torf- oder Lehmentnahme:

Alle hier vorgestellten Einstaukonstruktionen benötigen Torf von guter Qualität (undurchlässiger, faseriger Torf) Sägemehl oder Lehm in unterschiedlichen Mengen. Bei einer *in situ*-Entnahme dieser Materialien sind Beeinträchtigungen unvermeidbar. Es gilt daher, diese möglichst gering zu halten:

- > einen geeigneten Entnahmeort von geringem biologischem Wert bestimmen (siehe Küttel 1994);
- > den Bau von Dämmen mit dem Ausheben von Mulden oberhalb der Sperren verbinden;
- > abhängig von den festgelegten Schutzziele kann die Vielfalt der Standorte durch die Bildung von Wasserflächen mitten im Hochmoor erhöht werden (Abb. 68).

Bei der Entnahme sollte der Torf auf keinen Fall umgewälzt werden, damit seine natürliche Schichtenstruktur erhalten bleibt, welche für die geringe Wasserdurchlässigkeit verantwortlich ist. Deshalb ist darauf zu achten, dass möglichst grosse und wenig fragmentierte Torfblöcke entnommen und als Verfüllmaterial eingebracht werden.

Wiederinstandsetzung

Das Benutzen schwerer Maschinen, vor allem beim Verfüllen von grossen Drainagegräben, hat unweigerlich Störungen zur Folge. Die Flächen entlang des Grabens und auf den Zufahrtswegen werden meistens stark beeinträchtigt. Nackte Torfflächen entstehen (Abb. 69).



Abb. 69 Nackte Torffläche als Folge des Befahrens mit Baumaschinen

Eine ähnliche, manchmal sogar noch schwerer wiegende Beeinträchtigung ist die Trittbelastung durch die Arbeiter. In diesem Fall wird Folgendes empfohlen: die gestörten Flächen gemäss den Kapiteln 2 bepflanzen, um ein Überhandnehmen sich schnell verbreitender Pflanzen zu verhindern (u.a. *Epilobium sp.* etc.).

3.3.1 Holz- oder Metallplattendämme

Die Kenntnis der Kapitel 3.1 bis 3.3 ist Voraussetzung für das Verständnis dieses Kapitels, in welchem das Errichten von Holz- oder Metallplattendämmen erklärt wird.

Beschreibung der Massnahme

Beim Bau eines Holz- oder Metallplattendammes in einem Drainagegraben wird eine Schalungsplatte in den Torf eingesetzt (unbehandelte, kreuzverleimte Sperrholz- oder Metallplatte), wenn möglich bis in die undurchlässige Mergelschicht. Zur Abdeckung des Werkes wird eine kleine Menge Torf benötigt. Dieser wird am besten so entnommen, dass oberhalb des Dammes eine Mulde mit flachen Ufern zurückbleibt. Mit

dem Torf wird der Damm stabilisiert und verkleidet; die Dichtigkeit wird durch die Holzplatte gewährleistet.

Der Einsatz eines Kleinbaggers ist ratsam. Selbstverständlich können die Arbeiten auch von Hand ausgeführt werden; die Stauwirkung ist jedoch geringer. Die Holzplatte stoppt den Wasserabfluss im Graben vollständig. Entsprechend der Grösse des einzustauenden Grabens kann nur ein Holzbohlendamm (Kapitel 3.3.4) ein befriedigendes Resultat gewährleisten.

Das Schema der Abb. 70 zeigt einen Damm mit einer Platte.

Zielsetzungen

- > Einstau kleiner Gräben
- > lokales Anheben des Grundwasserspiegels zur Schaffung günstiger Voraussetzungen für das Wachstum der Torfmoose und anderer typischer Hochmoorarten
- > Gestalten von Wasserflächen oberhalb der Sperre, um die Vielfalt an Lebensräumen zu erhöhen
- > in gewissen Fällen Begünstigung der Bepflanzung nackter Flächen in Grabennähe durch Wiedervernässen des Bodens

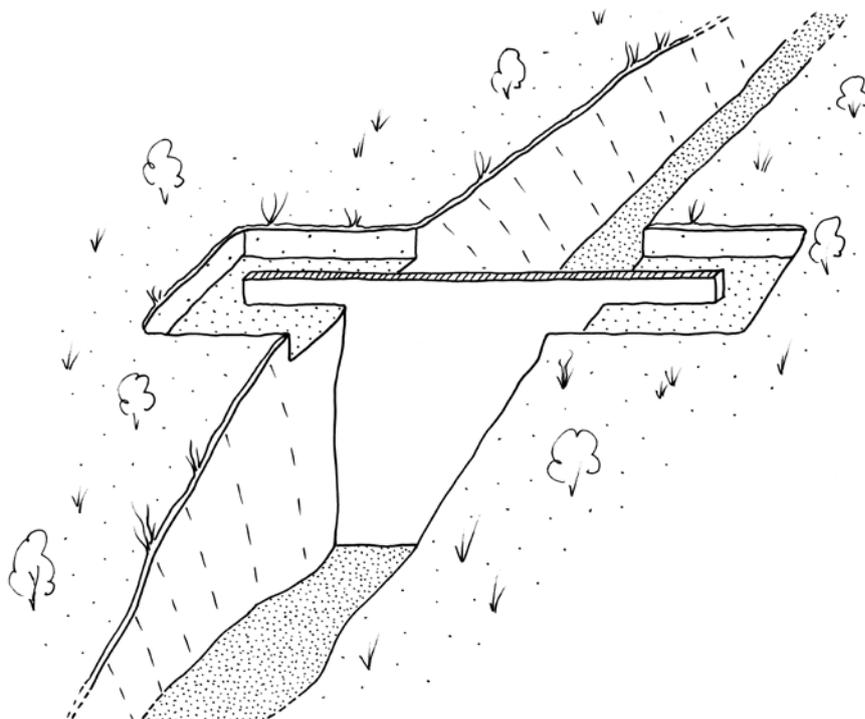


Abb. 70 Dammkonstruktion aus einer Schalungs- oder Metallplatte (vor dem Abdecken mit Torf); die Platte wird vertikal in den gewachsenen Torf eingesetzt.

Bevor ein Eingriff vorgenommen wird ...

Welche Punkte sind zu beachten?

Negative Auswirkungen und Vorsichtsmassnahmen

Der Bau eines Holz- oder Metallplattendammes kann verschiedene negative Auswirkungen auf den Lebensraum haben. Die Bedeutendsten sind:

- > Trittschäden in der Umgebung des Bauwerks und auf den Zugangswegen; Schäden durch den Einsatz eines Baggers;
- > Entnahme einer kleineren Menge Torf für die Abdeckung des Dammes;
- > Eutrophierung der Umgebung des Dammes durch mineralisierte Torfabfälle.

Das Kapitel 3.3 enthält Vorschläge zur Reduzierung solcher Beeinträchtigungen. Daneben sind folgende Vorsichtsmassnahmen zu treffen:

- > Der Torf ist so zu entnehmen, dass oberhalb des Dammes eine Mulde mit flachen Ufern zurückbleibt; dies begünstigt die Wiederansiedlung von Torfmoosen.
- > Wird für das Einsetzen der Platten eine Motorsäge verwendet (siehe Vorgehen bei der Durchführung), ist pflanzliches Kettenöl zu verwenden, um eine Verschmutzung des Torfes auszuschliessen.
- > Die Herkunft des für die Platten verwendeten Holzes ist abzuklären; es ist europäisches und auf keinen Fall tropisches Holz zu verwenden.

Schwierigkeiten bei der Umsetzung und Ratschläge

- > Werden die Platten von Hand eingebaut, muss eine Grube ausgehoben werden (Abb. 79); dies ist aber mit Problemen bei der Dichtigkeit verbunden (Gefahr des seitlichen Durchsickerns); deshalb wird der Einsatz eines Kleinbaggers sehr empfohlen.
- > Der Einbau der Platten wird durch Holz im Torf erschwert; in diesem Fall muss mit einer Motorsäge ein Schlitz in den Torf gesägt werden, um das Holz zu durchtrennen.
- > Wasser in der Grabensohle erschwert den Dammbau; es kann mit einer Pumpe abgesaugt werden.
- > Beim Einsetzen der Platten mit Hilfe der Baggerschaufel besteht die Gefahr, dass die Platten zerbrechen; deshalb ist eine Metallschiene anzubringen, welche die Rolle eines Ambosses übernimmt (Abb. 71); auf die Metallschiene geschweisste V-Profile halten die Platte fest. Durch Druck der Baggerschaufel auf die Schiene wird die Platte in den Boden gepresst; gegebenenfalls wird zusätzlich mit der Baggerschaufel auf die Schiene geklopft.
- > Bei heftigen Regenfällen kann das Wasser über den Damm treten und seitlich herausfliessen, dadurch erodiert die untere Böschung; zur Lösung des Problems kann ein Überlauf angebracht werden.

> Achtung

Ausbessern des Bauwerks führt zu Beeinträchtigungen und hohen Kosten. Deshalb ist sehr sorgfältig zu arbeiten, damit das Werk gleich beim ersten Mal gelingt.

Zuverlässigkeit und Sicherheit

Die Probleme der Zuverlässigkeit und Sicherheit dürfen nicht unterschätzt werden (Dammbruch Erdstochgefah, etc.). Ganz besonders wichtig dabei ist die maximale Stauhöhe, die der Damm zu halten hat: Überschreitet diese 0,5 m, ist es ratsam, sich an einen Spezialisten in der Pflege von Hochmooren oder an einen Wasserbauingenieur zu wenden. Im Bericht «Wildbach und Hangverbau» (Böll 1997) werden technische Probleme im Zusammenhang mit Staukonstruktionen in kleinen Wasserläufen eingehend behandelt (siehe Bibliografie).

Andererseits sind Lecks im Untergrund häufig Ursache für Funktionsstörungen, welche die Zuverlässigkeit der Stauanlage stark einschränken. Besonders bei Kies ist die Gefahr durch Sickerungen gross. In diesem Fall ist ein Verfüllen des Grabens vorzuziehen (Kapitel 3.3.2).

Kombinieren von Massnahmen

- > Sind die Flächen um den Entwässerungsgraben vegetationslos, ist es empfehlenswert, die Dammkonstruktion mit einer Bepflanzung zu kombinieren; sonst können sich die Torfmoose nur zögernd ansiedeln (siehe Kapitel 2); die Regeneration kann aber auch auf natürliche Weise direkt im Graben beginnen.
- > Durch das Anlegen einer Wasserfläche oberhalb des Dammes kann der Torfbedarf für den Bau gedeckt und gleichzeitig die Vielfalt der Lebensräume erhöht werden.



Abb. 71 Metallschiene

- > Für eine möglichst vollständige Wiederherstellung der hydrologischen Bedingungen muss der Entwässerungsgraben gemäss Kapitel 3.3.2 verfüllt werden.

Technische Parameter

- > Damit die Bauequipe die Arbeiten korrekt ausführen kann, ist ein Plan des Dränagesystems mit den Zugangswegen und der Lage der zu errichtenden Dämme anzufertigen (siehe Kapitel 1.4.2); die Art der Stauanlage (einwandiger oder doppelwandiger Damm aus Holz- oder Metallplatten) ist ebenfalls im Plan einzutragen; weiter ist im Gelände die Lage der Dämme mit Pflöcken zu markieren.
- > Zufahrtswege für Baumaschinen, Materialtransport und die Organisation des Bauplatzes sind genau zu planen (siehe Kapitel 3.3).
- > Die Anzahl der benötigten Platten ist zu berechnen.

Zeitpunkt der Durchführung

Die im Allgemeinen eher trockene Periode zwischen August und Oktober ist ideal; im Winter bei gefrorenem Boden zu arbeiten, ist zu vermeiden. Eine zu hohe Feuchtigkeit erschwert die Arbeiten erheblich und erhöht die Beeinträchtigungen durch die Maschinen; Arbeiten im Frühjahr sind deshalb nicht zu empfehlen.

Ausrüstung

- > Werkzeuge: Metallstange (1,5 m lang), Nylonhammer, Schaufeln, Hacken, Schubkarren
- > Geräte: Kleinbagger, Kreissäge mit Führung, Bohrschraubmaschine, Generator, Kettensäge mit langem Schwert (130 cm), eventuell Wasserpumpe, eventuell Motorschubkarren zum Transport der Platten
- > anderes Material: Metallschiene mit V-Profil, Geotextil oder Plastikfolie, Stiefel, Gartenhandschuhe, Baubaracke (ausserhalb des Moores aufzustellen)

Baumaterial

- > Schalungsplatten (unbehandelte, kreuzverleimte Sperrholzplatten aus europäischem Holz); handelsübliche Standardgrösse einer Platte: 250 × 125 cm; Stärke 2,5 cm; oder Metallplatten: 270 × 130 cm, Wandstärke 6 mm
- > eventuell Holzbrettchen, wasserfester Holzleim und Schrauben (für Überlauf)

Personal

- > Der Transport der Platten erfordert keine besonderen Kenntnisse; für diese Arbeiten 4 oder 5 Personen einplanen.
- > Ein Baggerführer und ein Gehilfe sollten für das Einsetzen der Platten mit Hilfe des Kleinbaggers genügen. Die Arbeit im Hochmoor mit einem Bagger ist sehr heikel, deshalb

sollte der Baggerführer gut mit Planierungsarbeiten in feuchtem Gelände vertraut sein.

- > Das Einsetzen der Platten in Handarbeit benötigt drei Personen; Aufschichten und Anpressen des Torfes erfordern sehr sorgfältiges Arbeiten.

Betreuung

Die Betreuung kann, je nach Erfahrung der Ausführenden, sehr unterschiedlich sein. Sie wird von den Zuständigen geleitet, die kleine Anpassungen im Zusammenhang mit lokalen Besonderheiten festlegen können. Die Erfahrung hat gezeigt, dass bei der Eröffnung einer Baustelle für mehrere Dämme eine Betreuung während der ersten Tage notwendig ist, um die Arbeiten zu erklären und kleine praktische Probleme zu lösen; später genügt eine tägliche Anwesenheit von zwei bis drei Stunden.

Kosten

- > Schalungsplatte: Fr. 30.–/m²
- > Herstellungskosten Metallplatten: Fr. 4700.– resp. Fr. 5057.20 inkl. MWSt
- > wasserfester Holzleim, Schrauben, Muttern
- > Miete Kleinbagger: zwischen Fr. 120.– und Fr. 200.–/h, Lohn des Baggerführers inbegriffen, ohne Transportkosten
- > eventuell Miete verschiedener Geräte: Motorsäge mit langem Schwert, Kreissäge, Bohrschraubmaschine, Generator, Pumpe, Motorschubkarre
- > Löhne der Arbeiter
- > Honorare für Betreuung und Bauleitung

Ausführung der Massnahmen

Allgemeines

Die handelsüblichen Standardmasse einer Schalungsplatte betragen 250 × 125 cm.

Von der Verwendung grösserer Platten sowie vom Anbringen mehrerer Platten neben- oder übereinander wird abgeraten. Solche Konstruktionen halten nach einigen Jahren dem Druck der Torf- und Wassermassen nicht mehr stand und beginnen sich zu verformen, wodurch ihre Dichtigkeit nachlässt.

Die Platte ist seitlich mindestens 60 cm tief in den gewachsenen Torf (30 cm in Mergel) einzusetzen, um ein Durchsickern auf der Seite und unter dem Damm zu vermeiden. Auf diese Weise reduziert sich die zum Aufstauen nutzbare Fläche auf maximal 130 × 60 bis 70 cm (Abb. 72). Diese Fläche entspricht gleichzeitig der Breite b und der Tiefe a des Dränagegrabens sowie auch den Mächtigkeiten c_1 und c_2 des zersetzten, sehr durchlässigen Torfes (siehe Schema Kapitel 3.2, Seite 53). Die theoretisch nutzbare Fläche entspricht $b + 2c_2$

(Breite) auf $a + c_1$ (Höhe). Wenn die Masse des Drainagegrabens und des zersetzten Torfes den einen oder anderen dieser beiden Werte übersteigen, sind mehrere Platten zusammenzubauen (siehe Kapitel 3.3.4).

Grundvariante: einwandiger Damm aus einer Holzplatte

1. Errichten mit Hilfe eines Kleinbaggers

Zur Vorbereitung des Geländes vorher Kapitel 3.3 beachten. Siehe ebenfalls die Übersichten auf den Seiten 61 und 63.

- an der Stelle des zukünftigen Bauwerks auf einer der Plattengröße entsprechenden Fläche mit dem Bagger Plaggen herausstechen; in der Grabensohle und an den Seitenwänden zersetzten Torf entfernen, um einen guten Kontakt zwischen dem gewachsenen und dem am Schluss eingebrachten, gestampften Torf zu gewährleisten. Plaggen und zersetzter Torf werden bis zur Bepflanzung am Schluss der Arbeiten auf einer Plastikfolie oder einem Geotextil gelagert (Abb. 73).
- Den Boden entlang des Grabens mit einer Eisenstange nach Holz absuchen; der Plattengröße entsprechend wird im rechten Winkel zum Drainagegraben mit der Motorsäge ein möglichst tiefer Schlitz in den Torfkörper gesägt; das lange Schwert (130 cm) eignet sich besonders gut, um eventuell vorhandenes Holz zu zersägen, ohne einen zu breiten Spalt zu bilden und die dichte Struktur des Torfes aus mehreren horizontalen Schichten zu zerstören (Abb. 74).

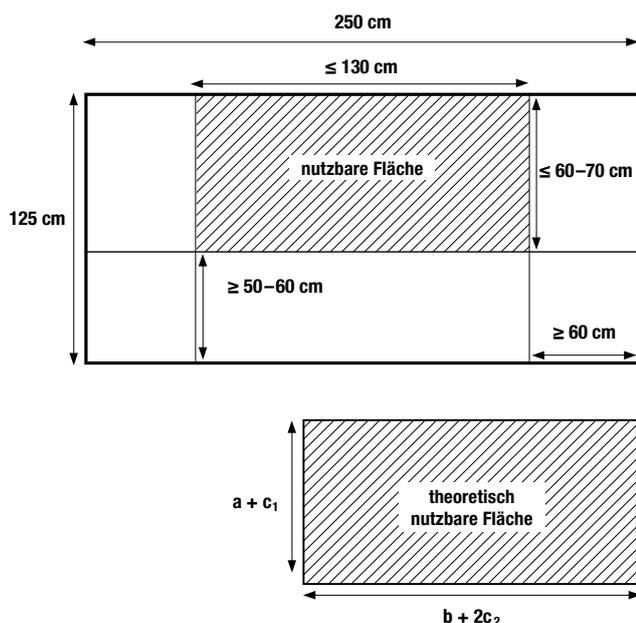


Abb. 72 Standardmasse einer Schalungsplatte und die zum Einstau eines Grabens nutzbare Fläche; Erklärungen zu a , b , und c im Protokollblatt für die Geländeaufnahme, Seite 53, Abb. 65

Folgende Konstruktionsvarianten sind möglich (Masse in cm):

- wenn $a + c_1 < 50$: einwandiger Damm
- wenn $a + c_1 > 50$: doppelwandiger Damm

- Die Platte in den Schlitz stellen und die Metallschiene darauflegen; mit dem Arm des Baggers auf die Metallschiene drücken und so die Platte in den Torf hineinpressen; wenn die Platte nicht gut gleitet, muss etwas geklopft werden; die Oberkante der Platte kommt auf der für das Bauwerk gewählten Staukote zu liegen; Metallschiene entfernen (Abb. 75).
- Oberhalb und unterhalb des Damms im Drainagegraben eine flache Böschung formen, welche ein Wiederansiedeln der Vegetation begünstigt. Mit Hilfe des Baggers kann der Torf gut angepresst werden; dadurch werden Lecks vermieden und der Damm wird stabilisiert; der Torf wird am besten von den Böschungen oberhalb des Damms entnommen, nachdem die lebende Vegetation entfernt und auf eine Folie gelegt wurde; der am Anfang der Arbeiten ausgehobene zersetzte Torf kann für die Böschung unterhalb des Damms verwendet werden (Abb. 76).
- Bei grosser Überlaufgefahr den Damm so erhöhen, dass das Wasser beidseits des Damms oberflächlich abfließt. Als zusätzliche Sicherheitsmassnahme wird ein Überlauf angebracht: oben an der Platte eine Kerbe einschneiden; 3 Holzleisten um den Einschnitt kleben; 3 kleine Brettchen an den Leisten befestigen (kleben und schrauben); daran eine Rinne befestigen, die bis zur Grabensohle reicht.

