

Organische Böden, Klima und der Kohlenstoffmarkt

Sonja Paul¹, Andreas Schellenberger²

¹ Umweltgeowissenschaften, Universität Basel, Bernoullistrasse 30, CH-4056 Basel

² Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Klima, CH-3003 Bern

Zusammenfassung

Organische Böden (v.a. Moore) speichern grosse Mengen an Kohlenstoff. Die Resultate mehrerer Verbundprojekte zeigten zuletzt, dass die Wiedervernässung degradiertes (entwässerter) Flächen eine Minderung der Netto-Treibhausgasemissionen zur Folge hat. In einer Langzeitperspektive kann Moorschutz generell als Klimaschutz betrachtet werden. Moorrenaturierungsprojekte bergen vielversprechende Synergien wie auch Zielkonflikte in sich. Eine Herausforderung bleibt die aufwendige Quantifizierung der Treibhausgasbilanz, Indikator-basierte Ansätze ermöglichen jedoch zuverlässige Abschätzungen. Wird die Ökosystemdienstleistung „Kohlenstoffspeicherung“ monetarisiert, können für vermiedene Emissionen Zertifikate ausgestellt werden. Genügen diese den Qualitätsanforderungen definierter Standards, können sie auf dem (freiwilligen) Kohlenstoffmarkt gehandelt werden und so eine Finanzierungsquelle öffnen. In der Schweiz fand bisher keine vertiefte Auseinandersetzung mit dieser Thematik statt.

Abstract

Organic soils, particularly peatlands store large quantities of carbon. Recently, in several joint research projects peatland restoration has been proven to reduce net greenhouse gas emissions. In a long-term perspective, both conservation and rewetting of organic soils can be regarded as effective climate mitigation measures. Rewetting projects hold a range of other benefits to society as well as trade-offs. The complex quantification of the greenhouse gas balance remains challenging, but approaches using adequate proxies allow for reliable estimates. Developing ecosystem service markets for rewetting projects enables the issuance of emission reduction certificates. If the quality requirements of defined standards are met, they can be traded on the (voluntary) carbon market, thereby setting up an additional funding source. In Switzerland, there has been no comprehensive examination of the topic “organic soils, rewetting and climate mitigation” up to now.

Keywords: organic soils, peatlands, wetland drainage and rewetting, voluntary carbon market, climate mitigation

1. Einleitung

Moore sind raumeffektive Kohlenstoffspeicher. Sie enthalten auf 3% der Landoberfläche über 30% des weltweiten Bodenkohlenstoffs (geschätzte 550 Gt C), eine Menge, die dem Zweifachen der Baumbiomasse in allen Wäldern der Erde entspricht (PARISH et al. 2008). Auf lange Sicht ist der Klimaeffekt torfakkumulierender Moore klar „positiv“. Den im Holozän aufgewachsenen Mooren wird eine kühlende Wirkung auf das globale Klima zugeschrieben (FROLKING und ROULET 2007). Die Kultivierung von Mooren ist in der Regel an eine Entwässerung gebunden. Im nicht mehr wassergesättigten Torfkörper setzt ein oxidativer Abbau der organischen Substanz ein, und die Treibhausgasbilanz (THG-Bilanz) ändert sich rasch. Torfbrände in degradierten Mooren erhöhen die Emissionen zusätzlich. Schätzungen gehen von jährlichen Mengen von 2 bis über 3 Gt CO₂ aus (JOOSTEN 2011, 2011a; PARISH et al. 2008). Die niedrigere Zahl entspricht in etwa dem 40-fachen der Jahresgesamtemission der Schweiz oder 5% der globalen anthropogenen Emissionen im Jahr 2013. Die Hotspots dieser Emissionen

liegen in Indonesien, der EU, Russland, China und den USA auf lediglich 0.3-0.5% der weltweiten Landoberfläche.

Unter der Klimarahmenkonvention UNFCCC wird der Landnutzungssektor LULUCF (*Land Use, Land Use Change and Forestry*) im Treibhausgasinventar rapportiert, aber nicht ins Total der Emissionen eingerechnet. In der Schweiz betragen die Emissionen aus organischen Böden ca. 0.75 Mt CO₂ a⁻¹, davon ca. 0.39 Mt CO₂ a⁻¹ aus landwirtschaftlichen Böden (FOEN 2015). Der Gesamtwert entspricht 18% der jährlichen Reduktionsverpflichtung von 4.2 Mt CO₂ eq aus der 1. Verpflichtungsperiode (2008-2012) welche ein Reduktionsziel von 8% gegenüber 1990 verfolgte. Das Kyoto-Protokoll, mit dem die Annex-I-Länder erstmals verbindliche Emissionsminderungen eingingen, bietet mit den sogenannten Kyoto-Aktivitäten in Artikel 3.4 die Option, Landmanagement gezielt zur Erreichung des Reduktionsziels anzurechnen. In der 2. Verpflichtungsperiode (2013-2020) ist zu den bisherigen Aktivitäten *Forest Management, Cropland Management, Grazing Land Management* und *Revegetation* neu *Wetland Drainage and Rewetting* hinzugekommen (WDR; vgl. PAUL

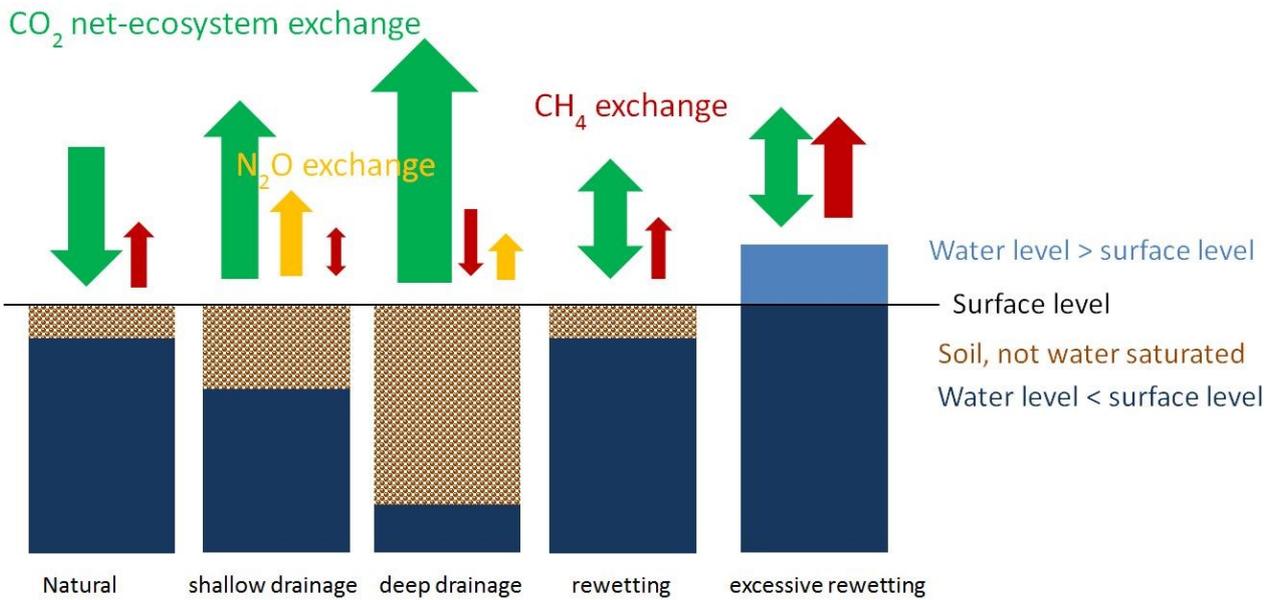


Abb. 1: Schematisches Verhalten der THG-Flüsse in organischen Böden in Abhängigkeit vom Wasserstand (Pfeilgröße nicht massstabsgerecht). Nach einer Wiedervernässung befindet sich das System in einem Übergangszustand, bei dem die CO₂-Bilanz positiv wie negativ sein kann (die Netto-CO₂-Emissionen jedoch verringert sind). Nach DRÖSLER et al. (2008).