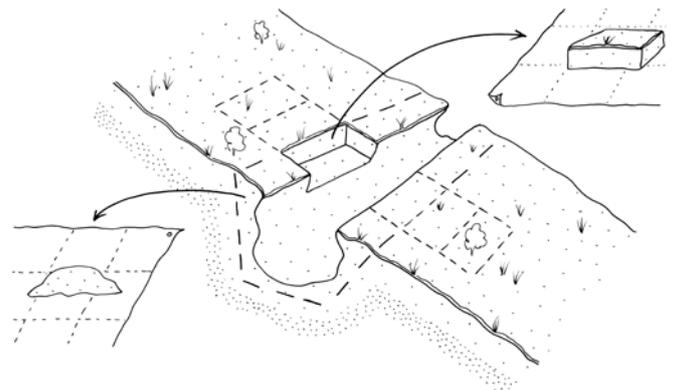


Abb. 73 Freilegen der Grabenböschungen und Vorbereiten der Oberfläche vor dem Einfügen der Platte

Bemerkungen

- > Die Holzplatten gewährleisten die Abdichtung des Dammes; der Torf dient lediglich der Stabilisierung der Platte und «verkleidet» das Werk, um das Holz vor dem Vermodern zu schützen und ein Wiederansiedeln der Vegetation zu ermöglichen.
- > Um den Wasserabfluss in einem Drainagegraben vollständig zu stoppen, sind oft mehrere, voneinander unabhängige Bauwerke nötig.

Dieser Überlauf ist ausschliesslich für den Katastrophenfall (extreme Niederschläge) konzipiert und soll sicherstellen, dass die Torfböschung durch das abfliessende Wasser nicht erodiert wird (Abb. 77).

- f) das Bauwerk mit den zur Seite gelegten Plaggen abdecken; falls nötig, die nackten Torfstellen bepflanzen, wie im Kapitel 2 beschrieben (Abb. 78)

2. Errichten in Handarbeit

- a) die Schicht aus zersetztem Torf von den Böschungen entfernen; quer zum Graben, entsprechend der Plattengrösse, einen Einschnitt ausheben; den Torf auf eine Plastikfolie oder ein Geotextil legen; die Platte in den Einschnitt einsetzen (Abb. 73)
- b) den Einschnitt mit Torf zuschütten; Torf gut anpressen, um ein Durchsickern unter dem Damm hindurch und seitlich davon zu vermeiden
- c) danach weiterfahren, wie unter Punkt d) bis f) der Grundvariante beschrieben

Nach Beendigung der Dammkonstruktion (Abb. 83 und 84) ist das Gelände gemäss Kapitel 3.3 wieder in Stand zu stellen.



Abb. 74 Aussägen des Torfkörpers und Zersägen von im Boden vorhandenem Holz mittels Motorsäge mit langem Schwert

Variante: Doppelwandiger Damm aus zwei einzelnen Platten

Wenn die aufzustauende Wasserhöhe 50 cm übersteigt, ist der Damm unbedingt stärker zu dimensionieren. Für eine Dammhöhe von 1 m werden zwei Platten parallel im Abstand von 3 bis 4 m eingesetzt. Das zwischen den zwei Platten liegende Grabenstück wird mit gepresstem Torf oder mit Lehm aufgefüllt.

- a) An der Stelle des zu erstellenden Werkes auf etwa 4 m Länge die Vegetation entfernen, indem von Hand oder mit dem Bagger Plaggen ausgestochen werden; diese Plaggen werden bis zu den Abschlussarbeiten auf einer Plastikfolie oder einem Geotextil gelagert; die zersetzte Torfschicht an den Böschungen entfernen und auf einer Plastikfolie lagern (Abb. 80).
- b) den unteren Damm nach Anleitung der Grundvariante erstellen, jedoch ohne Ausheben der Mulde oberhalb des Dammes
- c) 3 bis 4 m oberhalb des unteren Dammes nach gleichem Vorgehen einen Zweiten errichten
- d) Den Raum zwischen den beiden Sperren mit Torf oder Lehm verfüllen, dazu Kapitel 3.3.2 beachten; den dazu benötigten Torf oder Lehm oberhalb des Bauwerks entnehmen; dabei eine Mulde mit sanften Ufern formen; unterhalb des Dammes eine Böschung aus Torf gestalten; zur Verstärkung des Bauwerks können auch Pfähle eingesetzt werden, die die Platten auf der unterliegenden Seite direkt abstützen (Abb. 82).
- e) Ist die Gefahr des Überlaufens gross, ist der Damm so zu erhöhen, dass das Wasser beidseits des Dammes oberflächlich abfliessen kann, ausserdem ist ein Überlauf aus Holz zu konstruieren; dieser führt das überschüssige Wasser zuerst von der oberen zur unteren Platte, bevor es über die Böschung in die Grabensohle abgeleitet wird (siehe Punkt e) der Grundvariante, Abb. 81).



Abb. 75 Einsetzen der Platte und des Metallprofils mithilfe des Kleinbaggers

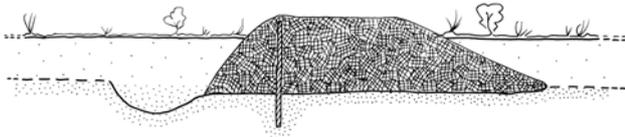


Abb. 76 Längsschnitt des Dammes mit eingesetzter und mit Torf bedeckter Holzplatte (Talseite rechts)

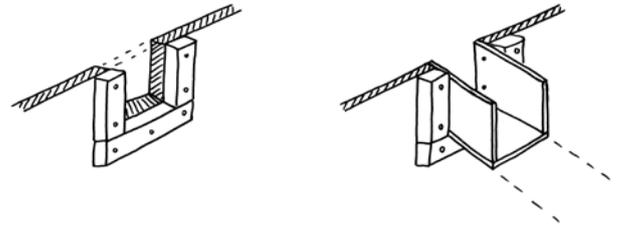


Abb. 77 Konstruktionsprinzip eines Notüberlaufs aus Holz

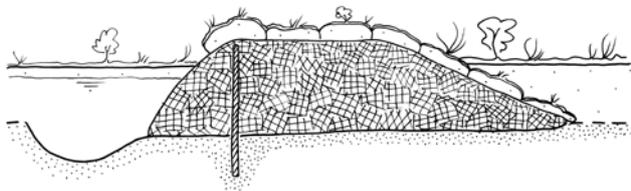


Abb. 78 Längsschnitt des Dammes, der mit den zuvor beiseite gelegten Plaggen abgedeckt wurde

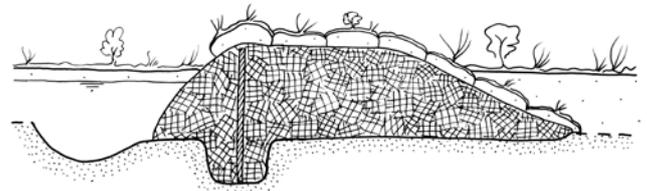


Abb. 79 Wie Abb. 78. Hier wurde die Platte nicht direkt in den intakten Torf geschoben, sondern in einen zuvor ausgehobenen Graben gestellt, der anschliessend auf der ganzen Höhe mit Torf aufgefüllt wurde.

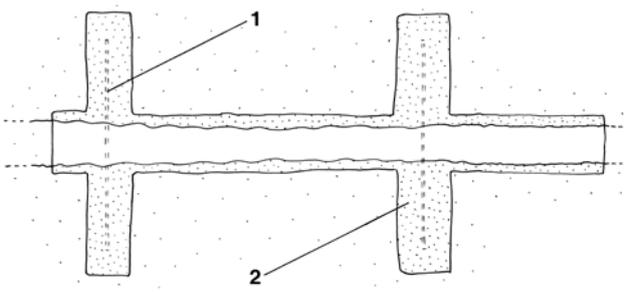


Abb. 80 Damm aus zwei Platten, Grundriss; 1: Position des oberen Dammes; 2: Position des unteren Dammes

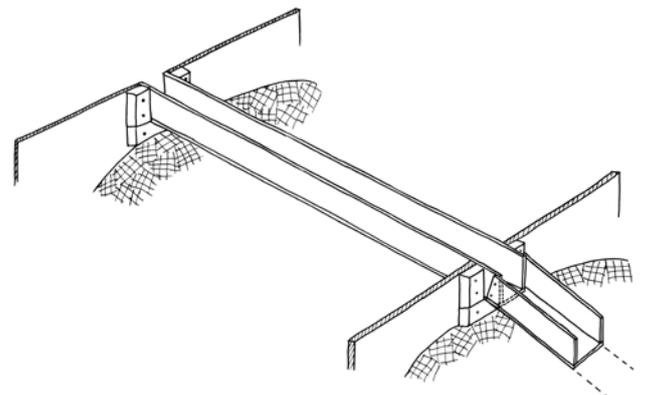


Abb. 81 Notüberlauf an einem Damm aus zwei Platten

- f) Nun werden Bauwerk und Böschung mit den zur Seite gelegten Plaggen abgedeckt; wenn nötig, nackte Flächen gemäss dem Kapitel 2 bepflanzen.

Nach Beendigung des Eingriffs

Erfolgskontrolle der durchgeführten Massnahmen

Um die Wirksamkeit einer Stauanlage beurteilen zu können, sind folgende Punkte zu überprüfen (erste Kontrolle nach Abschluss der Arbeiten, nach dem ersten Regenfall, anschliessend einmal pro Jahr bei einem Routinerundgang):

- > Dichtigkeit des Dammes: Unterschied zwischen dem Wasserstand unterhalb und oberhalb des Bauwerks feststellen; sind die beiden Wasserstände ungefähr gleich, sind möglicherweise Lecks vorhanden, welche das Bauwerk wirkungslos machen; in diesem Fall besteht die Möglichkeit, den Graben auf einigen Metern gleich oberhalb des Dammes mit Torf von guter Qualität zu verfüllen (siehe Kapitel 3.3.2).
- > Zeichen von Erosion infolge seitlichen Überfliessens; ist die Erosion sehr stark, sollte ein Überlauf angebracht werden (siehe Durchführung der Massnahmen).
- > oberhalb des Dammes und in der unmittelbaren Umgebung Zeichen der Wiederansiedlung durch die Vegetation aufnehmen (Torfmoose, Wollgräser usw.)

Für jedes Bauwerk sollte eine Liste mit folgenden Angaben erstellt werden: technische Daten (Art des Bauwerks, Erstellungsdatum, Masse) und jährliche Kontrollen (Dichtigkeit, seitliche Erosion, Zeichen von Wiederansiedlung).

Ein gut angelegter Damm sollte problemlos mehr als 50 Jahre funktionieren.

Kontrollprogramm

Die Durchführung einer Massnahme ist durch ein mittel- bis langfristiges Kontrollprogramm zu ergänzen; dadurch kann die Entwicklung des Lebensraumes besser verfolgt werden. Falls nötig, können die nach einigen Jahren auftretenden Probleme korrigiert werden. Je nach Art des geplanten Programmes ist es ratsam, ein spezialisiertes Büro mit der Aufgabe zu betrauen. Dabei sind folgende Hauptaspekte zu berücksichtigen:

- > regelmässige Aufnahmen von Dauerflächen, um die Wiederansiedlung von Torfmoosen in der Umgebung des Werkes zu beurteilen;
- > Ansiedlung der Fauna in der Wasserfläche oberhalb des Dammes (vor allem Wasserkäfer und Libellen);
- > Wasserstandsmessungen durch Piezometer oder Tensiometer entlang des Grabens oberhalb und unterhalb des Dammes, um das Anheben des Grundwasserspiegels festzustellen; die Geräte sollten mindestens zwei Jahre vor dem Dammbau installiert werden, damit Vergleichsdaten zur Verfügung stehen.

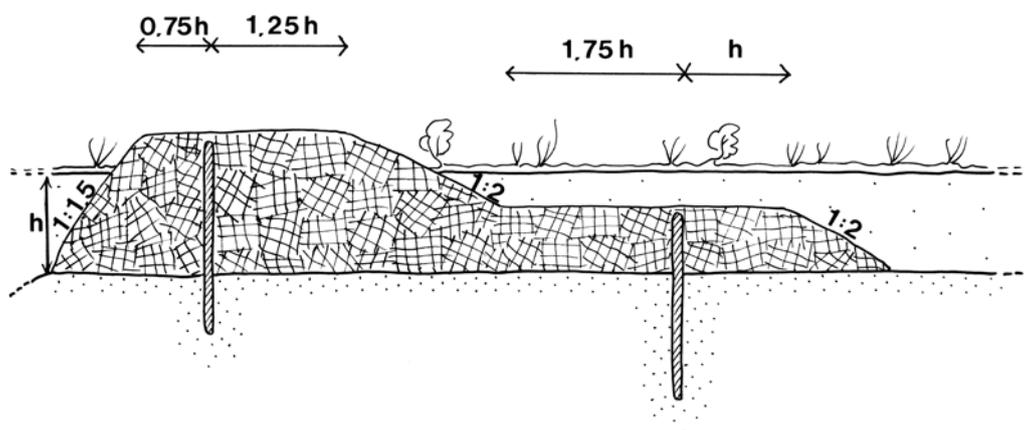


Abb. 82 Standardabmessungen eines Damms aus zwei Platten; Längsschnitt nach Eigner & Schmatzler (1991), S. 99

Gesamtansichten

(Grundvariante: Damm aus einer einzigen Platte, aufzustauende Wasserhöhe = 50 cm)

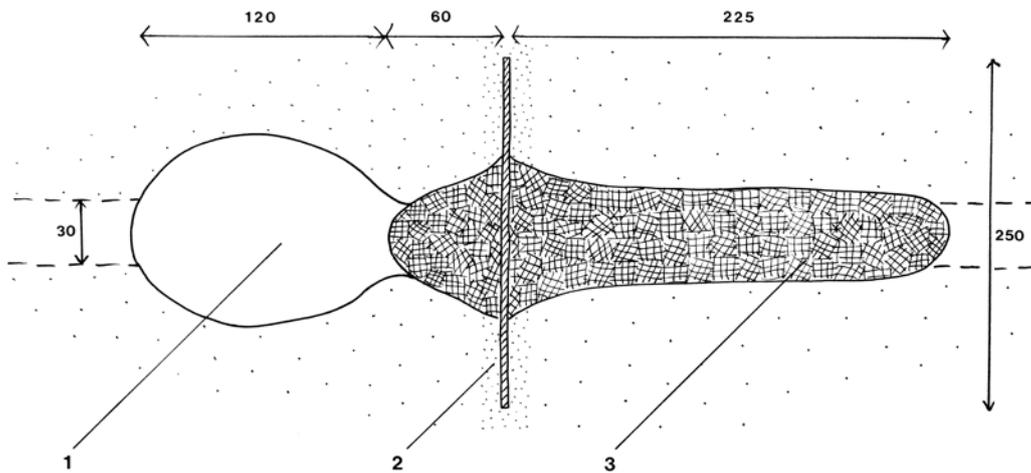


Abb. 83 Einfacher Damm, Grundriss;

1: Tümpel; 2: Holzplatte; 3: festgedrückter Torf (Masse in cm)

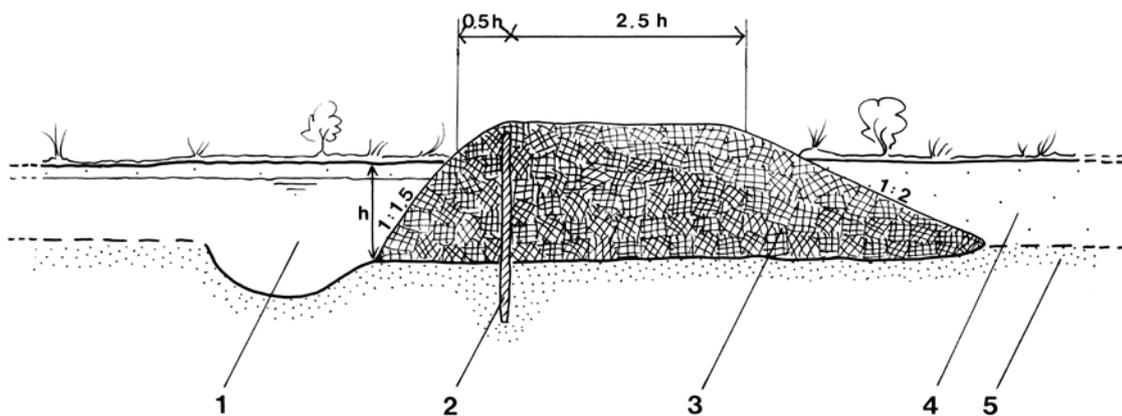


Abb. 84 Einfacher Damm, Längsschnitt;

1: Tümpel; 2: Holzplatte; 3: festgedrückter Torf; 4: Graben; 5: Grabensohle; h : aufzustauende Wasserhöhe

3.3.2 Einstau eines Grabens mit Holzplatten und Verfüllen mit Torf

Die Kenntnis der Kapitel 3.1 bis 3.3 ist Voraussetzung für das Verständnis dieses Kapitels, in dem die Schritte zum Verfüllen von Drainagegräben in Hochmooren erklärt werden.

Beschreibung der Massnahme

Verfüllen eines Drainagegrabens: Zusätzlich zur Errichtung von Dämmen in regelmässigen Abständen (Abb. 88 und 89) wird der Drainagegraben mit Torf zugeschüttet. Danach wird der eingebrachte Torf festgestampft, damit er sich mit dem gewachsenen Torf verbindet (Abb. 85). Dieses Kapitel versteht sich als Ergänzung zu den Kapiteln 3.3.1, 3.3.3 und 3.3.4 und ist mit diesen untrennbar verknüpft. In bestimmten Situationen kann der Torf teilweise durch Lehm ersetzt werden. Das Verfüllen hebt einerseits die austrocknende Wirkung des Grabens auf und führt zu einem zusammenhängenden Grundwasserspiegel. Damit bei dieser Massnahme gute Resultate erzielt werden, müssen für den Transport und das Feststampfen des Torfes (oder des Lehms) Maschinen eingesetzt werden.

Sind die hydrologischen Bedingungen weitgehend wiederhergestellt, siedeln sich relativ schnell Torfmoose und andere Hochmoorpflanzen auf nacktem Torf an. Im Idealfall bilden sich sogar kleine Schlenken, die typisch sind für Vegetationskomplexe des Hochmoorzentrums (*Sphagnetum magellanicum*). Wenn die Vegetation nur mühsam aufkommt, muss eine Bepflanzung der nackten Flächen in Betracht gezogen werden (siehe Kapitel 2).

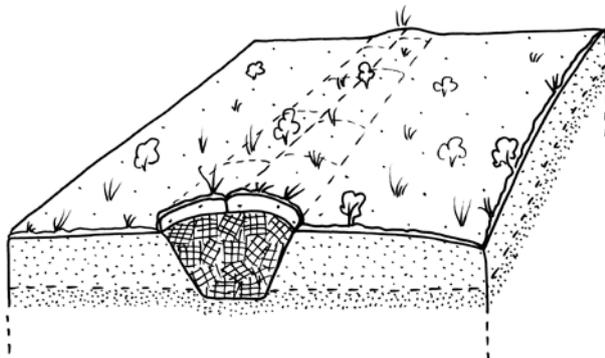


Abb. 85 Mit festgedrückt Torf verfüllter Graben

Zielsetzungen

- > Aufheben der Wirkung kleiner Drainagegräben durch Wiederherstellen der ursprünglichen Topografie; dadurch kann sich der Boden auf der gesamten Fläche mit Wasser vollsaugen.
- > stärker geneigte Gräben einstauen (> 2%); denn mit Dämmen allein kann hier keine absolute Dichtigkeit erreicht werden
- > Erhöhen der Wirkung von Dämmen in schwach geneigtem Gelände (1 bis 2%) durch Grabenverfüllung oberhalb des Dammes, was den Wasserdruck und die Durchlässigkeit vermindert, die Stabilität erhöht und die Erosion reduziert

Bevor ein Eingriff vorgenommen wird ...

Welche Punkte sind zu beachten?

Negative Auswirkungen und Vorsichtsmassnahmen

Das Verfüllen von Gräben kann verschiedene negative Auswirkungen auf den Lebensraum haben. Die Bedeutendsten sind:

- > Bodenverdichtung und Zerstörung von Torfmoosen und der Vegetation in der unmittelbaren Umgebung der Baustelle und auf den Transportwegen; der Einsatz von Maschinen verursacht weniger Beeinträchtigungen als die Handarbeit, bei der durch häufiges Hin- und Hergehen beträchtliche Trittschäden entstehen.
- > Eutrophierung der unmittelbaren Grabenumgebung durch mineralisierte Torfabfälle
- > Zerstörung beschatteter und kühler sekundärer Lebensräume, welche eine vielseitige Fauna und Flora beherbergen; dieser Aspekt ist zu beurteilen und bei den Zielsetzungen zu berücksichtigen.

Kapitel 3.3 enthält Lösungsvorschläge zur Einschränkung dieser Beeinträchtigungen.

Schwierigkeiten bei der Umsetzung und Ratschläge

- > Die grösste Schwierigkeit beim Verfüllen von Gräben ist das Feststampfen des Torfes; der eingebrachte Torf muss sich mit dem gewachsenen Torf an Wänden und Grabensohle verbinden, um zwischen dem verfüllten Graben und seinen Böschungen homogene physikalische Bedingungen zu schaffen; schlecht gestampfter Torf vermag den Wasserabfluss im Graben nicht zu unterbinden.
- > Stehendes Wasser in der Grabensohle erschwert die Vorbereitungsarbeiten an Böschungen und Sohle; daher sollte dieses abgepumpt werden.
- > Wenn es nicht möglich ist, die benötigte Torfmenge für das Verfüllen des gesamten Grabens zu beschaffen, ist am oberen Ende zu beginnen; das Verfüllen muss zwingend mit dem Errichten von einem oder mehreren Dämmen

einhergehen, um die Dichtigkeit zu erhöhen und die Stabilität des eingebrachten Torfs zu gewährleisten.

- > Wird zum Zuschütten qualitativ schlechter Torf verwendet, kann sich die ganze Grabenverfüllung aufgrund von Durchsickerungen als wirkungslos erweisen.
- > Der Transport grosser Mengen Torf mit einer Karrette ist sehr mühsam; zudem hat auch das Stampfen des Torfes mit den Füßen nur eine sehr beschränkte Wirkung; der Einsatz eines Baggers ist unverzichtbar, denn damit können diese Probleme mühelos umgangen werden.

Zuverlässigkeit und Sicherheit

Die Probleme der Zuverlässigkeit und Sicherheit dürfen nicht unterschätzt werden, vor allem die Erdbehrtschgefahr nach dem Verfüllen des Grabens.

Ein Einzelereignis infolge heftiger Niederschläge kann unversehens und vorübergehend einen sehr hohen Wasserabfluss bewirken, wodurch der gesamte zum Verfüllen des Grabens eingebrachte Torf weggeschwemmt werden könnte. Deshalb ist der Bau von Dämmen gemäss Anleitung in den Kapiteln 3.3.1 oder 3.3.3 beziehungsweise bei breiteren Gräben von Holzbohlendämmen nach Kapitel 3.3.4 unumgänglich.

Die Torfqualität (mehr oder weniger faserig) und die Wirksamkeit der Stampfung (Torf mehr oder weniger mit dem Torf der Grabensohle und -wände verbunden) spielen dabei eine wichtige Rolle.

Im Zweifel ist es ratsam, einen Wasserbauingenieur beizuziehen.

Kombinieren von Massnahmen

Das Verfüllen von Gräben muss auch mit dem Bau von Dämmen kombiniert werden (Festigkeitsprobleme, Gefahr von Sickerungen); siehe Kapitel 3.3.1, 3.3.3 oder 3.3.4.

Technische Parameter

- > zum Bestimmen der benötigten Torfmenge das Volumen des zu verfüllenden Grabens schätzen.
- > In der Umgebung des Grabens Sondierbohrungen durchführen, um Torfmächtigkeit und Torfqualität zu beurteilen (rostfarbener, kompakter und faseriger Torf, knetbar); ein breiartiger Torf mit wenig Pflanzenfasern lässt sich nicht feststampfen.
- > den Entnahmeort des Torfes in Verbindung mit einem Pflegeplan im Einvernehmen mit den Verantwortlichen wählen (siehe auch Kasten zum Thema Torfbörse); dabei folgende Punkte beachten:
 - 1) Qualität des zur Verfügung stehenden Torfes; (rostfarbenen, schwach zersetzten Torf verwenden)
 - 2) Befahrbarkeit des Geländes mit Maschinen;
 - 3) Wahl der Transportart entsprechend der verwendeten Torfmenge und der Entfernung des Entnahmeortes.

Torförse liefert Material für Regenerationsprojekte

Gelegentlich kommt bei Aushubarbeiten ausserhalb von Mooren Torf zum Vorschein. In der Regel gelangt dieser auf Deponien, wo er als nicht standfestes und rein organisches Material nicht beliebt ist und Kosten verursacht. Über eine Torfbörse kann der Torf seit 2006 einer sinnvollen Wiederverwendung zugeführt werden, indem er für die Regeneration von Hoch- oder Flachmooren verwendet wird. Wenn bei Aushubarbeiten sauberer, möglichst unzersetzter Torf gefunden wird, kann dies der Torfbörse gemeldet werden. Sie klärt die Eignung des Torfs für Regenerationsprojekte ab und versucht, den Torf direkt an geeignete Moorregenerationsprojekte zu vermitteln. Umgekehrt kann der Torfbörse jederzeit gemeldet werden, wenn für Regenerationsprojekte Torf benötigt wird.

Kontakt Torfbörse: contact@beckstaubli.ch, Tel. 041 750 24 62

- > falls Lehm verwendet wird (siehe Ausführung der Massnahme: Bemerkung), benötigte Lehmmenge schätzen sowie den Entnahmeort bestimmen
- > Zufahrtswege für den Bagger bezeichnen (zu querende Gräben, Torfstiche etc.), siehe Kapitel 3.3.

Zeitpunkt der Durchführung

Die im Allgemeinen eher trockene Periode zwischen August und Oktober ist ideal; im Winter bei gefrorenem Boden zu arbeiten, ist zu vermeiden, da sich dann der Torf nicht verarbeiten lässt und die Gefahr besteht, dass sich die Bauwerke verformen. Die Arbeiten werden durch hohe Feuchtigkeit erheblich erschwert und die Beeinträchtigungen durch die Maschinen erhöht; Arbeiten im Frühjahr sind deshalb nicht zu empfehlen.

Ausrüstung

- > Werkzeuge: Schaufeln, Hacken, Schubkarren
- > Geräte: Motorschubkarren, Kleinbagger, eventuell Wasserpumpe
- > anderes Material: Plastikfolie oder Geotextil, Stiefel, Gartenhandschuhe, Baubaracke (ausserhalb des Moores aufstellen)

Baumaterial

- > Torf (eventuell Lehm)
- > Schalungs- oder Metallplatten

Personal

- > keine besonderen Qualifikationen erforderlich
- > für die Arbeit mit dem Kleinbagger und den Transport mit Maschinen genügen die Fahrer und ein oder zwei Gehilfen
- > Für die Ausführung in Handarbeit ist je nach Umfang der Arbeiten eine Mannschaft von 10 bis 15 Personen optimal.

Betreuung

Eine regelmäßige Betreuung durch eine Person mit Erfahrung auf diesem Gebiet ist in jedem Fall notwendig. Diese Person sollte fähig sein, die Qualität des verwendeten Torfes zu beurteilen und die weiteren Arbeiten zu leiten (Graben vorbereiten, Torf einbringen und stampfen).

Kosten

- > Miete Kleinbagger: zwischen Fr. 120.– und Fr. 200.–/h, Lohn des Baggerführers inbegriffen, ohne Transportkosten
- > Miete für Motorschubkarre
- > Löhne für Arbeiter
- > Honorare für Planungsarbeiten und Bauleitung

Ausführung der Massnahmen

Zur Vorbereitung des Geländes vorher Kapitel 3.3 beachten.

- a) falls nötig Wasser aus dem Graben abpumpen oder diesen provisorisch mit einer Schalungs- oder Metallplatte einstauen (siehe Kapitel 3.3.1, Abb. 88)
- b) Den zu verfüllenden Graben in 5 bis 10 m lange Abschnitte einteilen, um die Arbeiten jeweils zu beenden, bevor der nackte Torf sich zu mineralisieren beginnt; die Arbeiten sind im oberen Teil des Grabens zu beginnen und dann langsam talwärts fortzuführen.
- c) Grabenböschungen freilegen, mit dem Bagger Plaggen herausstechen; diese Plaggen auf einer Plastikfolie oder einem Geotextil in der Nähe lagern; sie werden nach dem

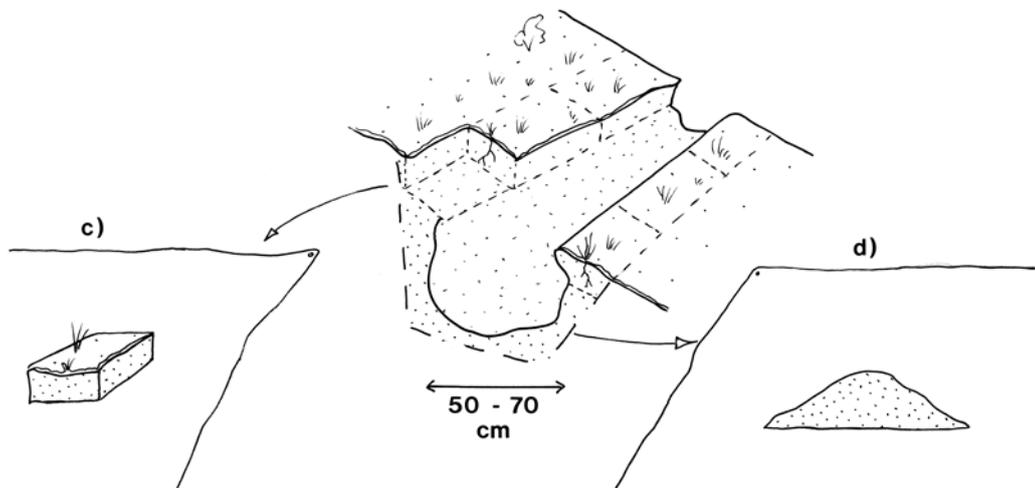
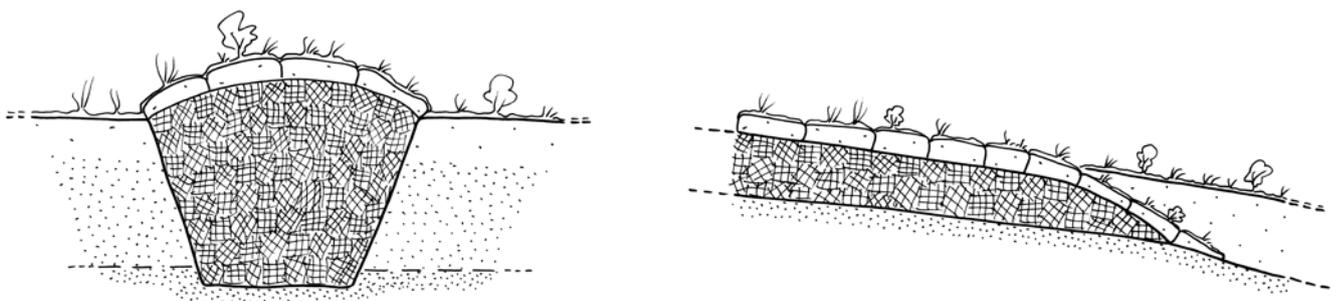


Abb. 86 Freilegen der Grabenböschungen vor dem Verfüllen



A) Querschnitt

B) Längsschnitt

Abb. 87 Mit Torf verfüllter und mit den zuvor beiseite gelegten Plaggen abgedeckter Graben

Verfüllen des Grabens zum Abdecken des eingebrachten Torfes verwendet; Bäume entlang den Böschungen des Grabens entwurzeln (Abb. 86).

- d) Den zersetzten Torf der Böschungen und der Sohle entfernen und auf eine Plastikfolie aufschichten, die Böschungen in eine sauber geschnittene Form bringen und die Sohle ausebnen; dies ist sehr wichtig; denn dadurch kann sichergestellt werden, dass der gewachsene Torf und der eingebrachte, gestampfte Torf von gleicher Qualität sind und sich miteinander verbinden, um einen einzigen homogenen, faserigen, mit Wasser gesättigten Torfkörper zu bilden; den zersetzten Torf ausserhalb des Moores entsorgen.
- e) Den vorbereiteten Abschnitt des Grabens mit dem eingebrachten Torf füllen (Abb. 89 und 90); diesen nach und nach mit der Baggerschaufel anpressen; wenn der Einsatz einer Maschine nicht möglich ist, muss diese Arbeit durch Stampfen mit den Füssen ausgeführt werden; je nach Grabengrösse ist es ratsam, unterhalb des zu verfüllenden Abschnittes vertikale Platten anzubringen, um beim Anpressen ein seitliches Austreten des Torfes zu vermeiden.
- f) Da der Torf später noch sackt, wird der Wall höher als die vorhandene Oberfläche aufgeschichtet (30–50 cm); Ziel ist ein möglichst flacher Boden nach der Verdichtung; nun werden die nackten Torfflächen mit den Plaggen bedeckt (Abb. 87 A; Abb. 91 und 92).
- g) Während des Feststampfens des Torfes im ersten Abschnitt wird der Nächste vorbereitet (Verjüngen des Profils und Aufschichten des guten Torfes); dadurch wird beim Verdichten ein Austreten des Torfes in den oberen Abschnitten verhindert.
- h) Grabenverfüllung durch eine schwach geneigte, mit Vegetation bedeckte Böschung abschliessen (Abb. 87 B)
- i) Sollten zu wenig Plaggen zur Verfügung stehen, um den festgestampften Torf abzudecken, kann die Oberfläche entsprechend den Anweisungen in Kapitel 2 bepflanzt werden.

Nach Abschluss der Grabenverfüllung erfolgt die Wiederinstandsetzung des Geländes gemäss Kapitel 3.4.

> Bemerkung

Manchmal sind die Gräben bis in die Lehmschicht ausgehoben worden. In diesem Fall wird empfohlen, die Grabensohle (bis zur oberen Grenze der Mineralschicht) mit Lehm aufzufüllen. Danach den Graben mit einer Torfschicht von optimal über 50 cm Höhe zuschütten, damit sich eine homogene, mit Wasser gesättigte Torfschicht bildet und die Vegetation vom Einfluss des Lehmsubstrates getrennt wird.

Nach Beendigung des Eingriffs

Erfolgskontrolle der durchgeführten Massnahmen

- > Die Grabenverfüllung kann dann als erfolgreich bezeichnet werden, wenn der Torfkörper bis an die Oberfläche mit Wasser gesättigt ist; dann fliesst das Wasser im Graben nicht mehr ab.
- > Ein Schlüssel zum Erfolg ist das natürliche Setzen des eingebrachten Torfes und somit auch die endgültige Bodenhöhe; bei zu starkem Setzen wird sich eine neue Vertiefung bilden; in einem solchen Fall muss die Vegetation vorübergehend entfernt und zusätzlicher Torf eingebracht werden, bevor wieder bepflanzt wird.
- > Wichtig für den Erfolg der Massnahme ist das Anwachsen der Vegetation auf dem nackten Torf, denn sie schützt vor Erosion.
- > Durch den Transport und das Einbringen des Torfes verursachte Trittschäden sollten auf der Vegetation keine bleibenden Spuren hinterlassen.

Kontrollprogramm

Die Umsetzung der Massnahme ist durch ein mittel- oder langfristiges Kontrollprogramm zu ergänzen. Dadurch kann die Entwicklung des Lebensraumes besser beurteilt werden und können die nach einigen Jahren auftretenden Probleme falls nötig korrigiert werden. Je nach Art des geplanten Programmes ist es empfehlenswert, ein spezialisiertes Büro mit der Aufgabe zu betrauen. Folgende Hauptaspekte sind dabei zu beachten:

- > regelmässige Aufnahmen von Dauerflächen, um die Wiederansiedlung von Flora (insbesondere der Torfmoose) und Fauna auf dem verfüllten Graben sowie in der unmittelbaren Umgebung zu verfolgen;
- > damit das Anheben des Grundwasserspiegels festgestellt werden kann, ist der Wasserstand entlang des Drainagegrabens mit Piezo- oder Tensiometern zu messen; diese Geräte sollten mindestens zwei Jahre vor der Grabenverfüllung installiert werden, damit Vergleichsdaten zur Verfügung stehen.



Abb. 88 Einsetzen von Platten, am oberen Ende des Grabens beginnend



Abb. 89 Mit Platten in regelmässigen Abständen eingestauter und mit Torf verfüllter Graben



Abb. 90 Mit Torf abgedeckte Platten



Abb. 91 Mit den zuvor beiseite gelegten Plaggen abgedeckter Torf



Abb. 92 Verfüllter und mit Vegetationsschicht bedeckter Graben, Einsiedeln (SZ), Hochmoor Rothenthurm



Abb. 93 Variante: Verfüllen des Grabens mit Sägemehl (Zuger Methode)

3.3.3 Einstau eines Grabens mit Holzplatten und Verfüllen mit Sägemehl (Zuger Methode)

Die Kenntnis der Kapitel 3.1, 3.2, 3.3 und 3.3.1 ist Voraussetzung für das Verständnis dieses Kapitels. Im vorliegenden Beitrag werden die einzelnen Schritte zur Inaktivierung von Entwässerungsgräben durch eine Kombination von Einstau und Auffüllung mit Sägemehl (Zuger Methode) erläutert.

Beschreibung der Massnahme

Je nach Neigung des Geländes werden Holzschalungstafeln in Abständen von 2 bis 15 Metern durch die Vegetationsschicht hindurch in den Boden gerammt (siehe Kapitel 3.3.1). Die Vegetation im Bereich des Grabens wird ausgestochen und zur Seite gelegt. Bei unbewachsenen Böden wird die oberste Bodenschicht entfernt und auf der Seite deponiert. Die Grabenabschnitte werden bis an den Rand mit Sägemehl gefüllt und danach mit den zuvor entfernten Vegetationsstücken oder dem Grabenaushubmaterial bedeckt (Abb. 93).