Abb. 2: Die Mineralisierung des Torfkörpers und mechanische Kompaktion verursachen Geländesackungen. Sichtbar wird dies beispielsweise an freigelegten Entwässerungsschächten (hier bei Cressier NE). Seit der 1. Juragewässerkorrektur (1868-1891) ist die Geländeoberfläche im Seeland vielerorts um über einen Meter abgesunken.

und ALEWELL 2013). Mit Ausnahme der nun obligatorisch zu berichtenden Waldbewirtschaftung bleibt die Auswahl der restlichen Aktivitäten für die Vertragsparteien freiwillig. Die Klimawirksamkeit organischer Böden kann in diesem Regime nicht nur unter WDR erfasst werden, sondern unter allen (gewählten) Aktivitäten, sofern entsprechende Bodentypen betroffen sind.

In den meisten Bereichen des Kohlenstoff-Verpflichtungsmarktes, beispielsweise im Europäischen Emissionshandelssystem, sind Zertifikate aus dem Landnutzungssektor nicht zugelassen bzw. nicht gängig. Der Handel mit Emissionsminderungszertifikaten, die auf einem geänderten Landmanagement beruhen (wie z.B. einem Moorwiedervernässungsprojekt), ist in der Praxis weitgehend auf den freiwilligen Kohlenstoffmarkt angewiesen. Dort können Privatpersonen, Organisationen und Firmen mit dem Erwerb solcher Zertifikate auf freiwilliger Basis THG-Emissionen kompensieren.

Die Richtlinien des IPCC, welche für die internationale Klimaberichterstattung verbindlich sind, verwenden für Böden mit einem Torfhorizont und andere humusreiche Böden den Terminus *organic soils*. IPCC (2006) definiert für diese Böden – bei bestimmter Textur und Wasserbeeinflussung – die erforderliche Horizontmächtigkeit und den Mindestgehalt an organischem Kohlenstoff. Eine genaue Übertragung in die Schweizer Bodenklassifikation lässt sich nicht herstellen. Folgende Bodentypen stellen die beste Annäherung an die IPCC-Definition dar (ohne terrestrische Humusformen): alle Moore, die meisten Halbmoore (je nach Dicke und Lage der mineralischen Sedimentschichten) und ein Teil der antorfigen und anmmorigen Fahlgleye.

Dieser Artikel beschäftigt sich mit der Klimarelevanz organischer Böden und der Möglichkeit, mit Wiedervernässungsprojekten auf drainierten Flächen Klimaschutz zu betreiben. Als eine mögliche Finanzierungsquelle wird der freiwillige Kohlenstoffmarkt ins Spiel gebracht. Wo möglich und angebracht, wird Bezug auf die Schweizer Verhältnisse genommen.

2. Klimarelevanz organischer Böden

Treibhauspotential

Für die Klimawirksamkeit eines organischen Bodens ist die Bilanz der CO₂-, CH₄- und N₂O-Flüsse entscheidend. Entsprechend ihrem Treibhauspotential (*Global Warming Potential* GWP) werden die Flüsse der einzelnen Gase in CO₂-Äquivalenten (CO₂ eq) ausgedrückt. Das GWP ist abhängig vom Betrachtungszeitraum. Für die internationale Klimaberichterstattung wird in der 2. Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls mit den Werten des vierten IPCC-Assessment Report

für einen Zeithorizont von 100 Jahren gerechnet (Decision 4/CMP.7 der Vertragsparteienkonferenz in Durban 2011). Demnach ist das GWP für CH₄ 25-mal und für N₂O 298-mal höher als für CO₂.

Natürliche Moore

Natürliche Moore sind durch einen hohen Wasserstand gekennzeichnet. Unter diesen, von Sauerstoffmangel gekennzeichneten Bedingungen ist die Zersetzung der abgestorbenen Pflanzenbiomasse gehemmt. Das organische Material akkumuliert, und die Flächen fungieren als CO₂-Senken (Abb. 1). Moortyp, Trophiestufe und Temperatur haben einen starken Einfluss auf die Torfakkumulation. Die Kohlenstoffdichte ist hoch, eine 10 cm dicke Torfschicht enthält pro Flächeneinheit etwa gleich viel Kohlenstoff wie die Baumbiomasse eines hundertjährigen Waldes.

Intakte Moore stellen andererseits eine wichtige Quelle für atmosphärisches CH₄ dar (Feuchtgebiete emittieren gegenwärtig je nach Modellierungsansatz 175-217 Tg CH₄ a⁻¹, das sind 60-80% der natürlichen und rund 30% aller CH₄-Emissionen weltweit; KIRSCHKE et al. 2013). Im anaeroben Milieu wird organisches Substrat von methanogenen Bakterien abgebaut. Der Transport des CH₄ an die Oberfläche erfolgt über molekulare Diffusion, den Aufstieg als Gasblasen (Ebullition) oder durch Gefässpflanzen mit einem luftleitenden Gewebe (Aerenchym) (LAI 2009). Ein Teil wird in der oberflächennahen, oxischen Schicht zu CO₂ rückoxidiert. Die Höhe des Wasserstandes ist ein wichtiger Steuerparameter dafür, wieviel CH₄ aus organischen Böden entgast (Abb. 1).

Der Klimaeffekt nasser, torfakkumulierender Moore resultiert aus dem Verhältnis des der Atmosphäre entzogenen und im Torf als Kohlenstoff eingebundenen CO₂ einerseits und der im anaeroben Milieu induzierten CH₄-Bildung andererseits. WHITING und CHANTON (2001) beschreiben, dass der Nettoeffekt aufgrund der kürzeren atmosphärischen Verweildauer von CH₄ verglichen mit CO₂ von der betrachteten Zeitdauer abhängt (das GWP des CH₄ wird gegenüber CO₂ mit der Zeit kleiner). Über den in der Klimaberichterstattung üblichen Bezugszeitraum von 100 Jahren gewinnt der Effekt der Kohlenstoffspeicherung zunehmend die Überhand. Auf noch längere Sicht übertrifft die Klimawirksamkeit der Kohlenstoffsenke diejenige der Methanquelle deutlich (FROLKING und ROULET 2007; PETRESCU et al. 2015).

Drainierte Moore

Die traditionelle Bewirtschaftung von Mooren setzt eine Drainage voraus. Die Absenkung des Grundwasserspiegels verändert die biogeochemischen Prozesse im Torfkörper grundlegend. Die Belüftung der oberen Torfschichten verstärkt die aeroben Abbauprozesse, welche zu hohen CO₂-Emissionen führen (Abb. 1). Abbildung 2 veranschaulicht den resultierenden Torfschwund und

die anschliessenden Geländesackungen. Enge C/N-Verhältnisse, wie sie in meso- und eutrophen Flachmoortorfen vorliegen, begünstigen die Mineralisierung des Torfes. Mit zunehmender Entwässerungstiefe und Nutzungsintensität steigen die CO₂-Emissionen an (HÖPER 2007; DRÖSLER et al. 2013; TIEMEYER et al. 2013). Gleichzeitig sinken die CH₄-Emissionen, da der Abbau in der nun mächtigeren oxischen Schicht verstärkt ist. Ab einem mittleren Wasserstand tiefer als 20 cm unter Flur treten – standortunabhängig – in der Regel keine CH₄-Emissionen mehr auf (COUWENBERG und FRITZ 2012; TIEMEYER et al. 2013; Abb. 1). Stattdessen werden leichte CH₄-Aufnahmen gemessen.

In drainierten Mooren wird im Zuge der Torfzersetzung N₂O emittiert. N₂O entsteht als mikrobielles Zwischenprodukt vor allem durch unvollständige Denitrifikation und Nitrifikation. Die Höhe der Emissionen hängt vom Nutzungstyp, Nährstoffgehalt (Düngungsintensität), pH-Wert, Tiefe der Drainage und der Wasserschwankungsbreite ab. Die höchsten N₂O-Emissionen wurden bei stark schwankenden Wasserständen bei einem mittleren Jahreswasserstand von 50 cm unter Flur in

nährstoffreichen Flachmooren gemessen (DRÖSLER et al. 2013).