Sägemehl hat sich als geeignetes Ersatzmaterial für Torf erwiesen. Es ist rein organisch, praktisch inert, in nassen Verhältnissen sehr beständig, leicht zu transportieren, formstabil, günstig, meist lokal vorhanden und hat eine kleine Porengrösse.

Die Füllung kombiniert mit dem Einstau hebt die austrocknende Wirkung des Grabens auf und führt zu einem zusammenhängenden, im Idealfall bis an die Oberfläche reichenden Grundwasserspiegel. In geneigten Flächen führt die Massnahme dazu, dass das Wasser über die ganze Moorfläche verteilt abfließen kann. Der Einstau von Entwässerungsgräben mit Holzplatten und die Verwendung von Sägemehl als Füllmaterial wurde im Kanton Zug entwickelt und erstmals erfolgreich angewendet. Deshalb ist diese Technik als «Zuger Methode» bekannt (Staubli 2004).

Zielsetzungen

- > Aufheben der Entwässerungswirkung von Gräben durch Wiederherstellung der ursprünglichen Topografie
- > wirkungsvoller Einstau auch von Gräben mit mehr als 2 % Gefälle
- > wirkungsvoller Einstau von Gräben mit Dimensionen in der Grössenordnung von 50 cm Breite und 50–70 cm Tiefe bei der Verwendung von üblichen Brettern von 2 m Breite und 1 m Tiefe
- > In geneigten Moorflächen soll der Wasserfluss wieder über die gesamte Moorfläche erfolgen.
- > Wasser soll möglichst lange im Moor zurückbehalten, der Grundwasserspiegel damit angehoben und möglichst ohne grosse Schwankungen oberflächennah gehalten werden.

Bevor ein Eingriff vorgenommen wird ... Welche Punkte sind zu beachten?

Negative Auswirkungen und Vorsichtsmassnahmen

Das Verfüllen von Gräben kann auch negative Auswirkungen auf den Lebensraum haben. Die Bedeutendsten sind:

- > Bodenverdichtung und Zerstörung von Torfmoosen und der Vegetation in der unmittelbaren Umgebung der Baustelle und auf den Transportwegen
- > Zerstörung beschatteter sekundäre Lebensräume, welche eine vielfältige Fauna und Flora beherbergen. Dieser Aspekt ist zu beurteilen und bei den Zielsetzungen zu berücksichtigen.

Schwierigkeiten bei der Umsetzung und Ratschläge

Ein grosser Holzanteil oder Wurzeln im Torf können das Eindringen der Spundbretter erschweren oder verunmöglichen. Durch Sondierbohrungen ist das Vorkommen von Holz oder Wurzeln zu ermitteln. Gegebenenfalls und wenn möglich ist die Spundwand zu verschieben. Oberflächennahes Holz oder Wurzeln können mit einer Motorsäge mit langem Schwert im Boden durchtrennt werden.

Das Sägemehl lässt sich im trockenen Zustand, in dem es üblicherweise und mit Vorteil eingebracht wird, kaum feststampfen. Daher hat es sich bewährt, nach dem Einfüllen die Durchnässung des Sägemehls abzuwarten oder diese zu beschleunigen. Da die Gräben in der Regel bereits gestaut sind, gelingt dies mit leichtem Anpressen mit der Schaufel oder durch Einstampfen sehr schnell.

Wegen seines geringen Gewichts lässt sich Sägemehl sehr gut mit Schubkarren transportieren (Abb. 95). Um die Vegetation zu schonen und die Arbeit zu erleichtern, haben sich Transportpisten aus Gerüstbrettern bewährt (Kapitel 2.3.1). Bei schlechter Erschliessung kann Sägemehl und anderes Material auch mit einem Seilkran transportiert werden. Das Sägemehl kann in diesem Fall in Big-Bags oder in ein grosses Tuch gefüllt werden (Abb. 96).

Bei einer geringen Überdeckung mit Torf und Vegetation ist Sägemehl erosionsanfällig und kann leicht weggeschwemmt werden. Eine vollständige Überdeckung des Sägemehls mit einer Torfschicht und mit Pflanzenmaterial ist vorzunehmen (Abb. 97). Bei nicht ausreichender Menge Pflanzenmaterial ist eine Abdeckung des Torfs mit frisch geschnittener Streu, allenfalls auch Stroh, angezeigt.

Weil die Transportwege sehr weit waren, um die gefüllten Bäume zu entfernen und Füllmaterial einzubringen, wurde im Neuenburger Jura in einem Pilotprojekt eine gut durchmischte Füllung aus 50 % Sägemehl und 50 % sehr feinem Häcksel (1–2 cm Grösse) in die gestauten Gräben gefüllt (Abb. 94). Die Massnahme hat sich gut bewährt.

Zur Kostenersparnis und zur Verminderung von ökologisch und ökonomisch unvorteilhaften Leerfahrten der Lastwagen ist die Kombination von Hintransport von Füllmaterial und Rücktransport von Nutzholz zu prüfen, falls im Moor oder in dessen Nähe ein Holzschlag erfolgt.

Die Ausführung kann arbeitsintensiv sein, was zu hohen Kosten führt. Der Einsatz von Freiwilligengruppen, bei Bedarf in Kombination mit Profis, welche maschinelle Vorarbeiten leisten, hat sich bewährt. Die Nachfrage nach Einsatzmöglichkeiten für Freiwillige übersteigt das Angebot an Arbeitsorten bei Weitem.

Zuverlässigkeit und Sicherheit

Die Technik als solche birgt keine besonderen Gefahren. Allerdings werden die Tragfähigkeit von Torfböden und die Empfindlichkeit der Moorvegetation oft unterschätzt, da wenige Maschinenführer Erfahrungen mit dem unüblichen Untergrund haben. Daher sind sie mit Nachdruck auf diese Faktoren sowie auf die Gefahr eines Grundbruches hinzuweisen. Es empfiehlt sich, auf einer Bretter- oder Astpiste zu fahren und eventuell auf einer Arbeitsunterlage (z. B. Baggermatratze) zu arbeiten.

Kombination von Massnahmen

Die Zuger Methode stellt eine Kombination von Massnahmen (Sperre und Auffüllung von Gräben) dar. In Abhängigkeit verschiedener Rahmenbedingungen können auch andere Kombinationen von Techniken und Materialien gewählt werden, also Torf zur Grabenfüllung oder Holzspundwand zum Einstau.

Technische Parameter

- > Zur Bestimmung der benötigten Sägemehlmenge ist das Volumen der zu verfüllenden Gräben zu berechnen. Da es sich kaum setzt, kann die Menge Sägemehl beschafft werden, die dem zu füllenden Grabenvolumen entspricht.
- > Aufgrund der erhobenen Daten (siehe Kapitel 3.3.1 und 3.3.2) und durch Sondierbohrungen entlang der Gräben sind die Stellen für die Holzplattendämme festzulegen.
- > Die Befahrbarkeit des Geländes und die Zufahrt mit Maschinen sind zu prüfen.
- > Transportpisten oder Seilkranlinien sind festzulegen.
- > Synergien zwischen Einrichtungen für einen allfälligen Holzschlag und der dabei verwendeten Transportmittel wie Seilkran etc. sind zu prüfen.

Zeitpunkt der Durchführung

Grundsätzlich sind die Schutzbestimmungen des Gebietes zu beachten. Die im Allgemeinen eher trockene Periode von August bis Oktober ist häufig ideal. Arbeiten bei leicht gefrorenem Boden oder auf einer geringen Schneedecke vermindern

Flurschäden. Bei sehr tiefen Temperaturen wird von Arbeiten abgeraten, da Grab- und Rammarbeiten eingeschränkt oder nicht möglich sind.

Ausrüstung

- > Werkzeuge: Hacken, Schaufeln, Spaten
- > Geräte: Raupenbagger, Raupendumper, Schubkarren, eventuell Seilkran, Wasserpumpe
- > anderes Material: Geotextil, Big-Bag, Metallaufsatz zum Schutz der Holztafel beim Einrammen, Gerüstbretter

Baumaterial

- > Sägemehl: relativ fein (d. h. ohne Häcksel oder mit maximal 50 % 1–2 cm grossem Häcksel), Laub- oder Nadelholz spielt keine Rolle
- > Dammbaumaterial: 3-Schicht-Massivholzplatten ohne Oberflächenbehandlung. Eine häufig verwendete Grösse beträgt 2 × 1 m. Der untere Rand wird mit der Motorsäge beidseitig zugespitzt.

Personal

- > Baggerführer und ein Gehilfe
- > Keine besonderen Qualifikationen erforderlich. Allerdings sind alle Beteiligten über die Empfindlichkeit der Moore zu informieren und es muss eine besonders schonende Arbeitsweise verlangt werden.
- > Für die Ausführung in Handarbeit ist eine Gruppe von 10 bis 25 Personen optimal.

Betreuung

Eine Bauleitung durch eine Person mit Erfahrung in Regenerationsprojekten ist notwendig.

Kosten (Stand 2008)

Baustelleninstallation

- > Miete Bagger zwischen Fr. 120.– und Fr. 200.–/h (inkl. Lohn Maschinist, Treibstoff, Kleinmaterial)
- > Miete Raupendumper zwischen Fr. 60.– und Fr. 80.–/h (inkl. Lohn Maschinist, Treibstoff, Kleinmaterial)

Löhne für Arbeiter

- > Honorare für Planungsarbeiten und Bauleitung
- > Kosten für Freiwilligengruppe zwischen Fr. 4000.– und Fr. 5000.– pro Woche
- > Sägemehl Fr. 15.– bis 20.–/m³
- > Transportkosten für Füllmaterial
- > 3-Schicht-Massivholzplatten, 27 mm, verleimt Fr. 30.–/m²
- > Big-Bag (Occasion, ca. 1 m³ Inhalt) Fr. 5.–
- > Seilkran: Einrichtung (ab Fr. 450.–) und Miete (Fr. 1500.–/Tag)
- > Miete Gerüstbretter



Abb. 94 *Optimale Mischung aus Sägemehl und feinem Häcksel*



Abb. 95 *Transport des Sägemehls mithilfe von Schubkarren*



Abb. 96 *Transport von Sägemehl mithilfe einer Trageseilvorrichtung, Schwarzenberg (LU), Hochmoor Foremoos im Eigental*

> Bemerkung

Je nach Topografie können einzelne Grabenabschnitte nur teilweise mit Sägemehl oder Torf gefüllt werden, damit in den Senken offene Wasserflächen entstehen, die für Verlandungsgesellschaften und für die Fauna wichtig sind.

Ausführung der Massnahme

- a) Holztafeln je nach Gelände in Abständen von 2 bis 15 Metern durch die Vegetationsschicht hindurch in den Boden rammen
- b) falls die entstehenden Grabenabschnitte mit Wasser gefüllt sind, Wasser abpumpen oder ausschöpfen
- c) Gräben freilegen. Die Vegetationsstücke auf einer Plastikfolie oder auf einem Geotextil längs des Grabens lagern
- d) den zersetzten Torf der Sohle und der Böschungen entfernen und ebenfalls auf Folie oder Geotextil zwischenlagern
- e) Die vorbereiteten Abschnitte mit Sägemehl füllen. Durch Anpressen oder durch Einstampfen nass werden lassen. Da das Sägemehl, wenn es nass ist, noch etwas sackt, wird Sägemehl bis an die Grabenoberkante oder etwas darüber hinaus eingefüllt. Torf darüber verteilen und mit den zuvor entfernten Vegetationsstücken bedecken

Nach Beendigung des Eingriffs ...

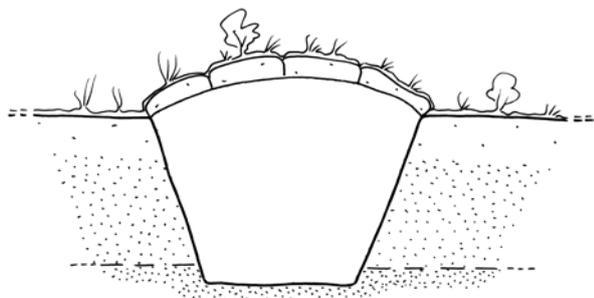
Erfolgskontrolle der durchgeführten Massnahmen

Die Grabenverfüllung kann dann als erfolgreich bezeichnet werden, wenn der Torfkörper die meiste Zeit bis an die Oberfläche mit Wasser gesättigt ist.

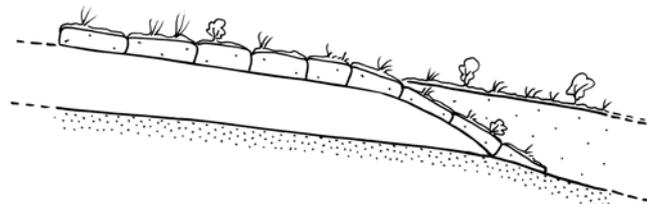
In einer geneigten Hangfläche ist die Grabenverfüllung erfolgreich, wenn das Wasser auf der gesamten Breite fliesst und der Torfkörper meistens bis an die Oberfläche wassergesättigt ist.

Kontrollprogramm

Die Umsetzung der Massnahmen ist durch ein mittel- bis langfristiges Kontrollprogramm zu begleiten (Habb & Jutz 2003). Dadurch können die Entwicklung des Lebensraumes besser beurteilt und allfällige Fehlentwicklungen korrigiert werden. Es ist empfehlenswert, eine Fachperson mit der Aufgabe zu betrauen. Als Methoden eignen sich Grundwassermessungen mit Piezo- oder Tensiometern sowie Dauerflächen für die Beobachtung der Vegetationsentwicklung. In bewaldeten Flächen können absterbende Bäume schon nach kurzer Zeit die Wirksamkeit der Massnahmen zeigen.



A) Querschnitt



B) Längsschnitt

Abb. 97 Mit Sägemehl verfüllter und mit den zuvor beiseite gelegten Plaggen abgedeckter Graben

3.3.4 Einstau eines Grabens mit einem Holzbohlendamm

Die Kenntnis der Kapitel 3.1, 3.2, 3.3 und 3.3.1 bis 3.3.3 ist Voraussetzung für das Verständnis dieses Kapitels. Im vorliegenden Beitrag werden die einzelnen Schritte zur Inaktivierung von Entwässerungsgräben durch einen Holzbohlendamm erläutert.

Beschreibung der Massnahme

Beim Bau einer Holzspundwand werden Holzspundbretter durch die Vegetationsschicht hindurch in den Boden gerammt (Krüger 1998). Je nach Bodenbeschaffenheit und Länge der Bretter kann dies mit einem Bagger oder von Hand erfolgen. Zur Erhöhung der Wasserdichtigkeit und zur sicheren Führung der Bretter während des Einrammens werden die Bretter mit Nut und Kamm hergestellt (Abb. 98 bis 100). Unten sind sie in einem spitzen Winkel abgesägt, damit sie beim Einrammen durch den erzeugten Bodendruck gegen das benachbarte Spundbrett gedrückt werden. Um das Ausbrechen gegen die Breitseiten zu verhindern, wird auf beiden Seiten der entstehenden Wand horizontal je eine Holzlatte als «Zange» befestigt. Während der Bauphase werden diese Zangen mit Schraubzwingen gehalten. Nach der Fertigstellung werden die Latten verschraubt (Abb. 101 bis 105, Seite 75).

Zielsetzungen

In weitgehend ebenen Moorflächen, Senken, tiefen oder breiten Gräben soll das Wasser am Abfluss gehindert werden.

Wasser soll möglichst lange im Moor zurückbehalten, der Grundwasserspiegel damit angehoben und möglichst ohne grosse Schwankungen oberflächennah gehalten werden.



Abb. 98 Einseitig in einem spitzen Winkel abgesägte Bretter

Bevor ein Eingriff vorgenommen wird ...

Welche Punkte sind zu beachten?

Negative Auswirkungen und Vorsichtsmassnahmen

Der Stau von Senken und Gräben kann auch negative Auswirkungen auf den Lebensraum haben. Die Bedeutendsten sind:

- > Überflutung und damit Zerstörung von Moorflächen, welche eine vielfältige Fauna und Flora beherbergen können. Dieser Aspekt ist zu beurteilen und bei den Zielsetzungen zu berücksichtigen.
- > Bodenverdichtung und Zerstörung von Torfmoosen und der Vegetation in der unmittelbaren Umgebung der Baustelle und auf den Transportwegen
- > Ungeeignete Wasserqualität, zum Beispiel zu viele Nährstoffe (Wassereinträge aus nebenan liegenden Flächen auch in Betracht ziehen: nährstoffreiches Wasser lieber wegfließen lassen oder umleiten, und dann den Graben stauen)

Schwierigkeiten bei der Umsetzung und Ratschläge

Ein grosser Holzanteil oder Wurzeln im Torf können das Eindringen der Spundbretter erschweren oder verunmöglichen. Durch Sondierbohrungen ist das Vorkommen von Holz oder Wurzeln zu ermitteln. Gegebenenfalls und wenn möglich ist die Spundwand zu verschieben. Oberflächennahes Holz oder Wurzeln können mit einer Motorsäge mit langem Schwert im Boden durchtrennt werden.

Bei schlechter Erschliessung kann das Baumaterial auch mit einem Seilkran transportiert werden.

Zuverlässigkeit und Sicherheit

Mit Holzspundwänden lassen sich breite und hohe Dämme errichten. Wasserseitig können dadurch hohe Drücke entstehen, die durch geeignete Vorkehrungen abgebaut werden müssen. Dazu gehören die ausreichende seitliche und vertikale Einbin-



Abb. 99 Bretter mit Nut und Kamm

dung in den gewachsenen Boden, horizontale Verstrebungen, der Einbau der Spundwand in einen Damm aus Torf oder Lehm, Füllung der Gräben mit Sägemehl, Torf oder Lehm.

Um die Beeinträchtigung der Holzspundwand durch Witterungseinflüsse oder Verrottung zu verhindern, muss die Holzspundwand auf jeden Fall so eingebaut werden, dass sie permanent nass und ohne Sauerstoffzufuhr ist. Daher ist mit geeigneten Massnahmen wie dem Bau von weiteren Stauvorrichtungen, einpacken und überdecken der Spundwand mit Torf, Füllen von Gräben etc. der Wasserstand auf ein hohes Niveau zu bringen und dort zu halten.

Fließt das Wasser über die Dammkrone ab, muss ein erosionsicherer Überlauf geschaffen werden (Kapitel 2.3.1).

Die Technik als solche birgt keine besonderen Gefahren. Allerdings werden die Tragfähigkeit von Torfböden und die Empfindlichkeit der Moorvegetation oft unterschätzt, da wenige Maschinenführer Erfahrungen mit dem unüblichen Untergrund haben. Daher sind sie mit Nachdruck auf diese Faktoren sowie auf die Gefahr eines Grundbruches hinzuweisen.

Es empfiehlt sich, auf einer Bretter- oder Astpiste zu fahren und eventuell auf einer Arbeitsunterlage (z. B. Baggermatratze) zu arbeiten.

Kombination von Massnahmen

Zur Erhöhung der Dichtigkeit und für einen besseren Sauerstoffabschluss kann die Spundwand wasserseitig mit einer Matte aus mineralischem, kalkfreiem, aufquellendem Material (z. B. Bentonit-Matte) ergänzt werden. Dies bedingt allerdings, dass die Spundwand während des Baus phasenweise mindestens einseitig freigestellt ist.

Technische Parameter

- > Aufgrund bereits erhobener Daten (Kapitel 1.1 und 1.2) und durch Sondierbohrungen entlang der Gräben sind die genauen Standorte der Spundwände zu wählen. Die Befahrbarkeit des Geländes und die Zufahrt mit Maschinen sind zu prüfen.
- > Transportpisten oder Seilkranlinien sind festzulegen.

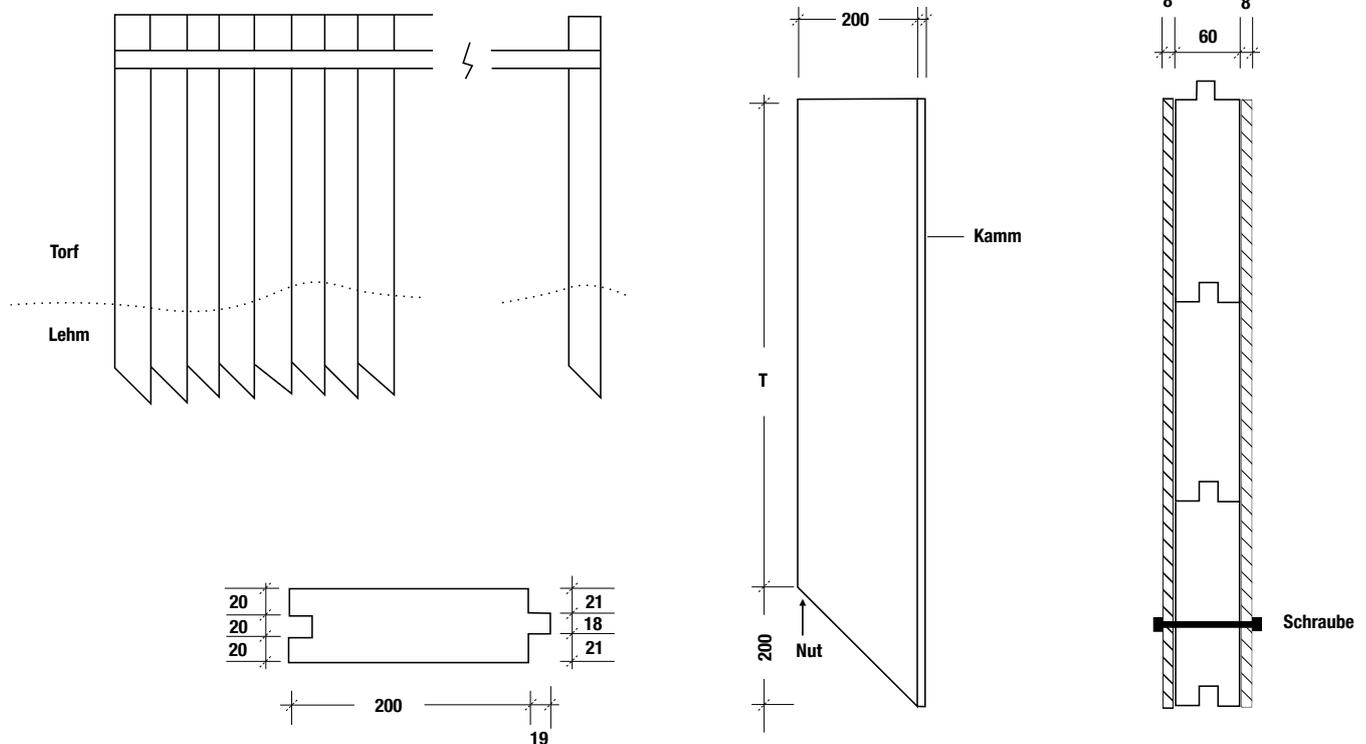


Abb. 100 Bauplan für eine Holzspundwand; abhängig von Höhe und Länge sind andere Dimensionen möglich; Holzarten: Tanne, Lärche, Eiche, Kiefer; Frischholz, roh gesägt; Masse in mm



Abb. 101 Einrammen der Bretter mithilfe eines Kleinbaggers



Abb. 102 Metallprofile als Führungsschienen für das Einrammen der Bretter



Abb. 103 Abschrägen der Brettspitze mithilfe der Motorsäge



Abb. 104 Fertig eingesetzte Spundwand vor dem Abdecken mit Torf, Walchwil (ZG); Hochmoor Früebüelmoos



Abb. 105 Mit dieser Methode können sehr lange Dämme errichtet werden.

- > Synergien zwischen Einrichtungen für einen allfälligen Holzschlag und der dabei verwendeten Transportmittel wie Seilkran etc. sind zu prüfen.

Zeitpunkt der Durchführung

Grundsätzlich sind die Schutzbestimmungen des Gebietes zu beachten. Die im Allgemeinen eher trockene Periode von August bis Oktober ist häufig ideal. Arbeiten bei trockenen Verhältnissen oder auf einer etwa 20–30 cm dicken Schneedecke vermindern Flurschäden. Bei sehr tiefen Temperaturen wird von Arbeiten abgeraten, da Grab- und Rammarbeiten eingeschränkt oder nicht möglich sind und auch das Füllmaterial häufig nicht dicht gepackt eingebaut werden kann.

Ausrüstung

- > Werkzeuge: Motorsäge, Schraubzwingen, eventuell Bentonitmatte
- > Geräte: Raupenbagger, Raupendumper, eventuell Seilkran
- > anderes Material: Metallaufsatz zum Schutz der Holzbalken beim Einrammen, Gerüstbretter

Baumaterial

- > Spundbretter: Weisstanne, Föhre, Eiche, Fichte.
- > Dimensionen: Breite 100–200 mm; Tiefe 60–120 mm; Länge nach Bedarf, unten angeschrägt; Kamm 20 × 20 mm auf der langen Brettseite; Nut 18 × 19 mm auf der kurzen Brettseite; ungehobelt, keine durchgehenden Äste oder Risse. Falls die Spundbretter von Hand eingeschlagen werden sollen, sind gehobelte und wenig breite Bretter vorteilhaft.

Personal

Baggerführer und ein Gehilfe. Es sind keine besonderen Qualifikationen erforderlich. Allerdings sind alle Beteiligten über

die Empfindlichkeit der Moore zu informieren, und es muss eine besonders schonende Arbeitsweise verlangt werden.

Betreuung

Eine Bauleitung durch eine Person mit Erfahrung in Regenerationsprojekten ist notwendig.

Kosten

Baustelleninstallation

- > Miete Bagger zwischen Fr. 120.– und Fr. 200.–/h (inkl. Lohn Maschinist, Treibstoff, Kleinmaterial)
- > Miete Raupendumper zwischen Fr. 60.– und Fr. 80.–/h (inkl. Lohn Maschinist, Treibstoff, Kleinmaterial)

Löhne für Arbeiter

- > Honorare für Planungsarbeiten und Bauleitung
- > Transportkosten für Füllmaterial
- > Spundbretter für 10 m² Spundwand mit Stärke 5 cm: Weisstanne: Fr. 300–400.–; Eiche Fr. 900.–
- > Seilkran: Einrichtung (ab Fr. 450.–) und Miete (Fr. 1500.–/Tag)
- > Miete Gerüstbretter

Ausführung der Massnahme

- die Vegetation im Bereich der geplanten Spundwand entfernen und auf einer Plastikfolie oder auf einem Geotextil zwischenlagern
- zwei Holzbohlen in einem Abstand von mehreren Metern in den Boden rammen (Abb. 101), wobei eine Bohle auf die definitive Tiefe eingeschlagen wird. Die zweite dient als provisorisches Widerlager für die Führungsschiene (siehe nächsten Punkt). Bei Bedarf ist das Holz oben mit einem starken Metallprofil abzudecken.



Abb. 106 Mit Torf abgedeckte Holzspundwand, Le Cerneux-Péquignot (NE), Marais des Saignes-Jeanne



Abb. 107 Strohmatte zum Schutz des Dammes gegen Erosion, Saignelégier (JU), Etang de la Gruère

- c) Zwei Kanthölzer oder Metallprofile werden als Führungsschiene («Zange») mit Schraubzwingen an den Bohlen befestigt (Abb. 102).
- d) Die nächsten Spundbretter werden an das definitiv eingerammte Brett gelegt und in den Boden gedrückt oder geschlagen. Die Brettspitze ist zuvor so abzuschrägen, dass sie von der entstehenden Spundwand wegzeigt (Abb. 103). Beim Einrammen drückt der mechanische Widerstand des Bodens das Brett gegen das bereits eingeschlagene Brett.
- e) Meist ist angezeigt, in unmittelbarer Nähe des einzurammenden Brettes eine weitere Schraubzwinge zu befestigen, welche die zwei Kanthölzer zusammenhält, womit das seitliche Ausweichen des Brettes verhindert wird.
- f) Da nicht immer alle Bretter gleich tief in den Untergrund getrieben werden können, wird am Schluss die erwünschte Dammkrone mit der Motorsäge erstellt.
- g) Wenn das Wasser über die Dammkrone fließt, wird ein an den maximalen Abfluss angepasstes Profil ausgesägt und Massnahmen gegen die Erosion ergriffen (Abb. 104 und 105).
- h) Beidseits der Spundwand wird geeignetes Damm- oder Füllmaterial eingebracht. Falls die entstehenden Grabenabschnitte mit Wasser gefüllt sind, zuerst das Wasser abpumpen oder ausschöpfen. Die vegetationsfreien Stellen mit den zwischengelagerten Vegetationsstücken abdecken (Abb. 106)
- i) eventuell Massnahmen gegen die Erosion ergreifen (Abb. 107)

> Bemerkung

Je nach Topografie können in den Senken offene Wasserflächen entstehen, die für Verhandlungsgesellschaften und für die Fauna wichtig sind.

Nach Beendigung des Eingriffs

Erfolgskontrolle der durchgeführten Massnahmen

Die Renaturierung kann dann als erfolgreich bezeichnet werden, wenn der Torfkörper bis an die Oberfläche mit Wasser gesättigt ist.

Kontrollprogramm

Die Umsetzung der Massnahmen ist durch ein mittel- bis langfristiges Kontrollprogramm zu begleiten (Haab & Jutz 2004). Dadurch können die Entwicklung des Lebensraumes besser beurteilt und allfällige Fehlentwicklungen korrigiert werden. Es ist empfehlenswert, eine Fachperson mit der Aufgabe zu betrauen. Als Methoden eignen sich Grundwassermessungen mit Piezo- oder Tensiometern sowie Dauerflächen für die Beobachtung der Vegetationsentwicklung. In bewaldeten Flächen können absterbende Bäume schon nach kurzer Zeit die Wirksamkeit der Massnahmen zeigen.

3.3.5 Wasserregulierung über einen Holzkasten

Die Kenntnis der Kapitel 3.1 bis 3.3 ist Voraussetzung für das Verständnis dieses Kapitels. Im vorliegenden Beitrag werden die einzelnen Schritte für den Bau eines Holzkastens erklärt. Holzkästen sind vor allem für den Einbau im Torf konzipiert.

Beschreibung der Massnahme

Die meisten alten Torfstiche (Gruben) haben nur einen einzigen in den Torf gegrabenen Abfluss. Um diese oft verlandenden Torfstiche wieder mit Wasser zu versorgen, muss beim Abfluss eine Sperre errichtet werden. Ein Holzkasten (Regulierkasten) ist dafür sehr geeignet, weil man damit die Möglichkeit hat, den Wasserstand schrittweise anzuheben, ohne den vorhandenen Torfmoost Teppich zu ertränken (Abb. 110 und 111). Durch die dauernde Überschwemmung wird ein Verbuschen des Lebensraumes, vor allem durch Birken, verhindert. Breite, von Torfstichwänden flankierte Gräben können ebenfalls durch Regulierkästen geschlossen werden.

Holzkästen eignen sich in Prinzip besonders für kleine Abflüsse (max. 1 m Breite), können aber auch bei breiteren Abflüssen zur Anwendung kommen, indem sie in einen Holzbohlendamm integriert werden (siehe Kapitel 3.3.4).

Regulierkästen sind für den Einbau in Torfböschungen konzipiert, denn im Gegensatz zu Zementkästen (siehe Kapitel 3.3.4), die sich für Mergel- oder Lehmböschungen besser eignen, können sie abgedichtet werden. Allerdings sollte der Kasten im lehmigen Untergrund verankert werden können; ist dies nicht möglich, ist ein Einbau in einen Holzbohlendamm entsprechend dem Modell in Kapitel 3.4.4 in Betracht

zu ziehen, um die Dichtigkeit unterhalb des Kastens zu gewährleisten.

Die Wasserregulierung erfolgt durch das Einführen von übereinander liegenden Brettern. Der Zwischenraum zwischen den Brettern wird mithilfe von stark gepresstem Lehm abgedichtet, der vor Ort entnommen wird (Abb. 108).

Die Konstruktion eines Holzkastens ist in technischer wie auch in finanzieller Hinsicht keine einfache Angelegenheit. Deshalb sollte eine solche Massnahme in erster Linie bei stark verlandeten Torfstichen mit einem grossen Regenerationspotenzial eingesetzt werden (Vorkommen von Torfmoosen, genügende Torfmächtigkeit).

Andererseits ermöglicht diese Konstruktion ein Überfluten ausgedehnter Flächen (Abb. 109). Aus diesem Grund sind die Folgen eines solchen Eingriffes genau abzuschätzen (Gefahr des Überflutens benachbarter Flächen etc.).

Zielsetzungen

- > vor allem Regeneration alter Torfstiche durch dauerndes und schrittweises Überschwemmen
- > Regulierung des Wasserstandes (Stauhöhe und Überflutungsfläche) unter Berücksichtigung saisonaler Schwankungen des Grundwasserspiegels
- > Die bereits vorhandenen Torfmoose sind nicht zu ertränken; deshalb wird die Wasserhöhe so eingestellt, dass die Spitzen des Torfmoost Teppichs aus dem Wasser ragen; diese Umstände erweisen sich als optimal für ihr Wachstum.
- > schrittweises Anheben des Wasserspiegels, angepasst an das Höhenwachstum der Torfmoose
- > Durch Überfluten der Gehölze wird verhindert, dass die Torfstiche bewaldet werden.



Abb. 108 Wasserregulierung durch einen Holzkasten; die quer zur Abflussrichtung liegenden Bretter bestimmen die Stauhöhe hinter dem Bauwerk; mit zusätzlichen Brettern kann die Staukote der Vegetationsentwicklung angepasst werden.

Bevor ein Eingriff vorgenommen wird ...

Welche Punkte sind zu beachten?

Negative Auswirkungen und Vorsichtsmassnahmen

Der Bau eines Holzkastens kann verschiedene negative Auswirkungen auf den Lebensraum haben. Die Bedeutendsten sind:

- > Trittschäden in der Umgebung der Stauanlage und auf Zugangswegen; Schäden durch den Einsatz eines Baggers oder einer Motorschubkarre (unverzichtbar für den Transport von Baumaterial);
- > zur Abdichtung des Regulierkastens werden einige Kubikmeter Lehm benötigt (Lehmentnahme);
- > Eutrophierung der unmittelbaren Umgebung des Regulierkastens durch mineralisierte Torfabfälle.

Kapitel 3.3 enthält Lösungsvorschläge zur Reduzierung solcher Beeinträchtigungen. Ausserdem sind folgende Vorsichtsmassnahmen zu treffen:

- > Der Lehm soll in der unmittelbaren Umgebung der Stauanlage entnommen werden, wo die Vegetation möglichst wenig beeinträchtigt wird; Wiederinstandstellen des Entnahmeortes nach Abschluss der Arbeiten.

Schwierigkeiten bei der Umsetzung und Ratschläge

- > Die grösste Schwierigkeit ist das Abdichten des Bauwerks; Sickerungen unter dem Bauwerk hindurch und seitlich davon sind zu verhindern; der seitlichen Einbindung des Kastens im Torf ist deshalb besondere Beachtung zu schenken; das Fundament des Kastens ist gut in den mineralischen Untergrund einzubauen.
- > Der Einbau eines Regulierkastens ist eine heikle Angelegenheit; besonders an der Schichtgrenze zum Lehmsubstrat und in wassergesättigtem Gelände ist diese Arbeit sehr anstrengend und erfordert den Einsatz eines Kleinbaggers.

Zuverlässigkeit und Sicherheit

Die Gefahren beim Bau eines Regulierkastens dürfen nicht unterschätzt werden (Stabilität des Kastens, Überfluten benachbarter Flächen). Diese Risiken stehen in direktem Zusammenhang mit der lokalen Topografie. Deshalb sollte zuerst eine topografische Beurteilung der betreffenden Fläche durchgeführt werden.

Im Zweifel ist es ratsam, sich an einen Wasserbauingenieur zu wenden. Im Bericht «Wildbach und Hangverbau» (Böll 1997) werden technische Probleme im Zusammenhang mit dem Bau kleiner Staukonstruktionen eingehend behandelt (siehe Bibliografie).

> Achtung

Ausbessern des Bauwerks kann Beeinträchtigungen und hohe Kosten verursachen. Deshalb ist äusserst sorgfältig zu arbeiten, damit das Werk gleich beim ersten Mal gelingt.

Kombinieren von Massnahmen

- > Sofern der Kasten direkt auf dem Mergel errichtet wird und die Torfschicht auf dem wiederherzustellenden Standort nicht sehr mächtig ist, wird der Kasten mit Lehm aufgefüllt. Abhängig von der ursprünglich gewählten Höhe wird dazu eine bedeutende Menge Lehm benötigt; dieser Lehm kann gegebenenfalls im Torfstich selbst entnommen werden, indem eine Grube ausgehoben wird, die nachher als tiefster Punkt belassen wird.
- > Auch an einem breiten (> 1 m) Abfluss kann ein Regulierkasten eingesetzt werden, indem in der Mitte des Abflusses ein herkömmlicher Kasten gebaut (gemäss obiger Anleitung) und beidseits des Kastens ein Holzbohlendamm errichtet wird (siehe Kapitel 3.3.4); der Damm wird anschliessend mit Torf überdeckt, wobei auf beiden Seiten eine sanfte Böschung geformt wird.
- > Ist die Torfschicht zu mächtig, um den Kasten direkt in den Mergel einzusetzen, kann der Holzbohlendamm auch unterhalb des Kastens gebaut werden, um die Dichtigkeit des Bauwerks nach unten zu gewährleisten.

Technische Parameter

- > Beschreibung der Feintopografie, um die Grösse der zu überflutenden Flächen zu schätzen und um die beste Lage des Bauwerks für den Abfluss zu bestimmen
- > Bestandesaufnahme und Kartierung des Torfstiches mit Angaben über Lage und Höhe der Torfstichwände, über Wasserabflüsse, Vorkommen von Torfmoosen (welche den angestrebten Wasserstand bestimmen) und anderen Pflanzen
- > detaillierte Karte des Abflusses erstellen, in der die Masse des Abflussgrabens und die Struktur der Torfwände eingezeichnet werden
- > auf der Höhe des Abflusses Sondierbohrungen durchführen, um die Qualität (siehe Kapitel 3.2, Geländeaufnahme) und Mächtigkeit des Torfes bis zur Lehmschicht zu bestimmen
- > Zufahrtswege für Maschinen und Materialtransport festlegen und Organisation der Baustelle planen (siehe Kapitel 3.3)
- > geeigneten Entnahmeort für den Lehm wählen, der zum Bau erforderlich ist

Zeitpunkt der Durchführung

Ein wesentliches Hindernis bei der Ausführung ist das Wasser. Die im Allgemeinen eher trockene Periode von August bis Oktober ist daher ideal. Arbeiten im Winter bei gefrorenem Boden sind zu vermeiden, da sich Torf und Lehm unter diesen Bedingungen nicht verarbeiten lassen. Wenn die Arbeit trotzdem in einer feuchten Jahreszeit durchgeführt werden muss, ist das Wasser abzupumpen.