In drainierten Mooren der temperaten Zone dominiert die CO₂-Freisetzung aus der aeroben Zersetzung die THG-Bilanz (Abb. 3). Mit 34.9 t CO₂ eq ha⁻¹ a⁻¹ verursacht die Ackernutzung die höchsten THG-Emissionen, gefolgt von tiefentwässerten nährstoffreichen Grünländern, nährstoffarmen Grünländern, flachentwässertem nährstoffreichen Grünländern und Wald (IPCC 2014).

Wiedervernässte Moore

Die Wiedervernäsung führt zu einem raschen Abklingen der CO₂-Emissionen. Mit aufwachsendem Torfkörper wird die CO₂-Senkenfunktion wiederhergestellt (WADDINGTON et al. 2010). Die Grösse und Richtung der CO₂-Bilanz hängt im Wesentlichen von der Netto-Primärproduktion ab (Abb. 1). Nach dem Wiederanstieg des Wasserspiegels dauert es einige Jahre bis Jahrzehnte, bis sich die Vegetation auf den veränderten Wasserspiegel eingestellt hat. Die N₂O-Emissionen sinken dagegen schnell mit dem Anheben des Wasserspiegels. Moorböden, die einen Wasserstand von über 20 cm unter Flur aufweisen, emit-

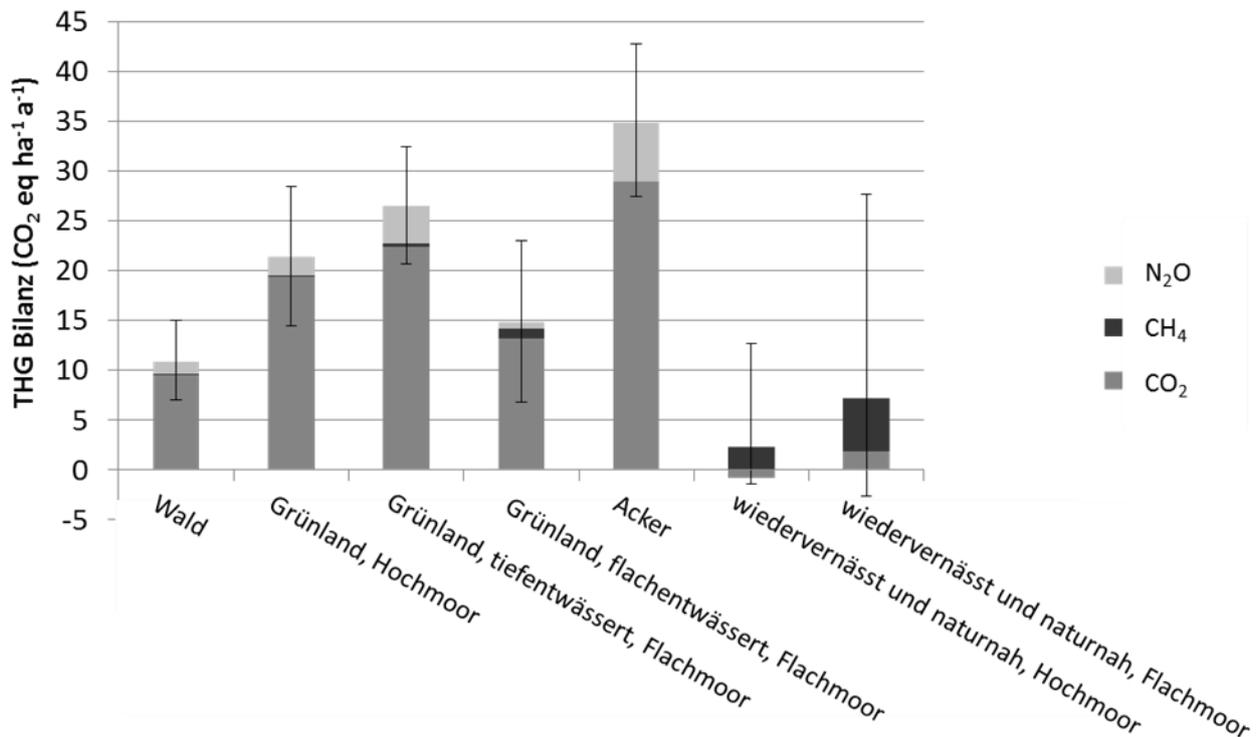


Abb. 3: THG-Bilanz von organischen Böden unterschiedlicher Nutzung in der temperaten Zone. Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle in t CO₂ eq ha⁻¹ a⁻¹ als Summe von CO₂, CH₄ und N₂O: Wald 10.9 (7.1-15.0); Grünland, Hochmoor 21.4 (14.4-28.5); Grünland, Flachmoor tiefentwässert (>30 cm) 26.6 (20.6-32.5); Grünland, Flachmoor flachentwässert 14.9 (6.8-23.0); Acker 34.9 (27.5-42.7); wiedervernässt und naturnah, Hochmoor 1.5 (-2.3-11.8); wiedervernässt und naturnah, Flachmoor 7.2 (-2.6-27.7). Zusammenstellung aller Emissionsfaktoren aus dem IPCC Supplement *Wetlands* (IPCC 2014). Notabene: Die Daten für wiedervernässte und naturnahe Moore wurden vom IPCC zusammengefasst (womit implizit eine Aussage über die Klimawirksamkeit von Moorprojekten getroffen wird). Neben der Gasphase ist für eine vollständige Kohlenstoffbilanz auch der Austrag über die wässrige Phase in Form von gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC) zu beachten (nicht dargestellt).

tierten kein N₂O (COUWENBERG et al. 2011). Mit dem Grundwasseranstieg können erhöhte CH₄-Emissionen auftreten. Vielfach dominieren sie die THG-Bilanz auf der Projektfläche (Abb. 1 und 3). Die Identifizierung ihrer raumzeitlichen Dynamik – unter welchen Bedingungen es anfänglich erhöhte CH₄-Emissionen gibt und wie lange diese nach der Wiedervernässung anhalten – ist schwierig, da Langzeitmessungen fehlen. Zudem erschweren klimatisch bedingte interannuelle Schwankungen des Wasserstandes und der Temperatur die Interpretation und Übertragbarkeit von ein- oder zweijährigen Messkampagnen. Situationen, in denen Flachmoore im Sommer großflächig und langandauernd überstaut werden, so dass die nicht angepasste Vegetation abstirbt und vergärt, gilt es jedenfalls zu vermeiden. Inwieweit überstaute Teilflächen – z.B. im Mikrorelief eines Hochmoors mit Torfstichen – die Gesamtbilanz bestimmen, hängt von ihrem Flächenanteil im Projektgebiet ab (DRÖSLER et al. 2012a). Erhöhte CH₄-Emissionen können dauerhaft auftreten, wenn sich in überstauten Systemen aerenchymhaltige Pflanzen wie Seggen und Rohrkolben etablieren. Leicht abbaubare Wurzelexsudate dieser produktiven Pflanzen sind ein geeignetes Substrat für die Bildung von CH₄, welches dann über das Aerenchym direkt emittiert wird.

Das Emissionsmuster von wiedervernässten Mooren ist mit demjenigen von naturnahen Mooren vergleichbar, vorausgesetzt die Randbedingungen wie Nährstoffstatus und Wasserstand stimmen überein (IPCC 2014; Abb. 3). Insgesamt betrachtet sind die THG-Emissionen naturnaher und wiedervernässter Standorte deutlich geringer als auf drainierten Flächen. Die entsprechenden Mittelwerte in der temperaten Zone belaufen sich auf 1.5 t CO₂ eq ha⁻¹ a⁻¹ für Hochmoore und 7.2 t CO₂ eq ha⁻¹ a⁻¹ für Flachmoore (IPCC 2014).