Ausrüstung

- > Werkzeuge: Hacken, Schaufeln, Schubkarren, Hammer
- > Geräte: Kleinbagger, Motorsäge, Bohrschraubmaschine, Kreissäge, Generator, eventuell Wasserpumpe, eventuell Motorschubkarre
- > anderes Material: Plastikfolie oder Geotextil zur Lagerung der Pflanzen, Hüftstiefel, Stiefel, Gartenhandschuhe, Bohrer mit Probekammer

Baumaterial

- > 4 Ankerschwellen (z. B. unbehandelte Eisenbahnschwellen, die in einer Schreinerei abgeschliffen werden, damit sie dicht zusammengefügt werden können)
- > 4 Verstärkungslatten aus festem Holz, 1 m lang
- > 8 Gleitschienen aus Holz, Querschnitt ca. 4 × 4 cm (Länge wird durch Höhe des Regulierkastens bestimmt)
- > Bretter, Breite 20 cm (Länge wird durch Abstand zwischen den Schwellen bestimmt), Stärke ca. 3 cm; Anzahl der Bretter ist von der angestrebten Aufstauhöhe abhängig
- > 4 Schalungsplatten (unbehandelte, kreuzverleimte Sperrholzplatten); handelsübliche Standardgrösse: 250 × 125 cm; Stärke 2,5 cm
- > Nägel, Schrauben, wasserfester Holzleim

Personal

In Anbetracht der Schwierigkeiten, die beim Bau auftreten können, wendet man sich am besten an ein kleines Unternehmen (z. B. an einen Landschaftsgärtner), um das beste Preis Leistungs-Verhältnis zu erhalten; für den Bau werden drei Personen benötigt: ein Maschinenführer und zwei Hilfskräfte.

Betreuung

Die Betreuung ist Aufgabe des Projektplaners, damit das Bauwerk nach Bedarf angepasst werden kann. Ideal wäre eine Dauerbetreuung während der beiden Tage, die für die Konstruktion eines Bauwerks erforderlich sind.

Kosten

Die Kosten für ein Bauwerk liegen zwischen Fr. 6000.– und Fr. 7000.–, einschliesslich Material, Personalaufwand und Betreuung.

Die Kosten für die Detailplanung des Bauwerks (Nivellierung, Pläne und Sondierungen) belaufen sich auf etwa Fr. 2000.–.

Ausführung der Massnahme

Allgemeines

Die Masse der Bauwerke müssen für die einzelnen Objekte jeweils angepasst werden. Dabei sind folgende Punkte zu beachten:

- > Die Höhe des Bauwerks über Boden ist abhängig vom Objekt und von der Zielsetzung (gewünschte maximale Überstauhöhe); die 4 senkrechten Schwellen (Bahnschwellen) müssen mindestens 50 cm tief in den Mineral-



Abb. 109 Ausgetrockneter sekundärer Birken-Moorwald in einer ehemaligen Torfstichgrube, kurz vor dem Eingriff...



... und unmittelbar danach; Saicourt (BE), Kantonales Naturschutzgebiet Bellelay

Gesamtansichten

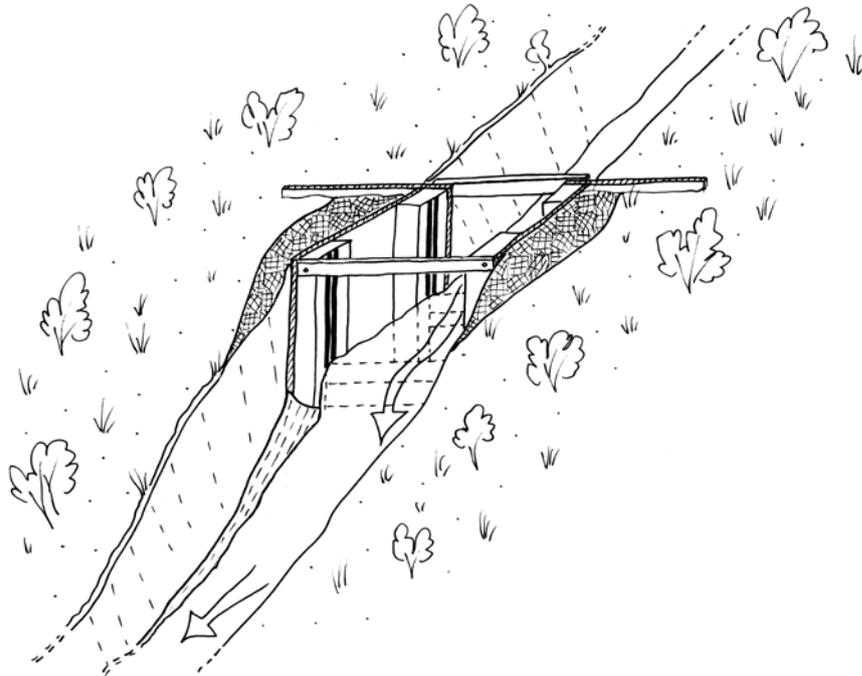


Abb. 110 Blockdiagramm eines Holzkastens

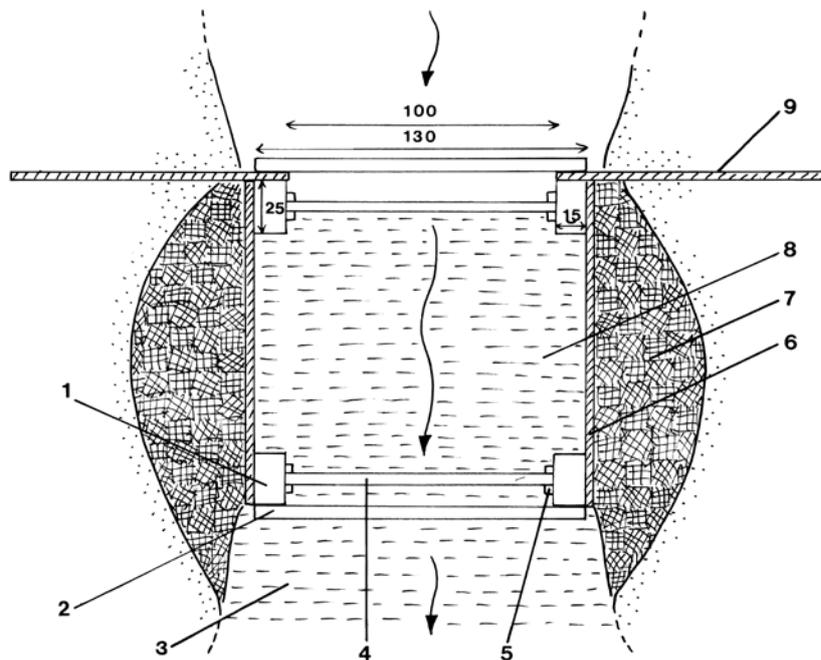


Abb. 111 Holzkasten, Grundriss

1: Schwelle; 2: Verstärkungsplatte; 3: Lehm- oder Mergelböschung; 4: Bretter; 5: Gleitschienen; 6: Seitenplatte; 7: angepresster Torf;
8: festgepresster Lehm oder Mergel; 9: Schalungsplatte zur seitlichen Abdichtung; Masse in cm

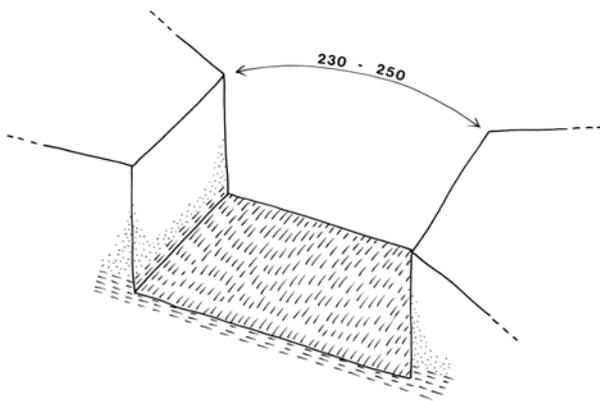


Abb. 112 Ausheben des Torfs an der Stelle, an der der Kasten errichtet wird, Masse in cm

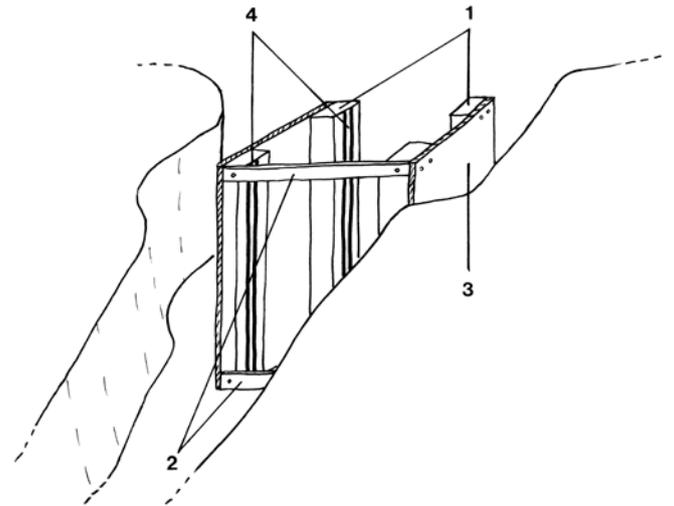


Abb. 113 Bauweise des Holzkastens

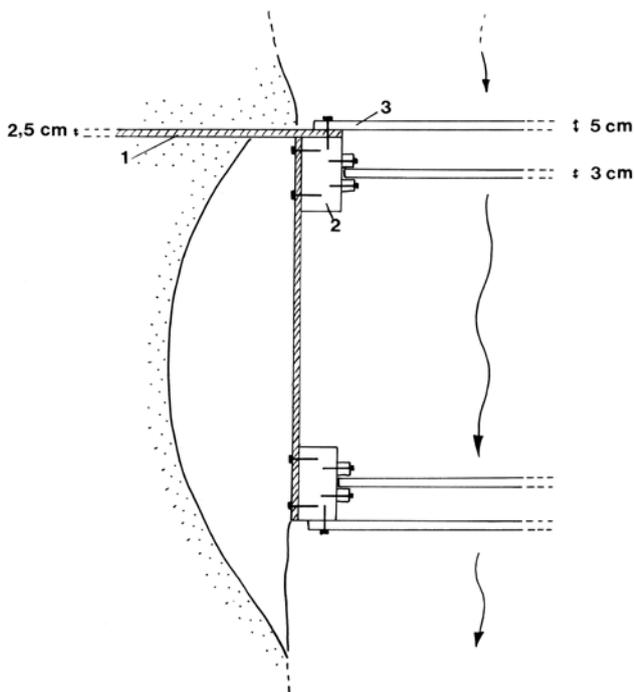


Abb. 114 Detail, Grundriss

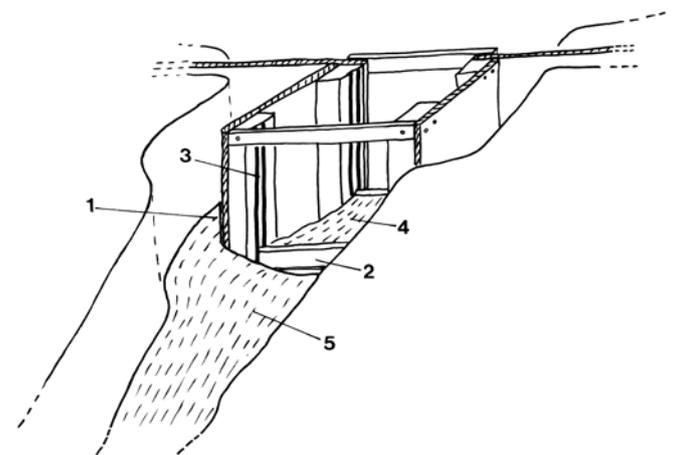


Abb. 115 Verfüllen der Zwischenräume mit Torf oder Lehm; Erklärungen zu den Nummern im Text

boden eingelassen werden, damit der Kasten fest verankert wird.

- > Der ideale Querschnitt des Kastens wäre 1 m auf 1 m; grössere Masse verringern die Stabilität des Werks erheblich.
- > Zur Gewährleistung der Stabilität des Bauwerks hat die Stärke der Bretter mindestens 3 cm zu betragen.

Konstruktion des Holzkastens

Zur Vorbereitung der Baustelle Kapitel 3.3 beachten sowie auch die Übersichten auf Seite 81.

- a) Im Abfluss eine Grube ausheben, welche den Kasten aufnehmen kann; Aushubmaterial auf Plastikfolie lagern; der seitliche Abtrag ist so knapp wie möglich zu bemessen (ca. 230–250 cm), denn nachher muss das Ganze wieder vollständig dicht verschlossen werden; es ist sehr wichtig, die Grube bis in den mineralischen Untergrund auszuheben, um die Schwellen verankern zu können und um Sickerungen unter dem Bauwerk zu vermeiden;

oberhalb des Abflusses eventuell einen provisorischen Torfdamm errichten, um das Wasser zurückzuhalten und im Trockenen arbeiten zu können (Abb. 112).

- b) Konstruktion des Kastens (Abb. 113):
 - b1) Die vier Schwellen (1) in die Löcher im Mineralboden stellen; Schwellen mit dem Bagger in den Boden rammen und danach am Grund mit Lehm abdichten; der Abstand zwischen den Schwellen soll 1 m betragen.
 - b2) den Aufbau stabilisieren, indem oben und unten Verstärkungslatten (2) auf die Schwellen genagelt werden
 - b3) 2 Schalungslatten (3) zuschneiden und diese auf beiden Seiten des Kastens auf die Schwellen schrauben; Platten unten mit festgepresstem Lehm abdichten
 - b4) je zwei Gleitschienen (4) auf jede Schwelle schrauben; Abstände zwischen den Schienen entsprechen der Stärke der einzuschubenden Bretter



Abb. 116 a Allmähliches Verschwinden der Bäume aufgrund der Erhöhung des Wasserspiegels mithilfe eines Regulierkastens; Saicourt (BE), Kantonales Naturschutzgebiet Bellelay

- c) Zur Gewährleistung der Dichtigkeit des Bauwerks können zwei Schalungsplatten (1) wie folgt eingesetzt werden (Abb. 114):
- c1) auf der Höhe der oberen Schwellen (2) mit der Motorsäge zwei Schlitz in den Torf sägen (genauere Angaben, siehe Kapitel 3.3.1);
 - c2) Schwellen mit wasserfestem Holzleim einstreichen; nun die beiden Platten mit Hilfe des Baggers senkrecht in die Einschnitte schieben;
 - c3) Schalungsplatten auf die Schwellen schrauben, um eine maximale Dichtigkeit zu erhalten;
 - c4) 2 Verstärkungslatten (3) auf diese Platten schrauben.
- d) Danach müssen die Zwischenräume zwischen den Seitenplatten und den Torfwänden abgedichtet werden; am besten werden sie mit Hilfe des Baggers mit unzersetztem Torf oder Lehm (1) verfüllt (Abb. 115).
- e) An der oberen und der unteren Seite des Kastens Bretter (2) in die Gleitschienen (3) schieben, bis die gewünschte Höhe erreicht ist; den Kasten innen mit Lehm (4) füllen; diesen mit Hilfe einer kleinen Baggerschaufel verdich-

ten; die endgültige Lehmhöhe sollte die Oberkante der Bretter um mindestens 10 cm übersteigen, damit dem natürlichen Setzen des Lehms Rechnung getragen wird; unterhalb des Holzkastens eine Böschung aus Lehm formen (5), die bis an die Bretter reicht; dadurch wird eine zu starke Erosion vermieden; gegebenenfalls ist der Abfluss mit Kokosfasermatten zu verstärken (siehe Kapitel 2.3.3).

- f) Zur Erhöhung des Wasserstands werden 2 weitere Bretter eingeschoben und der Kasten innen mit Lehm verfüllt.

Nach Abschluss der Bauarbeiten folgt die Wiederinstandsetzung des Geländes gemäss Kapitel 3.3.



Abb. 116 b 1 Jahr nach dem Eingriff

Nach Beendigung des Eingriffs

Erfolgskontrolle der durchgeführten Massnahmen

Zur Beurteilung der Wirksamkeit der Massnahme ist Folgendes (im Prinzip einmal pro Jahr, bei einem Routinerundgang) zu überprüfen:

- > Liegt der Wasserstand konstant auf der Höhe der oberen Überfallkante des Kastens?
- > Sickert Wasser zwischen den Torfwänden und den seitlichen Kastenwänden durch?
- > Ist sichergestellt, dass beim Überlauf beziehungsweise an dessen Wänden keine Erosion stattfindet?

Der Erfolg der Massnahme kann am Wachstum der Torfmoose gemessen werden, welche sich auf der Wasserfläche ansiedeln und auch an den Bäumen, die absterben, falls sie regelmässig überschwemmt werden. Nach und nach werden sie umfallen und so eine Unterlage für die Torfmoose bilden (Abb. 116 a bis c).

Kontrollprogramm

Mit der vorgestellten Massnahme werden verschiedene Ziele verfolgt; ob sie erreicht werden, ist im Rahmen eines langfristigen Kontrollprogramms zu überprüfen, zumal das schrittweise Anheben der Überfallkante aufgrund von Beobachtungen verschiedener Parameter zu planen ist. Die Wichtigsten sind:

- > Wachstum der Torfmoose: Dieses ist optimal, wenn sich der Wasserstand so einpendelt, dass die Köpfe der Torfmoose noch aus dem Wasser ragen; das Wachstum der Torfmoose kann gemessen werden.
- > Wiederansiedeln typischer Hochmoorarten: Dauerbeobachtungsflächen einrichten
- > Wiederbesiedlung durch die Fauna: Mit einer Analyse der Gemeinschaften und der Populationsgrössen kann die Entwicklung und Stabilisierung des Lebensraumes nachgewiesen werden; gleichzeitig kann dadurch die Notwendigkeit des weiteren Anhebens der Überfallkante beurteilt werden.
- > Schwankungen des Grundwasserspiegels: mit Hilfe von Piezometern messen



Abb. 116 c 10 Jahre nach dem Eingriff

3.3.6 Wasserregulierung durch einen Regulierschacht mit Überlauf

Die Kenntnis der Kapitel 3.1 bis 3.3 ist Voraussetzung für das Verständnis dieses Kapitels. Die Technik des Regulierschachtes wird erklärt, ohne auf bauliche Details einzugehen. Dazu wendet man sich am besten an einen Ingenieur oder an ein Tiefbauunternehmen. Solche Stauanlagen sind speziell für den Einbau in Moränen oder in lehmigen Untergrund konzipiert.

Beschreibung der Massnahme

Zahlreiche Hochmoore sind hinter Moränenwällen entstanden. Viele wurden entwässert, indem die natürlichen Abflusshindernisse durchstochen wurden. Durch einen Regulierschacht mit eingebautem Überlauf (Abb. 117) können nach und nach ausgedehnte verlandende Flächen wieder überflutet werden, ohne dass ein vorhandener Torfmoostepich ertränkt wird.

Regulierschächte eignen sich besonders für den Einbau in Moränenwällen, welche durch Drainagearbeiten beschädigt wurden. Holzkästen sind vor allem aus Stabilitätsgründen unter diesen Bedingungen eher ungeeignet (siehe Kapitel 3.3.5).

Die Wasserstandsregulierung wird durch den Einbau eines schwenkbaren Reglers (Überlauf) gewährleistet. Dieser besteht aus einem einfachen Rohr, das in den Regulierschacht mündet. Die eingestellte Höhe des Rohrendes bestimmt die Aufstauhöhe des Wassers.

Die Konstruktion eines Regulierschachtes ist in technischer wie auch in finanzieller Hinsicht keine einfache Angelegenheit. Deshalb sollte diese Massnahme in erster Linie bei stark verlandeten Hochmooren mit grossem Regenerationspotenzial eingesetzt werden (Vorkommen von Torfmoosen, ausreichende Torfmächtigkeit).

Andererseits ermöglicht diese Konstruktion ein Überfluten ausgedehnter Flächen. Aus diesem Grund sollten die Konsequenzen eines solchen Eingriffes vorher genau abgeschätzt werden (Gefahr des Überflutens benachbarter Flächen usw.).



Abb. 117 Wasserregulierung durch einen Regulierschacht mit Regler; entsprechend der Vegetationsentwicklung kann der Wasserstand nach und nach angehoben werden; das Wasser wird in einen tiefer liegenden Bach abgeleitet.

Zielsetzungen

- > Regeneration entwässerter Hochmoore, insbesondere in kleinen, von Moränen abgeriegelten Mulden, durch dauerndes und schrittweises Überschwemmen
- > Regulierung des Wasserstandes (Stauhöhe und Überflutungsfläche) unter Berücksichtigung saisonaler Schwankungen des Grundwasserstandes
- > Damit die bereits vorhandenen Torfmoose nicht ertränkt werden; wird die Wasserhöhe so eingestellt, dass die Köpfchen der Torfmoose noch aus dem Wasser ragen; diese Umstände erweisen sich als optimal für ihr Wachstum.
- > den Wasserspiegel schrittweise anheben und dem Höhenwachstum der Torfmoose anpassen
- > Durch regelmässiges Überfluten werden die Gehölze ertränkt und dem Verbuschen des Moores entgegen-gewirkt.

Bevor ein Eingriff vorgenommen wird ...

Welche Punkte sind zu beachten?

Negative Auswirkungen und Vorsichtsmassnahmen

Der Bau eines Regulierschachtes kann verschiedene negative Auswirkungen auf den Lebensraum haben. Die Bedeutendsten sind:

- > Trittschäden in der Umgebung des Bauwerks und auf Zugangswegen; Schäden durch den Einsatz eines Kleinbaggers oder einer Motorschubkarre (zahlreiche Fahrten sind nötig, um die Betonelemente zur Baustelle zu transportieren);
- > Entnahme von mehreren Kubikmetern Lehm zur Abdichtung des Schachtes;
- > Eutrophierung der Umgebung des Dammes durch mineralisierte Torfabfälle.

Kapitel 3.3 enthält Lösungsvorschläge zur Reduzierung der Beeinträchtigungen.

Schwierigkeiten bei der Umsetzung und Ratschläge

- > Die grösste Schwierigkeit ist das Abdichten des Bauwerks, besonders in der Umgebung des Überlaufes.
- > Die Gefahr von Versickerungen unter dem Bauwerk ist nicht zu unterschätzen; daher ist es wichtig, das Fundament des Regulierschachtes gut in den mineralischen Untergrund einzupassen und keine durchlässigen Schichten unter dem Werk zu belassen.
- > Der Einbau eines Regulierschachtes ist eine heikle Angelegenheit, besonders an der Schichtgrenze zum Mineralboden; zudem ist diese Arbeit im wassergesättigten Gelände sehr anstrengend und erfordert den Einsatz mechanischer Mittel (Kleinbagger usw.).

> Achtung

Ausbessern des Bauwerks verursacht Beeinträchtigungen und hohe Kosten. Deshalb ist äusserst sorgfältig zu arbeiten, damit das Werk gleich beim ersten Mal gelingt.

Zuverlässigkeit und Sicherheit

Die Gefahren in Verbindung mit dem Bau eines Regulierschachtes dürfen nicht unterschätzt werden (Stabilität des Moränenwalls, Überfluten benachbarter Flächen). Diese Risiken stehen in direktem Zusammenhang mit der lokalen Topografie. Aus diesem Grund ist zuerst eine topografische Beurteilung durchzuführen.

Für die Planung eines solchen Bauwerks und zur Beurteilung der Risiken sollte man sich unbedingt an einen Wasserbauingenieur wenden.

Technische Parameter

- > Einerseits dient die Aufnahme der Feintopografie dazu, die Grösse der zu überflutenden Flächen zu schätzen, andererseits kann dadurch die genaue Lage des Bauwerks bestimmt werden.
- > Kartierung der Moränen mit Angaben über Lage, Höhe, Wasserabflüsse, Vorkommen von Torfmoosen (welche den angestrebten Wasserstand bestimmen) und anderer Pflanzen
- > über Sondierbohrungen eine genaue Karte der Moräne erstellen (Länge, Breite, Mächtigkeit, Höhe); Dichtigkeit der Moräne beurteilen und das Volumen des benötigten Dichtungsmaterials schätzen
- > zur Bestimmung von Torfqualität und -mächtigkeit Sondierbohrungen im Moor durchführen.
- > Zufahrtswege für Maschinen und Materialtransport festlegen und Organisation der Baustelle planen (siehe Kapitel 3.3)
- > geeigneten Entnahmeort für das erforderliche Lehm-material im Einvernehmen mit den Zuständigen und im Zusammenhang mit der Pflege des Moores festlegen.

Zeitpunkt der Durchführung

Ein wesentliches Hindernis bei der Ausführung ist das Wasser. Ideal ist die im Allgemeinen eher trockene Periode von August bis Oktober. Im Winter bei gefrorenem Boden zu arbeiten, ist zu vermeiden. Muss die Arbeit aber trotzdem in einer feuchten Jahreszeit durchgeführt werden, ist das Wasser abzupumpen.

Ausrüstung

- > Werkzeuge: Hacken, Schaufeln, Schubkarren
- > Geräte: Kleinbagger, eventuell Wasserpumpe

Gesamtansichten

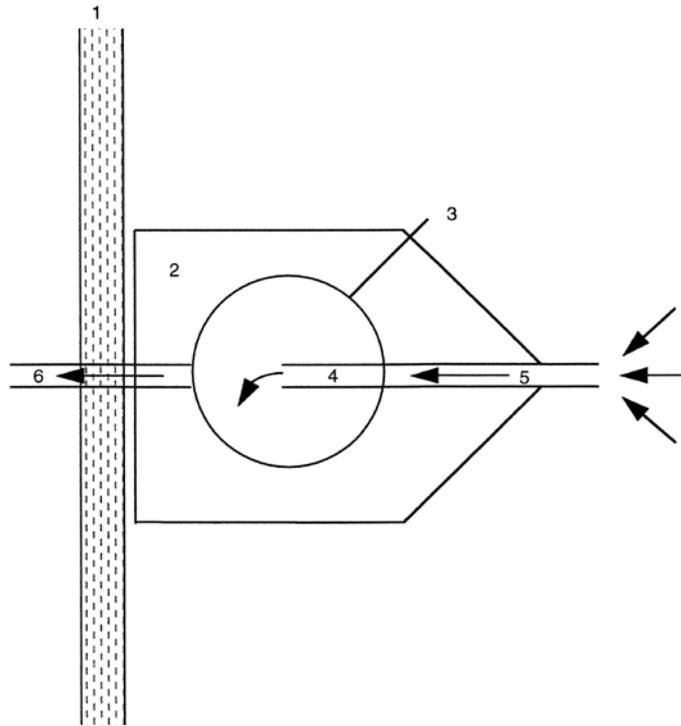


Abb. 118 Beispiel eines Regulierschachtes; Grundriss

1: Lehmriegel; 2: Sohlenfundament aus armiertem Beton; 3: Regulierschacht; 4: Regler (drehbar); 5: Einlaufrohr; 6: Ablaufrohr

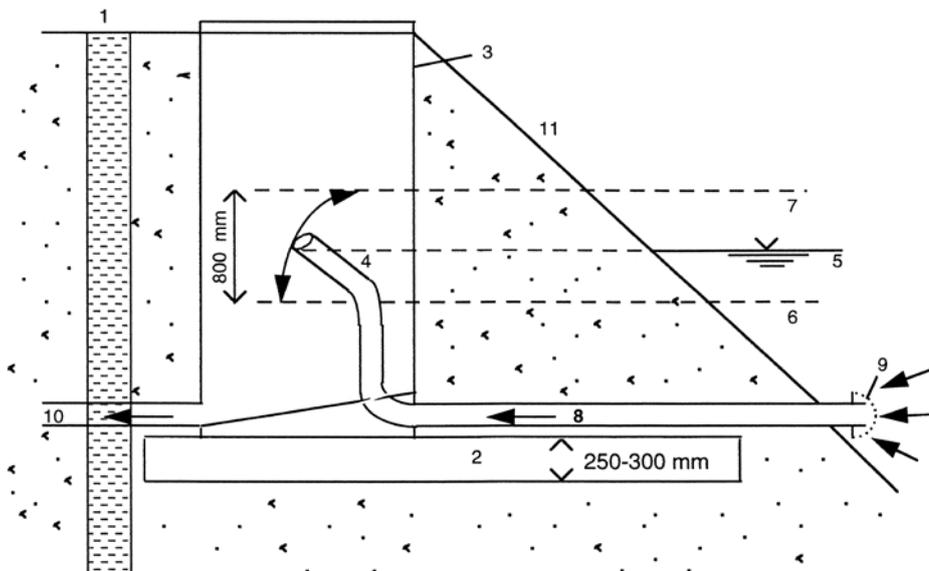


Abb. 119 Beispiel eines Regulierschachtes; Querschnitt

1: Lehmriegel; 2: Sohlenfundament aus armiertem Beton; 3: Regulierschacht (Betonröhre mit Durchmesser von 1400 mm); 4: Regler (drehbar, max. Schwenkbereich 800 mm); 5: aktueller Wasserspiegel; 6: min. einstellbarer Wasserspiegel; 7: max. einstellbarer Wasserspiegel; 8: Einlaufrohr; 9: Drahtkorb; 10: Ablaufrohr; 11: Böschung

Baumaterial

- > Betonschacht mit Deckel, bestehend aus mehreren zusammenfügbaren Elementen (Standardmasse eines Elementes: Durchmesser 1400 mm, Höhe 600 mm)
- > Rohre aus PVC und/oder Beton, gerade und gebogen
- > Bride, Kette und Gegengewicht
- > Armierungen und Beton
- > Drahtkorb

Personal

Für diese Arbeiten wird am besten ein Tiefbauunternehmen beauftragt. Das hat den Vorteil, dass das richtige Material und die praktische Erfahrung vorhanden sind. Der schwenkbare Überlauf kann von einem Schlosser hergestellt werden.

Betreuung

Die Betreuung ist Aufgabe des Planungsbeauftragten des Projektes; dann kann das Bauwerk entsprechend den Gegebenheiten des Objektes angepasst werden. Ideal ist eine Dauerbetreuung während der gesamten Bauzeit.

Kosten

Die Kosten eines solchen Bauwerks können abhängig von der Situation stark schwanken. Bei dem in diesem Kapitel präsentierten Beispiel im Hagenmoos (ZH) beliefen sich die Kosten auf Fr. 10000.–.

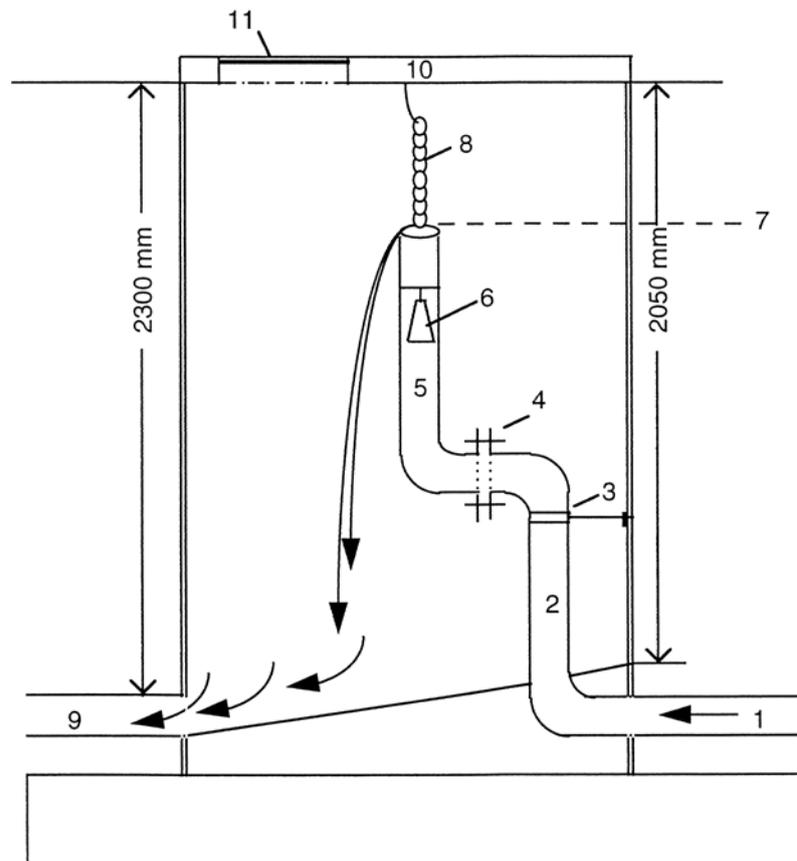


Abb. 120 Detailansicht (Schnitt)

1: Einlaufrohr; 2: Steigrohr; 3: Rohrschelle (zur Befestigung des Steigrohres an der Schachtwand); 4: Schwenkmuffe (Flansch mit Dichtung); 5: schwenkbares Rohr (Regler); 6: Gegengewicht; 7: max. Wasserspiegel; 8: Kette zum Einstellen der Höhe des Reglers; 9: Ablaufrohr; 10: Schachtabdeckung (Durchmesser 1400 mm, Höhe 135 mm); 11: Deckel für Einstieg (abschliessbar; Durchmesser 630 mm)

Ausführung der Massnahme

Allgemeines

Wir verzichten an dieser Stelle auf eine detaillierte Beschreibung der Ausführung der Massnahme, denn das Einhalten eines detaillierten Planes ist aufgrund der sehr unterschiedlichen lokalen Verhältnisse äusserst schwierig. Die Schemen in den Abbildungen 118 bis 120 zeigen den Regulierschacht, der im Hochmoor Hagenmoos im Kanton Zürich eingebaut wurde (WSL, Birmensdorf). Diese Pläne sollten den technischen Verantwortlichen als Orientierungshilfe dienen, damit die Arbeiten den lokalen Gegebenheiten angepasst werden können.

Die Masse werden jedem Objekt individuell angepasst. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Höhe des Schachtes abhängig ist vom Objekt sowie auch von der Zielsetzung (geplantes maximales Anheben des Grundwasserspiegels) und dass das Schachtfundament unbedingt in die undurchlässige Schicht des Moränenwalls eingebaut werden muss.

Nach Beendigung des Eingriffs ...

Erfolgskontrolle der durchgeführten Massnahmen

Zur Beurteilung der Wirksamkeit des Bauwerks sind folgende Punkte einmal pro Jahr bei einem Routinerundgang zu überprüfen:

- > Befindet sich der Wasserstand auf der durch das Überlaufrohr im Schacht eingestellten Höhe; versickert das Wasser in die Moräne und treten Sickerungen in der Umgebung des Schachtes oder der Rohre auf?
- > Ist der Wassereinlauf nicht durch Vegetation verdeckt und sammelt sich am Grund des Schachtes Material an, welches den Wasserabfluss behindern könnte?

Der Erfolg einer solchen Massnahme kann am Wachstum der Torfmoose gemessen werden, welche sich auf der Wasserfläche ansiedeln, und auch an den Bäumen, die absterben, falls sie regelmässig überschwemmt werden. Nach und nach werden sie umfallen und so eine Unterlage für die Torfmoose bilden.



Abb. 121 Schrittweise Überflutung einer ehemaligen Torfstichgrube im Anschluss an die Errichtung eines Dammes, Les Enfers (JU)

Kontrollprogramm

Mit der vorgestellten Massnahme werden verschiedene Ziele verfolgt; ob sie erreicht werden, ist im Rahmen eines langfristigen Kontrollprogramms zu überprüfen, zumal das schrittweise Anheben des Wasserspiegels aufgrund von Beobachtungen verschiedener Parameter zu planen ist. Die Wichtigsten sind:

- > Wachstum der Torfmoose: Dieses ist optimal, wenn sich der Wasserstand so einpendelt, dass die Köpfchen der Torfmoose noch aus dem Wasser ragen; das Längenwachstum der Torfmoose kann gemessen werden;
- > Wiederansiedlung typischer Hochmoorarten: Dauerbeobachtungsflächen einrichten;
- > Wiederbesiedlung durch die Fauna: Mit einer Analyse der Gemeinschaften und der Populationsgrößen kann die Entwicklung und Stabilisierung des Lebensraumes nachgewiesen werden; gleichzeitig kann dadurch die Notwendigkeit für ein weiteres Anheben des Wasserspiegels beurteilt werden;
- > Schwankungen des Grundwasserspiegels: mit Hilfe von Piezometern messen.

> Verzeichnisse

Glossar

Bepflanzung

Durch Einbringen von Pflanzen oder Pflanzenteilen (Aussaart) Lebensräume wiederbeleben, in denen die Vegetation ganz oder teilweise verschwunden ist.

Bult

Siehe Hochmoorbult

Bunkerde

Abgeräumte, 50 bis 60 cm mächtige Schicht des Oberbodens des Hochmoors, die je nach Folgenutzung in die Torfstichgrube geworfen und sich selbst überlassen wird oder nach dem Abtorfen später wieder aufgebracht und als Kulturboden oder Erosionsschutz verwendet wird.

Diversität (Vielfalt)

Ausdruck für die Menge an taxonomischen Einheiten (Arten, Gattungen, Familien) oder Lebensraumtypen bezogen auf eine Raumeinheit.

Dränagegräben

Siehe Haupt- und Seitengräben, Schlitzdränage

Dränagerohr

Dränrohr. In den Torf verlegte, gelochtes Rohr, oft an der Grenze zur mineralischen Unterlage. Diese Rohre leiten das Wasser in einen Sammler ausserhalb des Hochmoors. Dränagerohre bewirken ein Austrocknen des Hochmoors.

elektrische Leitfähigkeit

Elektrischer Widerstand des Wassers, der gemessen wird, um die Konzentration der gelösten Mineralstoffe zu ermitteln. In den meisten natürlichen Gewässern ist das Verhältnis zwischen elektrischer Leitfähigkeit und Konzentration an gelösten Mineralsalzen linear. Abweichungen von der Linearität sind ein Hinweis auf eine Veränderung der Anteile der verschiedenen Mineralsalze und somit auf eine Veränderung der Quellen, aus denen gelöste Stoffe in das Wasser gelangen.

Entwässerung

Sammeln und Abführen von Sicker-, Grund- und Oberflächenwasser; Ableitung von überschüssigem Bodenwasser und/oder oberirdischem Wasser mit Dränen und Vorflutern.

Entwässerungssystem

Gesamtheit der für die Entwässerung erforderlichen Einrichtungen (Sauger, Sammler und Vorfluter).

Erosion der Oberfläche

Abtragen der obersten Schicht eines Bodens (des Torfes bei Hochmooren) durch fließendes Wasser, nachdem die Vegetationsschicht verschwunden ist.

eutroph

Mit Nährstoffen (hauptsächlich Nitrat und Phosphate in von Pflanzen assimilierbarer Form) angereichertes Wasser oder angereicherter Boden, wobei der Eintrag der Nährstoffe entweder auf natürliche Weise durch Mineralisierung aus dem organischen Boden oder durch Düngung erfolgt; im erweiterten Sinne: Pflanzen- oder Tierart, die ein nährstoffreiches Milieu bevorzugt.

Eutrophierung

Natürlicher oder vom Menschen (durch Düngung) verursachter Anstieg des Gehalts an Nährstoffen (hauptsächlich Nitrat und Phosphate in assimilierbarer Form). Die Eutrophierung bewirkt ein Verschwinden oligotropher Arten.

Grundwasser

Der die Hohlräume der oberen Erdkruste füllende, einen geschlossenen Horizont bildende Wasserkörper.

Hauptgräben

Sammler (Kollektoren). In den Torf (manchmal in den mineralischen Untergrund) eingetieft Gräben. Hauptgräben sammeln das Wasser aus den Seitengräben und leiten es aus dem Hochmoor weg.