Moorschutz ist Klimaschutz

Die Resultate der umfassenden Verbundprojekte und Meta-Studien der letzten Jahre lassen sich qualitativ wie folgt zusammenfassen (TIEMEYER et al. 2013; DRÖSLER et al. 2013; IPCC 2014; PETRESCU et al. 2015; vgl. Abb. 3). Die landwirtschaftliche Nutzung entwässerter organischer Böden (**Ackerland**) stellt generell eine grosse Quelle für CO₂ und N₂O dar. Dies gilt für ein breites Spektrum an Bodentypen und Kulturarten. Überraschend war der Befund, dass Sandmisch- und Sanddeckkulturen sowie Anmoore vergleichbar hohe THG-Mengen emittieren wie tiefgründige Moorböden (LEIBER-SAUHEITL et al. 2014). **Grünländer** zeigen die höchste Streuung in den gemessenen THG-Füssen. Dies ist auf die weite Spannbreite der mittleren Entwässerungstiefen und Bodentypen sowie auf heterogene Bewirtschaftungsweisen zurückzuführen. Bei gleichem Grundwasserflurabstand emittieren Grünländer nicht zwangsläufig weniger Treibhausgase als Äcker (jedoch sind sie häufig weniger tief entwäs-

sert). Interessant scheint der Befund, dass auf Grünländern auch unter nassen Bedingungen sehr hohe Erträge erzielt werden können. Wenige Daten existieren zur THG-Bilanz von **Wäldern** auf organischen Böden, zu deren Bestimmung aufwendige Messanordnungen nötig sind. Naturnahe und nasse Wälder gelten als weitgehend klimaneutral. Jedoch kann eine ausgeglichene Kohlenstoffbilanz über das Ökosystem hinweg mit einem Torfabbau verbunden sein (der durch den Zuwachs der oberirdischen Baumbiomasse zeitweise sogar überkompensiert werden kann; HOMMELTENBERG et al. 2014). Drainierte Wälder emittieren dagegen CO₂ in der Grössenordnung von drainierten Grünländern. Eine **Wiedervernässung** auf naturnahe Grundwasserstände bewirkt eine schnelle und effiziente Verminderung der CO₂-Emissionen. Gelingt die Sukzession in Richtung standorttypischer Vegetationstypen, kann mit der Zeit wieder eine Kohlenstoffakkumulation erreicht werden (Senkenfunktion). Bei Überstau treten sehr variable CH₄-Flüsse auf. Der Kohlenstoffverlust im Gesamtsystem erreicht dabei nur in extremen Einzelfällen die Grössenordnung von intensiv genutzten Grünland- und Ackerflächen. Eine Wiedervernässung derartiger Flächen ist dem aktuellen Kenntnisstand zufolge demnach in aller Regel mit einer THG-Emissionsminderung verbunden (die umso höher ausfällt, je geringer die Methanbildung bleibt).

Zusammenfassend kann die Wiedervernässung organischer Böden als eine effiziente Maßnahme zum dauerhaften Klimaschutz aufgefasst werden. Eine notwendige Voraussetzung ist allerdings, dass die Permanenz der Massnahmen gesichert ist.

3. Quantifizierung der THG-Bilanz

Eine nötige Voraussetzung für fundierte Aussagen über die Klimarelevanz von organischen Böden und allfällige Managementmassnahmen ist die Quantifizierung der THG-Bilanz. Aufgrund von saisonalen und interannuellen Schwankungen sowie der (klein)räumlichen Heterogenität der Gasflüsse ist das direkte Messen von THG-Flüssen sehr zeitintensiv und teuer (JOOSTEN und COUWENBERG 2009). Vor allem auf Projektebene ist das ein kaum zu bewältigender Aufwand. Eine Lösungsmöglichkeit stellen Indikatoren dar, anhand derer die Emissionen der Basislinie (Emissionen, die sich ohne Massnahme ergeben hätten) und die Emissionen während der Projektlaufzeit für die spezifische Fläche quantifiziert werden können.

Eine Mastervariable, welche die THG-Emissionen bestimmt, ist der **Wasserstand** (COUWENBERG et al. 2011; DRÖSSLER et al. 2013; TIEMEYER et al. 2013). Eine direkte Messung der Grundwasserflurabstände erfordert ein räumlich wie auch

zeitlich hochaufgelöstes Messnetz und kann durch Feldbeobachtung sowie automatische Wasserstandslogger erreicht werden. Die flächenhafte Interpolation der Wasserstände geschieht durch hydrologische Modelle, die weitere Inputdaten benötigen. Beispielsweise benutzt die unter dem *Verified Carbon Standard* entwickelte Methode *Rewetting of Drained Tropical Peatlands in Southeast Asia* das hydrologische Modell SIM-GRO, um Wasserstände und die daraus resultierenden THG-Emissionen (CO_2 und CH_4) in Feuchtgebieten zu modellieren (WWF 2014). Die Ableitung der Wasserstände aus Fernerkundungsdaten befindet sich in der Methodenentwicklung.

Ein weiterer Indikator zur Abschätzung von Gasflüssen ist die **Subsidenz**, d.h. der Höhenverlust des Torfkörpers auf drainierten Flächen (vgl. Abb. 2). Dieser Proxy ist besonders in den Tropen geeignet, wo der jährliche Torfverlust mehrere Zentimeter betragen kann (COUWENBERG et al. 2010). Subsidenz ist die Folge der Oxidation des organischen Materials sowie einer mechanischen Kompaktion. Unter Annahme eines bestimmten Oxidationsanteils an der Subsidenz können CO_2 -Emissionsraten abgeschätzt werden. Spezifische Aussagen für CH_4 und N_2O sind nicht möglich. Dieser Ansatz wird in der *Methodology for Con-*

servation Projects that Avoid Planned Land Use Conversion in Peat Swamp Forests v1.0 verfolgt, die unter dem *Verified Carbon Standard* entwickelt wurde. Ergänzend zur Subsidenz kommen Wasserstandsmodelle zum Einsatz, um die THG-Emissionen abzuschätzen.

Beim GEST-Modell (*Greenhouse gas Emission Site Type*) wird die **Vegetation** als Indikator für Wasserstände und weitere Standortfaktoren wie Nährstoffversorgung, pH und Landnutzungsintensität herangezogen (COUWENBERG et al. 2011). Das Vorhandensein oder die Abwesenheit von spezifischen Artengruppen ist entscheidend für die Zuordnung einer Fläche zu Vegetationsformen, welchen anhand von Literaturwerten aus Westeuropa THG-Emissionen zugeordnet wurden. Ein Nachteil der Methode ist, dass sie für verschiedene klimatische und phytogeographische Regionen kalibriert werden muss. Zudem benötigt die Vegetation mehrere Jahre, bis sie sich an langfristige Änderungen des Wasserstandes angepasst hat. Schwerer wiegt, dass bislang nicht für alle Vegetationsformen die verwendeten Emissionsfaktoren mit Messdaten hinterlegt sind. In eingesäten Grünflächen verliert die Vegetation ihren Indikatorwert, und die Anwendung des Modells ist folglich auf naturnahe Systeme be-