Hochmoor

Torfmoor. Moor, das ausschliesslich durch Niederschlagswasser versorgt wird und dessen lebende Vegetation vom mineralischen Grundwasser durch einen Torfkörper isoliert ist. Die Pflanzen entnehmen ihre Nährstoffe dem Niederschlagswasser (ombrotroph) und der Luft. Torfmoose sind typisch für diesen Standort.

Hochmoorbult

Von Torfmoosen bedeckter Torfhügel, der oberflächlich zeitweise austrocknen kann.

Hochmoorschlenke

Natürliche Senke im Torfkörper, in der sich dauernd oder zeitweise Wasser ansammelt.

Horst

Wuchsform von Gräsern und Scheingräsern, deren aufrechte Seitentriebe dicht beieinander stehen, so dass im Laufe der Jahre deutlich abgegrenzte kompakte Sprossbüschel entstehen.

Lehm

Undurchlässige und plastische Bodenschicht auf der Basis von Tonmineralen aus Sauerstoff und Silicium, die Tetraeder bilden (SiO₄), welche sich zu einer ebenen Fläche verbinden; enthält auch Metalle (Mg, Al, Fe) sowie Kationen (Ca, Mg, K, Na, H), die sich leicht mit den Kationen der Bodenlösung austauschen. Das Vorhandensein von Ton kann folglich den mehr oder weniger minerotrophen Charakter eines torfigen Standorts beeinflussen.

Mergel

Undurchlässiges, kalkig-toniges Sedimentgestein. Kommt in der Molasse der Voralpen und des Mittellandes oder in den Kalkgebieten des Juras vor.

Mineralisierung

Durch Bakterien und Pilze hervorgerufene Umwandlung der organischen Stoffe von Torf in ihre mineralischen organischen Bestandteile (Stickstoff, Phosphor usw.) und in Gase (v. a. Kohlendioxid und Methan). Dieser Umwandlungsprozess benötigt Sauerstoff und wird somit durch das Austrocknen eines Standorts, etwa durch Entwässerung, stark begünstigt.

minerotroph

Wasser oder Boden mit mehr oder weniger hohem Gehalt an von Pflanzen assimilierbaren Mineralsalzen. Die Mineralsalze werden vom Grundwasser oder von abfließendem Niederschlagswasser auf oder aus dem mineralischen Substrat aufgenommen; im erweiterten Sinne: Pflanzen- oder Tierart, die ein mineralstoffreiches Milieu bevorzugt.

Moor

Feuchtes Milieu mit einer torfbildenden und torfakkumulierenden Vegetation. Hochmoore werden auch als Regenmoore oder Torfmoore bezeichnet.

oligotroph

Wasser oder Boden mit einem tiefen Gehalt an Nährstoffen (hauptsächlich Nitrat und Phosphate in von Pflanzen assimilierbarer Form); im erweiterten Sinne: Pflanzen- oder Tierart, die ein nährstoffarmes Milieu bevorzugt.

pH

Abkürzung für *pondus hydrogenii* («Wasserstoffkraft»). Der pH-Wert ist eine Masseinheit für die Aktivität des Wasserstoff-Ions in einer Lösung und ein Indikator für die saure (pH-Wert unter 7) beziehungsweise basische (pH-Wert über 7) Wirkung einer wässrigen Lösung. Der pH-Wert ist ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung der Wasserqualität, denn er ist bestimmend für die Überlebensfähigkeit von Organismen im Wasser und für die Eignung des Wassers für eine Vielzahl von Verwendungszwecken.

Piezometer

Röhre mit einem porösen Teil am unteren Ende (Filter), die in den Boden gebohrt wird und zur Messung des Grundwasserspiegels dient. Sind mehrere Aquifere mit unterschiedlichen piezometrischen Spiegeln übereinander vorhanden, muss zu deren Vermessung je ein gesonderter Piezometer mit kleinem Durchmesser in den entsprechenden Aquifer gebohrt werden. In der Praxis kommt allerdings häufig ein einziges, auf der ganzen Länge poröses Rohr zum Einsatz; dieses ermöglicht das Vermessen eines «künstlichen» piezometrischen Spiegels, der einen Mittelwert der Spiegel aller möglicherweise vorhandenen Aquifere darstellt.

Plaggen

Flach abgestochene, von Pflanzen bewachsene Stücke der Mooroberfläche, vergleichbar mit Gras- oder Heidesoden.

Regeneration

Natürlicher oder künstlich herbeigeführter Prozess im Anschluss an eine Störung des Standortes (Austrocknung, Zerstörung der Vegetation usw.), der durch die Rückkehr zum ursprünglichen Zustand geprägt ist. Die Regeneration eines Hochmoors ist gekennzeichnet durch das Wiedereinsetzen der Torfbildung (namentlich dank dem Wachstum von

Torfmoosen) und die erneute Entwicklung einer standorttypischen Flora und Fauna.

Revitalisierung/Renaturierung

Wiederinstandsetzung eines beeinträchtigten Standorts, wobei durch zielgerichtete Eingriffe und entsprechend einem vorab definierten Soll-Zustand wieder natürliche Verhältnisse herbeigeführt werden.

Sammler

Drän, der das Wasser von Saugern aufnimmt und in der Regel zum Vorfluter weiterleitet.

Sauger

Drän, der das Wasser aus dem Boden aufnimmt und in einen Sammler einleitet.

Schlenken

Siehe Hochmoorschlenke

Schlitzdränage

Künstliche Moorentwässerung mittels schmaler, tiefer Dränagegräben (Sauger). Um eine dauerhafte Entwässerung zu erzielen, müssen die Bodenschlitze ganz oder teilweise mit Sickerstoffen verfüllt werden. Zur Erleichterung einer Torfausbeutung wird (wurde) der Torfkörper häufig mittels unverfüllter Schlitzdränagen vorentwässert.

Seitengräben

Sauger. In den Torf eingetieft Gräben, die ein Entwässern des Hochmoores bewirken sollen. Vor der Ausbeutung des Torfes wird ein Grabensystem angelegt.

Strangmoor

Geneigtes, durch streifenförmige, höhenparallele Anordnung von langgestreckten Torfsträngen terrassenartig strukturiertes Moor. Eng verknüpft mit den Strängen treten meist scharf begrenzte, wannenartige Schlenken auf. Ein borealer Moortyp, der in der Schweiz äusserst selten vorkommt.

Tensiometer

Poröse, mit Wasser gefüllte und luftdicht abgeschlossenen «Kerze» oder Zelle (in der Regel aus Keramik), die über ein Rohr mit einem Schauglas verbunden ist und in den Boden gebohrt wird. Wenn der Boden um die Keramikzelle herum austrocknet, wird aus der Keramikzelle so viel Wasser «gezogen», bis ein Gleichgewicht zum umgebenden Bodenwasser erreicht ist. Der entstehende Druckunterschied wird mit einem Manometer angezeigt. Anhand von mehreren Tensiometern, die in unterschiedlicher Tiefe angebracht werden, können Druckprofile errechnet werden. Tensiometer bieten Aufschluss über die Wasserspeicherefähigkeit des Bodens (Bodenwasserspannung).

Terrasse

Zum Erosionsschutz parallel zu den Höhenlinien angelegte überschwemmbar Flächen (Terrassen) zur Verkürzung der Hanglänge, auf der die Erosion wirken kann, und zur Verbesserung des gestörten Wasserhaushaltes. Massnahme zur Förderung der Wiederansiedlung typischer Moorvegetation auf geneigten, erosionsgefährdeten Torfflächen.

Torf

Organisches Material, das infolge Luftabschluss aus der unvollständigen Zersetzung abgestorbener pflanzlicher Substanz entstanden ist. Bei Hochmooren entsteht Torf besonders aus Torfmoosen. Torf besteht per Definition zu mindestens 30 bis 40 % aus organischem Material.

Torfmoor

Siehe Hochmoor

Torfmoose, Bleichmoose (*Sphagnum spp.*)

Moosarten (Bryophyten), die typischerweise in Hochmooren vorkommen. Torfmoose wachsen mehrheitlich an oligotrophen, sauren und wassergesättigten bis überfluteten Standorten.

Torfsackung

Verringerung der Torfmächtigkeit infolge Wasserentzug, Belastung oder Zersetzung.

Torfstichgrube

Durch handwerklichen Torfstich entstandene, meist überschwemmte Zone am Fuss einer Torfstichwand. Diese heute noch sichtbaren Torfstichgruben sind meistens am Verlanden.

Torfstichwand

Beim handwerklichen Brenntorfabbau entstandene Abbaufont (Torfstichwand) von unterschiedlicher Höhe.

Torfverdichtung

Abnahme des Porenvolumens und somit der hydraulischen Leitfähigkeit durch beispielsweise mechanische Belastung (Trittbelastung, Maschinen, Schnee).

Torfwall

Längliche, maximal 50 cm hohe Dämme aus zusammengeschobenem Torf. Mit der terrassenförmigen Anordnung dieser Torfwälle werden auf geneigten, vegetationslosen Torfflächen strangmoorartige Strukturen (siehe Strangmoor) nachgebildet mit dem Ziel, der Torferosion entgegenzuwirken und die Wiederbesiedlung mit moortypischen Pflanzen zu fördern.

Torfzersetzung

Torfzehrung, Torfschrumpfung. Durch starke Wasserverluste und landwirtschaftliche Bewirtschaftung hervorgerufene physikalisch-chemische Veränderungen von Torfen, die meist eine Volumenverminderung zur Folge haben und unter Umständen bis zur Entstehung von Rissen und Spalten im entwässerten Torfkörper führen.

Verlandung

Zuwachsen von stehenden oder langsam fliessenden Gewässern vom Ufer her aufgrund der Sedimentation mineralischen oder organischen Materials.

Vorflut

Mit natürlichem Gefälle erfolgende oder durch künstliche Hebung geschaffene Zuführung des Wassers zum Vorfluter.

Vorfluter

Gewässer, die Wasser aus Entwässerungen aufnehmen.

Wiederherstellung

Vorbereitende Phase der Bewirtschaftung, die darauf abzielt, die Struktur, die Funktionen und die Prozesse wiederherzustellen, die zur ökologischen Integrität eines Ökosystems beitragen.

Wiedervernässung

Anhebung des Grundwasserstandes, meist durch Einstau von Drainagegräben.

Bibliografie

- Akkermann, R. 1982: Möglichkeiten und Zielsetzungen für eine Regeneration von Hochmooren – zoologisch betrachtet. Regeneration von Hochmooren, Informationen zu Naturschutz und Landschaftspflege in Nordwestdeutschland, 3: 151–163.
- Böll, A. 1997: Wildbach und Hangverbau. Berichte Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), 343. 123 S.
- Bragg, O.M., Hulme, P.D., Ingram, H.A.P., Johnston, J.P. & Wilson, A.I.A. 1994: A maximum – minimum recorder for shallow water tables, developed for ecohydrological studies on mires. *Journal of applied Ecology*, 31: 589–592.
- Brooks, S., Stoneman, R. 1997: *Conserving bogs. The Management Handbook*. The Stationery Office Limited, Edinburgh. 286 S.
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) 1992/2002. *Handbuch Moorschutz in der Schweiz*, BUWAL, Bern.
- Buttler, A., Grosvernier, Ph., Matthey, Y. 1998: A new sampler for extracting undisturbed surface peat cores for growth pot experiments. *New Phytol.*, 140: 355–360.
- Dupieux, N. 1998: La gestion conservatoire des tourbières de France – Premiers éléments scientifiques et techniques. *Espaces naturels de France*, Programme Life «Tourbières de France».
- Eggelsmann, R. 1993: Beiträge zur Wiedervernässung abgeauter Schwarztorfflächen. Ergebnisse eines Erprobungs- und Entwicklungsvorhabens im Leegmoor, Landkreis Emsland. In: Nick, K. J. Wiedervernässung des Leegmoores: Versuchsfläche und Einrichtungen. *Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen*, 29. 129 S.
- Eigner, J., Schmatzler, E. 1991: *Handbuch des Hochmoorschutzes*. Kilda Verlag, Greven. 158 S.
- Grauel A.-L., 2007: Glazialgeomorphologische Untersuchungen im Gebiet zwischen Etzel und Sihlsee (Kt. Schwyz). Diplomarbeit am geographischen Institut der Universität Zürich.
- Grosvernier, Ph., Lugin, A. Matthey, Y. 1998: Der Vegetationskomplex der Hochmoore. In: *Handbuch Moorschutz in der Schweiz*, Band 1/2.2.8. Hrsg. BUWAL.
- Grosvernier, Ph., Matthey, Y., Mulhauser, G. 2001: Pflegeplan für ein Hochmoor: Beispiel Etang de la Gruère. In: *Handbuch Moorschutz in der Schweiz*, Band 2/2.2.4. Hrsg. BUWAL.
- Grünig A., Steiner G. M., 1998: Ökologie und Hydrologie der Moore. In: *Handbuch Moorschutz in der Schweiz*, Band 1/3.1.1. Hrsg. BUWAL.
- Haab, R., Jutz, X. 2003: Konsequenzen aus ersten Hochmoor-Regenerationsprojekten im Kanton Zürich: Konzeption und Umsetzung eines kantonalen Regenerations-Programms. In: «Moorrenaturierung – Praxis und Erfolgskontrolle», ANL (Hrsg.), Laufen a. d. Salzach, Laufener Seminarbeiträge 1/03.
- Haab R., Jutz X. 2004: Das Hochmoor-Regenerationsprogramm im Kanton Zürich. *Vierteljahresschrift Nat.forsch. Gesellschaft Zürich*; 149, 4; S. 105–115.
- Krüger, G.-M. 1998: Wasserbauliche Massnahmen im Wurzacher Ried. Planung – Bauausführung – Ergebnisse. Zehn Jahre Projekt «Wurzacher Ried» – Internationale Fachtagung zur Erhaltung und Regeneration von Mooregebieten, S. 79–95. Naturschutzzentrum Bad Wurzach.
- Küttel, M. 1994: Die Bedeutung der Moore als Datenquelle für die Umweltgeschichte. In: *Handbuch Moorschutz in der Schweiz*, Band 1/3.2.1. Hrsg. BUWAL.
- Marti K., Krüsi B.O., Heeb J., Theis E. 1997: Pufferzonen-Schlüssel – Leitfaden zur Ermittlung von ökologisch ausreichenden Pufferzonen für Moorbiotope. BUWAL-Reihe Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 52 S.
- Matthey, Y., Lugin, A., Grosvernier, Ph., Grünig, A. 2001: Regeneration von Hochmooren. In: *Handbuch Moorschutz in der Schweiz*, Band 2/2.1.7. Hrsg. BUWAL.
- Matthey, Y., Lugin, A., Grosvernier, Ph. 1999: Anforderungen beim Schutz der Hoch- und Übergangsmoore von nationaler Bedeutung. In: *Handbuch Moorschutz in der Schweiz*, Band 2/1.1.1. Hrsg. BUWAL.
- Meier E.; Staubli P., Müller B.U., Stünzi, J.; Schubert E., Dubois D. 2002: Georadar – der zerstörungsfreie Blick in den Untergrund: Beispiele aus dem Naturschutzgebiet Zigermoos, Unterägeri/ZG und der Deponie Riet, Winterthur/ZH. *Bull. angew. Geol.*, 7/1; S. 31–44.
- Quinty, F., Rochefort, L. 2003: *Guide de restauration des tourbières, deuxième édition*. Association canadienne de mousse de sphaigne et Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick. Québec, Québec.
- Richards, J.R.A., Wheeler, B.D., Willis A.J. 1995: The growth and value of *Eriophorum angustifolium* Honck. in relation to the revegetation of eroding blanket peat. In: *Restoration of temperate wetlands* (eds B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt & R.A. Robertson), pp. 509–522. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.
- Schneebeili, M. 1988: Die Regeneration des Hochmoores Turbenriet-Gamperfin, Gemeiden Grabs SG. *Ber. Bot.-Zool. Ges. Liechtenstein-Sargans-Werdenberg*, S. 101–123.
- Sjörs, H. 1950: On the relation between vegetation and electrolytes in north swedish mire waters. *Oikos*, 2: 241–258.
- Staubli, P., 1997: Hochmoor-Regenerationsprojekt Brämenegg (Oberägeri, ZG). In: *Handbuch Moorschutz in der Schweiz*, Band 2/2.3.1. Hrsg. BUWAL.
- Staubli, P., 2004: Regeneration von Mooren im Kanton Zug. *Vierteljahresschrift Nat.forsch. Gesellschaft Zürich*; 149, 2/3; S. 75–82.

Staubli P., 2007 (1): Regenerationsprojekt Enzenau. Berichte Nat.forsch.Gesellschaft Schwyz.

Staubli P., 2007 (2): Schutz und Förderung von Mooren in der Schweiz – rechtliche Situation und aktive Massnahmen. Praktischer Moorschutz im Naturpark Erzgebirge/Vogtland und Beispiele aus anderen Gebirgsregionen: Methoden, Probleme, Ausblick. Sächsische Landesstiftung, Akademie; S. 58–62.

Steiner G.M., Grünig A. 1999: Moorhydrologie. In: Handbuch Moorschutz in der Schweiz, Band 1/3.1.2. Hrsg. BUWAL.

von Euw, M., Grünig, A., Fischbacher U. 1995: Literaturverzeichnis der Hoch- und Übergangsmoore der Schweiz. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Birmensdorf. 2. Auflage, 85 S.

Wheeler, B.D., Shaw, S.C. 1995. Restoration of damaged peatlands. HMSO, London. 211 S.

Wheeler, B.D., Shaw, S.C., Fojt, W.J., Robertson, R.A. 1995: Restoration of temperate wetlands. John Wiley & Sons, Chichester. 562 S.

World Meteorological Organisation (WMO). 1994: Guide des pratiques hydrologiques – Acquisition et traitement des données, analyses, prévision et autres applications. Edition française (1996), OMN-N° 168, 829 s. Als PDF-Datei erhältlich unter: www.bom.gov.au/hydro/wr/wmo/guide_to_hydrological_practices/WMOFRA.pdf

Yerly, M. 1970: Ecologie comparée des prairies marécageuses dans les Préalpes de la Suisse occidentale. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, 44. 119 S.

Zugang zu Literaturdatenbanken über die Webseiten der WSL Birmensdorf und des Pôle-relais Tourbières in Frankreich: www.wsl.ch/land/inventory/mireprot/besmos/literatur/literatur-de.ehtml www.pole-tourbieres.org

Abbildungen

Andreas Grünig / FAT Reckenholz

Abb. 117

Cléa Liniger / Dombresson, und Geneviève Méry / L'Aubépine, Le Noirmont

Abb. 17, 18, 27, 28, 32, 33, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 62, 63, 64, 65, 70, 72, 73, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 97, 110, 111, 112, 113, 114, 115

Ecoconseil / La Chaux-de-Fonds

Abb. 14, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 58, 59, 66, 67, 69, 71, 74, 75, 106

Klaus Ecker / FNP, Birmensdorf

Abb. 2

Margrit von Euw / FNP, Birmensdorf

Abb. 118, 119, 120

Peter Staubli / Beck & Staubli, Zug

Abb. 3, 6, 15, 16, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105

Terra Vermessungen AG, Zürich / Amt für Raumplanung des Kantons Zug

Abb. 4, 5

Philippe Grosvernier / LIN'eco, Reconvilier

Abb. 7, 8, 9, 10, 11, 13, 29, 30, 31, 34, 42, 43, 44, 56, 57, 60, 61, 68, 107, 108, 109, 116, 121

swisstopo

Abb. 1, 2

Xaver Jutz / Pluspunkt, Zürich

Abb. 12