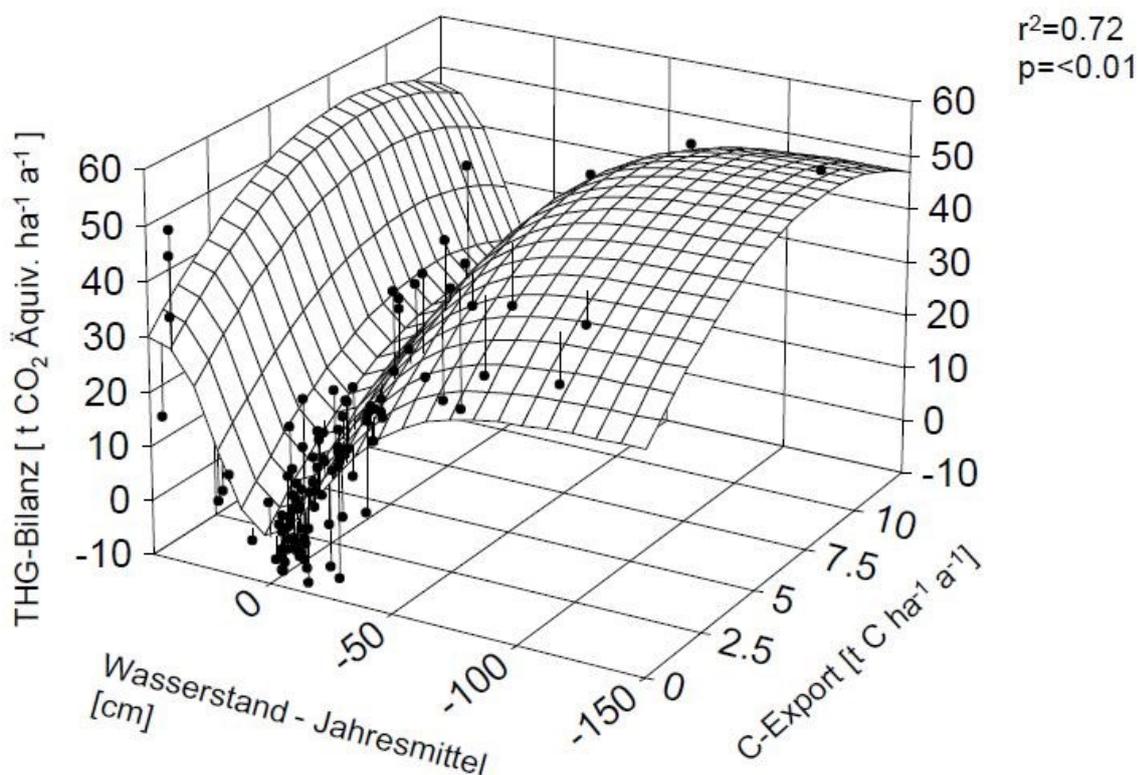


Abb. 4: Das *Peatland Emission Predictor*-Modell: Abhängigkeit der jährlichen THG-Bilanzen in drei Hochmooren und sieben Flachmooren (D) vom Jahresmittel des Wasserstands und dem jährlichen Export von Kohlenstoff mit dem Erntegut als Indikator für die Nutzungsintensität. Datenbasis: 130 Einzeldaten zu Jahresbilanzen von CO_2 , CH_4 und N_2O (aus DRÖSLER et al. 2013).

schränkt. Derzeit kommt das GEST-Modell bei den *MoorFutures* zur Anwendung (*MoorFutures* sind Kohlenstoffzertifikate, welche die Emissionsreduktionen nach Wiedervernässung abbilden. Sie werden seit 2011 als Kompensation für THG-Emissionen an Unternehmen, Organisationen und Einzelpersonen verkauft, mittlerweile in Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Schleswig-Holstein. Mit den Einnahmen werden die Wiedervernässungsmassnahmen finanziert; www.moorfutures.de). In Grossbritannien wird ein ähnlicher Ansatz innerhalb des Projekts *UK Peatland Carbon Code* für die Ausweisung von nationalen Emissionsfaktoren erarbeitet.

Ein dynamischer proxy-Ansatz wurde mit dem PEP-Modell (*Peatland Emission Predictor*) entwickelt (DRÖSLER et al. 2013). Diese datenorientierte Skalierungs-Modellierung von Emissionsfaktoren verrechnet die Steuerfaktoren **Wasserstand und Nutzungsintensität** (ausgedrückt durch C-Export) in einem bifaktoriellen Modell zu Emissionsfaktoren (siehe Abb. 4). Der Vorteil dieser Methode ist, dass – im Gegensatz zu den oben genannten statischen Ansätzen – dynamische Änderungen wie eine sukzessiv reduzierte Nutzungsintensität modelliert werden können. Standorte mit einem relativ hohen Wasserstand (ca. 10 cm unter Flur) und einer extensiven Bewirtschaftung weisen eine günstige THG-Bilanz auf. Mit zunehmender Entwässerungstiefe und Bewirtschaftungsintensität steigen die Netto-THG-Emissionen. Stark überstaute eutrophe Standorte können ebenfalls eine ungünstige THG-Bilanz aufweisen. Anwendung fand das PEP-Modell bislang bei der Evaluierung von Moorschutzprojekten in Deutschland (DRÖSLER et al. 2012a).

Im Rahmen des Projekts „Berichterstattung organische Böden“ (Thünen-Institut; www.organischeboeden.de) wurde an einem verbesserten Vorhersagemodell gearbeitet (TIEMEYER et al. 2013). Gemeinsam mit dem Grundwasserflurabstand erwies sich der in der entwässerten Bodenzone oberhalb des mittleren Grundwasserflurabstands gespeicherte Stickstoff als die beste Schätzgrösse für THG-Emissionen aus drainierten organischen Böden. Der Schlussbericht steht kurz vor der Publikation.

4. Synergien und Zielkonflikte einer Moorregeneration

Biodiversität

Klimaschutzprojekte in Mooren und Massnahmen zum Erhalt und zur Förderung der Biodiversität versprechen hohe Synergieeffekte. Natürliche Moore weisen spätestens bei langfristiger Betrachtungsweise eine „positive“ Klimabilanz auf und bieten Lebensraum für seltene Arten. Regenerationsmassnahmen, vor allem die Wieder-

vernässung von Mooren können diesen Zustand auf degradierten Flächen wiederherstellen. In Deutschland hatten für den Naturschutz durchgeführte Projekte nachweislich auch einen positiven Klimaeffekt (DRÖSLER et al. 2012b). Probleme können auftreten, wenn die zu Pflegeschnitten notwendige sommerliche Wasserabsenkung den Torfabbau stimuliert (DRÖSLER et al. 2013). Ein klarer Zielkonflikt ist gegeben, wenn im Laufe einer Jahrhunderte langen extensiven Nutzung schützenswerte Arten das Moor besiedelten, deren Lebensraum mit der Renaturierung vernichtet werden würde. Ist eine Pflanzen- oder Tierart der Roten Liste betroffen, ist dies sogar ein naturschutzrechtliches Hindernis (vgl. auch VISCHER-LEOPOLD et al. 2015). Die für den Artenschutz interessanten Flächen sind meistens relativ naturnahe Moore. Deren Wiedervernässung hat im Vergleich zu intensiv bewirtschafteten Flächen geringe THG-Emissionsreduktionen zur Folge, was sie für Klimaprojekte weniger attraktiv erscheinen lässt. Andererseits dürften diese Flächen einfacher verfügbar sein (und ggf. billiger zu erwerben; vgl. die Nutzungskonflikte mit der Landwirtschaft unten).

Wasserhaushalt

Intakte Moore sind für den regionalen Wasserhaushalt von Bedeutung. Je nach Lage im Einzugsgebiet leisten sie aufgrund ihrer hohen Wasserspeicherkapazität einen Beitrag zum vorsorgenden Hochwasserschutz. Der geringe Flurabstand begünstigt die Verdunstungskühlung. Grossflächig hilft eine hohe Bodenfeuchte, der Ausbildung von sommerlichen Hitzewellen entgegenzuwirken (MUELLER und SENEVIRATNE 2012). Dagegen kann die Entwässerung von Mooren zur Sackung der Geländeoberfläche und zu einem Absinken des Grundwasserspiegels führen (verstärkter Abstrom). Entwässerte Moore können die Gewässergüte negativ beeinflussen, wenn im Zuge der Zersetzung des Torfkörpers Nährstoffe mit dem Grundwasser ausgetragen werden. Eine Wiedervernässung von Mooren hat im Allgemeinen positive Auswirkungen auf die Gewässergüte des Vorfluters. Selbst Phosphorverbindungen, die in ehemals landwirtschaftlich intensiv genutzten Flachmooren mobilisiert werden können, werden nicht zwangsläufig in angrenzende Gebiete ausgetragen (ZAK und GELBRECHT 2008). In der EU wurden mit der Einführung der Wasserrahmenrichtlinie, die einen guten ökologischen Zustand der Stand- und Fliessgewässer fordert, positive Rahmenbedingungen für die Wiedervernässung von Mooren geschaffen.

Landwirtschaft

Ein klassischer Nutzungskonflikt besteht auf organischen Böden mit der intensiven landwirtschaftlichen Produktion, die (traditionell) nur nach einer Drainage möglich ist. Sie bewirkt eine starke Mi-

neralisierung des Torfkörpers und führt zu hohen THG-Emissionen (CO₂ und N₂O). In einigen Regionen, z.B. im schweizerischen Seeland, ist die Degradierung so weit fortgeschritten, dass gebietsweise eine längerfristige landwirtschaftliche Nutzung nicht mehr gewährleistet ist (VOL 2009; Abb. 2). Alternative Bewirtschaftungsmodelle mit nassen Kulturen (Paludikultur) verbinden eine ökonomisch einträgliche Nutzung mit Klima- und Bodenschutz. Diese Nutzungsformen befinden sich teilweise noch in der Erprobungsphase. Eine treibende Kraft stellt das Greifswald Moor Centrum dar (<http://www.greifswaldmoor.de>). Die Akzeptanz von Alternativkulturen bei den Schweizer Landwirten ist unklar und dürfte unter anderem von allfälligen Direktzahlungen abhängen.

Tourismus

Moore sind Orte mit touristischem Potential. Die Anlage von Lehrpfaden und Moorwanderwegen in wiedervernässten Mooren bietet die Möglichkeit, den Themenkomplex „Moorschutz = Klimaschutz“ einem breiten Publikum zu vermitteln und erlebbar zu machen (Umweltbildung). Der Verkauf von Kohlenstoffzertifikaten aus Wiedervernässungsprojekten an Touristen, wie er in Deutschland an mehreren Standorten erfolgreich praktiziert wird, stellt eine Win-win-Situation dar.

Umweltarchiv

Moore sind Fundstellen von (prä)historischen Gegenständen. Moorprofile enthalten viele Proxy-Informationen über die Vegetations- und Umweltgeschichte, die beispielsweise mittels Pollenanalyse ausgewertet werden können. Für das Bewahren der Archivfunktion sind anaerobe Bedingungen notwendig, die eine Zersetzung des Torfkörpers verhindern. Die Erhaltung intakter bzw. naturnaher Moore geht mit den Zielen des Klimaschutzes konform (KÜTTEL 1994).

5. Kohlenstoffmarkt

Ökonomische Bewertung

Das Anheben der Wasserstände im Rahmen von Regenerationsprojekten führt zu einer Nutzungsintensivierung und somit zu ökonomischen Kosten infolge sinkender oder ausbleibender Erträge. Die Klimaschutzleistung andererseits lässt sich anhand von THG-Vermeidungskosten ökonomisch bewerten und mit anderen Massnahmen vergleichen. Für Deutschland variieren die THG-Vermeidungskosten in sechs verschiedenen Moor-Testgebieten von 10 bis 135€ pro t CO₂ für eine 20-jährige Massnahmendauer und sind damit unter günstigen Bedingungen volkswirtschaftlich interessant (DRÖSLER et al. 2013). Im Polder Kieve, dem ersten Projektgebiet, das über eine Finanzierung mit *MoorFutures* wiedervernässt wurde, errechnet sich ein Preis von 35€ je t CO₂ eq. Für zukünftige Projekte wird eine Preisspanne von 10 bis 70€ pro t vermiedenes CO₂ eq erwartet

(JOOSTEN et al. 2013). Zum Vergleich – der Preis für Emissionszertifikate im Europäischen Emissionshandelssystem liegt seit Ende 2011 unter 10€ und war zeitweise unter 5€ pro t CO₂ gefallen (<https://www.eex.com>). Nicht zuletzt vor diesem Hintergrund ist es wichtig, die positiven Effekte einer Regenerationsmassnahme auf das Klima, die Biodiversität und andere Ökosystemdienstleistungen wie z.B. Stoffrückhalt, regionale Wasser- und Klimaregulierung im Zusammenhang zu betrachten. Der TEEB-Prozess (*The Economics of Ecosystems and Biodiversity*) zielt darauf, die Bedeutung der Natur stärker bei politischen Entscheidungen zu berücksichtigen. Im Sinne einer TEEB-Implementierung ist mittlerweile eine Version 2.0 der *MoorFutures* entwickelt worden, welche nebst den THG-Emissionsreduktionen mögliche weitere Ökosystemdienstleistungen und die Erhöhung der moortypischen Biodiversität abbildet (JOOSTEN et al. 2013). Diese Mehrleistungen sollen zukünftig vermehrt auf regionalen Kohlenstoffmärkten geltend gemacht werden (BONN et al. 2014; KLINGENFUß et al. 2015; vgl. auch <http://www.biologischevielfalt.de/22756.html>). Für die Schweiz stehen entsprechende Untersuchungen aus.

Verpflichtungsmarkt

Seit Inkrafttreten des Kyoto-Protokolls haben sich mehrere Kohlenstoffmärkte auf internationaler wie regionaler Ebene entwickelt. Prinzipiell kann zwischen einem Verpflichtungsmarkt und einem freiwilligen Markt unterschieden werden. Im Verpflichtungsmarkt soll den Vertragsparteien ermöglicht werden, die eingegangenen Reduktionsverpflichtungen zu den geringstmöglichen volkswirtschaftlichen Kosten zu erreichen. Das Kyoto-Protokoll hat zu diesem Zweck die sogenannten flexiblen Mechanismen (Emissionshandel, *Clean Development Mechanism*, *Joint Implementation*) eingeführt. Im Europäischen Emissionshandelssystem, dem zentralen Instrument der EU-Klimapolitik, werden Kohlenstoffzertifikate („Verschmutzungsrechte“) zwischen emissionsintensiven Unternehmen nach dem Prinzip *cap and trade* gehandelt. Ein Zertifikat berechtigt zur einmaligen Emission einer Tonne CO₂ innerhalb eines definierten Zeitraums. Der gesamte Wert des Verpflichtungsmarkts betrug im Jahr 2011 176 Mrd. US\$ (126 Mrd. €) und die umgesetzten Volumina erreichten eine Höhe von 10.2 Gt CO₂ eq (KOSSOY und GUIGON 2012).

Freiwilliger Kohlenstoffmarkt

Parallel zu diesen gezielt errichteten Märkten entstand ein freiwilliger Kohlenstoffmarkt, in dem sich Privatpersonen und Unternehmen engagieren und (unvermeidbare) THG-Emissionen kompensieren können. Letztere beispielsweise, um ihre Ziele im Bereich der unternehmerischen Gesellschaftsverantwortung zu erreichen. Mit dem Zertifikatserlös

werden Klimaschutzprojekte ausserhalb der rechtlich verbindlichen Zielvorgaben realisiert. Mit Ausnahme von (Wieder)Aufforstungsprojekten, die im *Clean Development Mechanism* erlaubt sind, sind Projekte im Landnutzungssektor in der Praxis weitgehend auf den freiwilligen Kohlenstoffmarkt beschränkt (VON UNGER et al. 2014). Eine generelle Schwierigkeit bei der Generierung (und dem Vorabverkauf) der Zertifikate im Landnutzungssektor ist die Abschätzung der zukünftig erzielten Emissionsminderungen. Diese müssen zunächst erbracht und verifiziert werden, sodann über die – oft mehrere Jahrzehnte andauernde – Projektdauer mit der Basislinie, d.h. dem theoretischen Emissionsverlauf ohne Massnahmen, verrechnet werden. Der gehandelte Wert auf dem freiwilligen Kohlenstoffmarkt betrug im Jahr 2014 395 Mio. US\$ (297 Mio. €) und erreichte mit 87 Mt CO₂ eq deutlich geringere Volumina als der Verpflichtungsmarkt (PETERS-STANLEY et al. 2015). Eine aktuelle Analyse in Deutschland zeigt, dass sich der Markt für freiwillige Kompensationen in den letzten Jahren dynamisch weiterentwickelt und ausdifferenziert hat (während sich der Verpflichtungsmarkt zum Teil schwierigen Marktbedingungen ausgesetzt sieht) (WOLTERS et al. 2015). Im Jahr 2013 wurden in Deutschland ca. 4.4 Mt CO₂ eq an freiwilligen Emissionszertifikaten stillgelegt (+33% gegenüber 2012). Die Preisspanne reichte von 0.40 bis 50€ pro t CO₂ eq, wobei auch hochqualitative Zertifikate schon ab 5€ verfügbar waren. Zwei Anbieter hatten Emissionszertifikate aus Moorkompensationsprojekten in Deutschland im Angebot, die überdurchschnittliche Preise erzielten. *MoorFutures* sind aktuell für 35 bis 67€ erhältlich.

Qualitätskriterien

Verschiedene Standards stellen die Integrität der Projekte auf dem freiwilligen Markt sicher. Gegenüber dem Verpflichtungsmarkt muss eine freiwillige Kompensation nicht zwangsläufig mit Qualitätseinbussen einhergehen (WOLTERS et al. 2015). Tabelle 1 führt wesentliche Zertifizierungskriterien auf. Die meisten internationalen Standards erkennen Wiedervernässungsprojekte nicht als wählbare Projektkategorie an. Ausnahmen sind: *Verified Carbon Standard (VCS)*, *International Standard Organisation (ISO)*, *Social Carbon and Climate, Community, and Biodiversity Standards (CCB)* (O'SULLIVAN und EMMER 2011). Der VCS ist der wichtigste Standard für Emissionsminderungsprojekte im Landnutzungssektor und der einzige, der ein eigenes Programm für Moorprojekte entwickelt hat (*Wetland Rewetting and Conservation* im Jahr 2011, vgl. PAUL und ALEWELL 2013, Kapitel 8.3).

Daneben gibt es einen Trend zur Entwicklung von Standards, die exklusiv für einen regionalen Kohlenstoffmarkt verwendet werden. In Deutschland wurde beispielsweise im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern mit *MoorFutures* ein regionaler

Standard vom Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern in Zusammenarbeit mit der Universität Greifswald entwickelt, der Emissionszertifikate aus der Wiedervernässung von Mooren ausstellt (PERMIEN und ZIEBARTH 2012). Der Vorteil von regionalen Standards ist, dass sie auf die landesspezifische Situation angepasst werden können und wesentlich kostengünstiger sind. Die Vermarktung erfolgt lokal, und die Käufer können sich mit dem Projekt leichter identifizieren, ggf. bei einem Besuch der Projektfläche. Viele Standards befinden sich weiterhin in der Aufbauphase. In der Schweiz besteht (noch) keine Möglichkeit, mit Wiedervernässungsprojekten Emissionszertifikate zu generieren.

6. Situation in der Schweiz

Rechtliche Grundlagen

Das revidierte CO₂-Gesetz (SR 641.71), seit dem 01. Januar 2013 in Kraft, hat zum Ziel, den Ausstoss von Treibhausgasen in der Schweiz bis 2020 im Vergleich zu 1990 um mindestens 20% zu senken. Die CO₂-Verordnung vom 30. November 2012 (SR 641.711) hält im Anhang 3b fest, dass für Projekte oder Programme zur Emissionsverminderung in der Schweiz keine Bescheinigungen ausgestellt werden, wenn die Emissionsverminderungen durch den Einsatz biologischer oder geologischer CO₂-Sequestrierung erzielt werden. Ausgenommen von dieser Regelung bleiben Holzprodukte. Anhang 3 wurde mit der Verordnungsänderung vom 8. Oktober 2014 präzisiert. Explizit sind in Bst. b^{bis} nun die Wiedervernässung von Mooren und Feuchtgebieten als nicht anrechenbare inländische Projekte aufgeführt. Im erläuternden Bericht zur Änderung der CO₂-Verordnung wird die mangelhafte Datengrundlage für die Berechnung der Klimawirksamkeit einer Regenerationsmassnahme als Grund genannt. Auch auf die Konsistenz mit den internationalen Klimaverpflichtungen unter Artikel 3.4 des Kyoto-Protokolls wird hingewiesen. Die Schweiz hat entschieden, in der 2. Verpflichtungsperiode (2013-2020) wie anhin lediglich *Forest Management* als Kyoto-Aktivität anzurechnen und die restlichen Aktivitäten, darunter neu *Wetland Drainage and Rewetting* (vgl. PAUL und ALEWELL 2013), nicht zu rapportieren. Die THG-Bilanz und damit die Klimawirksamkeit organischer Böden in der Schweiz geht deswegen bis mindestens ins Jahr 2020 weiterhin nur im Wald, wo sie unter *Forest Management* erfasst wird, in die Kyoto-Zielabrechnung ein (und zwar relativ zu einer Basislinie, der sogenannten *Forest Management Reference Line*; vgl. FOEN in prep.).

Unter den gegebenen Umständen scheint dem freiwilligen Kompensationsmarkt eine Schlüsselrolle zuzukommen, wenn in der Schweiz in absehbarer Zeit Moorregenerationen auch unter dem Aspekt Klimaschutz durchgeführt werden sollen.

Ein Projekt, welches sich an den *MoorFutures* orientiert und das (ökonomische) Potential derartiger Aktivitäten in der Schweiz im Fokus hat, wird gegenwärtig an der WSL in der Forschungseinheit Wirtschafts- und Sozialwissenschaft verfolgt.

Datenverfügbarkeit für die Klimaberichterstattung

Die Vorkommen der Flachmoore, Hochmoore und Moorlandschaften sind mit den drei Bundesinventaren zum Moorschutz gut bekannt (Notabene: Die Kartierung erfolgte nach vegetationskundlichen (Pflanzenbestand) und nicht nach bodenkundlichen Kriterien). Allfällige Standorte für Regenerationsprojekte könnten im Zuge der „Wirkungskontrolle Biotopschutz Schweiz“ erkannt und ausgeschieden werden. Wenig gesichertes Wissen herrscht dagegen in Bezug auf die landesweite Verbreitung der organischen Böden (im Sin-

ne von IPCC 2006). Das Treibhausgasinventar beispielsweise stützt sich bei den Flächendaten auf zwei Kartierungseinheiten der Bodeneignungskarte und auf das Hochmoorinventar (FOEN 2015). Eine wesentliche Verbesserung stellt der kürzlich von WÜST et al. (2015) zusammengestellte, GIS-basierte Datensatz in Aussicht. Einerseits weist er den einzelnen Flächen eine relative Unsicherheit zu, andererseits ermöglicht der verwendete Ansatz, neue Inputdaten (z.B. Kartierungen) und Erkenntnisse (z.B. zur Zuverlässigkeit einer Datenquelle) zu integrieren und die resultierende Karte dynamisch anzupassen.

Landesspezifische Messungen der CO₂-Flüsse auf organischen Böden sind rar (vgl. die Zusammenstellung in FOEN 2015). Erstmals wird seit dem vergangenen Winter bei Cressier NE eine Renaturierungsmassnahme über einen längeren Zeitraum hinweg erfasst. Ein Eddy-Kovarianz-

Tabelle 1: Qualitätskriterien, die für die Absicherung von Klimaschutzprojekten auf organischen Böden notwendig sind, hier am Beispiel des Verified Carbon Standard VCS (<http://www.v-c-s.org>) für den freiwilligen Kohlenstoffmarkt. Je nach Standard werden die Kriterien unterschiedlich eingefordert.

Additionalität (<i>additionality</i>)	Die Einnahmen aus dem Verkauf der Zertifikate sind für die Finanzierung des Projekts eine nötige Voraussetzung. Die Emissionsreduktion muss zusätzlich sein und nicht aus der Erfüllung z.B. gesetzlicher Auflagen resultieren.
Bezugsraum und -zeit (<i>reference</i>)	Jede Emissionsreduktion wird auf eine Referenz bezogen. Unter dem Kyoto-Protokoll wird das Referenzjahr 1990 benutzt. Die Referenz des VCS Standards ist ein dynamisches, hypothetisches Szenario. Die Emissionsreduktion wird mit dem höchstwahrscheinlichen Szenario (der Baseline) verglichen, welches sich ohne Massnahme ergeben hätte.
Projektlaufzeit (<i>crediting period</i>)	Die Projektlaufzeit ist entscheidend für die Emissionsreduktion: Längere Laufzeiten optimieren das Verhältnis zwischen Massnahmenkosten und Emissionseinsparung. Der VCS verrechnet die gesamten THG-Flüsse über die Projektzeit unter Berücksichtigung der unmittelbar als Folge der Wiedervernässung auftretenden Methanemissionen. Die Laufzeiten betragen zwischen 20 und 100 Jahren.
Messbarkeit (<i>measurability</i>)	Die Emissionsminderung muss messbar sein. Die Methoden sind unter dem VCS nicht vorgeschrieben, müssen jedoch validiert sein.
Verifizierbarkeit (<i>verifiability</i>)	Die Emissionsminderung muss von unabhängigen Gutachtern verifiziert werden.
Konservatismus (<i>conservatism</i>)	Die Abschätzung der Emissionsminderung erfolgt auf der sicheren Seite (konservativ), was zu einer geringeren Anzahl von Emissionszertifikaten (<i>carbon credits</i>) führt.
Vertrauenswürdigkeit (<i>reliability</i>)	Die in einem Projekt generierten Emissionszertifikate dürfen nur einmal verkauft werden und müssen zentral registriert werden.
Permanenz (<i>permanence</i>)	Die Emissionsreduktion soll permanent sein. Damit wird verhindert, dass Emissionsminderungen nach Abschluss der Massnahmen rückgängig gemacht werden. Langfristige Verträge oder gesetzliche Auflagen sollen dieses Risiko ausschliessen. So können Puffer eingebaut und ein Teil der Zertifikate zur Absicherung zurückgehalten werden.
Emissionsverlagerung (<i>leakage</i>)	Eine Emissionsverlagerung, die zu keiner absoluten Minderung, sondern nur zu einer räumlichen Verlagerung der Emissionen führt, ist nicht zulässig. Sie kann national (z.B. Verlagerung der Landnutzung und der damit verbundenen Emissionen auf angrenzende Flächen) oder international (z.B. Import von Torf anstelle Torfabbau vor Ort) auftreten.

Turm der Universität Basel misst dort den CO₂- und CH₄-Austausch über einer extensiv genutzten Wiese (degradiertes Flachmoor). Anders als bei den Flächendaten kann für die benötigten THG-Emissionsfaktoren auf die Resultate internationaler Forschungsprojekte zurückgegriffen werden, sofern die naturräumlichen Gegebenheiten übereinstimmen.

7. Schlussfolgerungen

Der Schutz organischer Böden (Moorschutz) kann mit den neuen Erkenntnissen der umfangreichen Forschungsprogramme und Meta-Studien der vergangenen Jahre generell als Klimaschutz aufgefasst werden. Dies gilt gleichermaßen für den Erhalt natürlicher und naturnaher Systeme wie für die (sachgemässe und dauerhafte) Wiedervernäsung drainierter Flächen. Die Kohlenstoffdichte und hohen Flussraten erlauben, auf einer relativ kleinen Fläche eine hohe Wirksamkeit zu erzielen. Die Qualitätsanforderungen hinsichtlich Monitoring, Verifizierung und Berichterstattung für Klimaschutzprojekte im Landnutzungssektor sind in mehreren internationalen wie regionalen Standards auch für den freiwilligen Markt festgelegt.

In der Schweiz ist es notwendig, der grossen Spannweite an organischen Böden, die von streng geschützten, ungestörten Hochmooren bis hin zu intensiv genutzten (ehemaligen) Flachmooren reicht, Rechnung zu tragen. Die einzelnen Standorte unterscheiden sich massiv hinsichtlich ihrer Verfügbarkeit und dem Klimaschutzpotential (Emissionseinsparung), das mit geeigneten Regenerationsmassnahmen auf ihnen erreicht werden könnte. Weite Teile der organischen Böden unterstehen einer Nutzung, die als nicht nachhaltig bezeichnet werden muss. Vor diesem Hintergrund wäre es zweckmässig, eine Nutzungsstrategie unter Berücksichtigung des Klimaschutzes, der Biodiversität und weiterer Ökosystemdienstleistungen zu erarbeiten. Hinsichtlich alternativer Nutzungsformen wie der Paludikultur liegen bislang kaum eigene Erfahrungswerte vor. Offen bleibt auch die Rolle, die der freiwillige Kohlenstoffmarkt übernehmen könnte. Obwohl die freiwillige Kompensation in der Schweiz breit akzeptiert ist, haben die Anbieter bisher von inländischen Moorprojekten abgesehen und dies mit einer prinzipiellen Unverträglichkeit mit den Qualitätskriterien, vor allem der Additionalität, begründet. Wie die erfolgreiche Entwicklung im benachbarten Ausland zeigt, dürfte dieses Hindernis überwindbar sein. Besonders attraktiv (weil gut kommunizierbar) für Pilotprojekte scheinen landschaftlich reizvolle Moorlandschaften oder Flächen, die als Emissions-Hotspot identifiziert wurden und auf denen effizient eine Emissionsminderung erreicht werden könnte.

Aufgrund der verbreiteten landwirtschaftlichen Nutzung organischer Böden (Flächenkonkurrenz) ist für die Vermittlung einer Nutzungsstrategie ei-

ne Bewertung auf monetärer, volkswirtschaftlicher Ebene eine notwendige Voraussetzung. Wünschenswert wäre es, zukünftig im Sinne einer integralen Betrachtung nebst CO₂-Preis auch weitere Ökosystemdienstleistungen in die Monetarisierung mit einschliessen zu können. Auch bereits getätigte oder anstehende Investitionen für Infrastruktur wie Drainagen und deren Unterhalts- und Erneuerungsarbeiten sollten berücksichtigt werden. Auf einer derartigen Grundlage könnte die Argumentation für eine nachhaltige und damit klimaschutzorientierte Nutzung besser abgestützt werden. Für einzelne Standorte fänden sich gegebenenfalls Alternativen zur aktuellen Bewirtschaftungsweise oder zu anstehenden Managementmassnahmen (z.B. Aufschüttungen mit ortsfremdem Bodenmaterial zwecks Erhalts der Produktionsfunktion). Im Rahmen ihrer Masterarbeit hat Greene (2015) im Kanton Zürich einen ersten Schritt in diese Richtung getan. Eine vertiefte Auseinandersetzung mit der Thematik steht in der Schweiz aus. Mit dem Roundtable „Moore und Organische Böden“ hat das BAFU vergangenes Jahr zusammen mit der Agroscope eine informelle Plattform ins Leben gerufen, in deren Rahmen eben dies geschehen könnte.

8. Referenzen

- BONN, A., M.S. REED, C.D. EVANS, H. JOOSTEN, C. BAIN, J. FARMER, I. EMMER, J. COUWENBERG, A. MOXEY, R. ARTZ, F. TANNEBERGER, M. VON UNGER, M.-A. SMYTH and D. BIRNIE, 2014: Investing in nature: Developing ecosystem service markets for peatland restoration. *Ecosystem Services* 9, 54-65. DOI: 10.1016/j.ecoser.2014.06.011
- COUWENBERG, J. and C. FRITZ, 2012: Towards developing IPCC methane 'emission factors' for peatlands (organic soils). *Mires and Peat* 10, Article 03, 1-17. <http://mires-and-peat.net/pages/volumes/map10/map1003.php>
- COUWENBERG, J., R. DOMMAIN and H. JOOSTEN, 2010: Greenhouse gas fluxes from tropical peatlands in south-east Asia. *Global Change Biology* 16, 1715-1732. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2009.02016.x
- COUWENBERG, J., A. THIELE, F. TANNEBERGER, J. AUGUSTIN, S. BÄRISCH, D. DUBOVIK, N. LIASHCHYNSKAYA, D. MICHAELIS, M. MINKE, A. SKURATOVICH and H. JOOSTEN, 2011: Assessing greenhouse gas emissions from peatlands using vegetation as a proxy. *Hydrobiologia* 674, 67-89. DOI: 10.1007/s10750-011-0729-x
- DRÖSLER, M., A. FREIBAUER, T. CHRISTENSEN and T. FRIBORG, 2008: Observation and status of peatland greenhouse gas emission in Europe. In: Dolman, H., R. Valentini and A. Freibauer (Eds.): *The continental-scale greenhouse gas balance of Europe*. *Ecological Studies* 203, 237-255.

- DRÖSLER, M., et al., 2012a: Beitrag ausgewählter Schutzgebiete zum Klimaschutz und dessen monetäre Bewertung. BfN-Skripten 328, Bundesamt für Naturschutz, Bonn. <http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/Skript328.pdf>
- DRÖSLER, M., L. SCHALLER, J. KANTELHARDT, M. SCHWEIGER, D. FUCHS, B. TIEMEYER, J. AUGUSTIN, M. WEHRHAN, C. FÖRSTER, L. BERGMANN, A. KAPFER und G.-M. KRÜGER, 2012b: Beitrag von Moorschutz- und -revitalisierungsmaßnahmen zum Klimaschutz am Beispiel von Naturschutzgroßprojekten. *Natur und Landschaft* 87 (02), 70-76.
- DRÖSLER, M. et al., 2013: Klimaschutz durch Moorschutz. Schlussbericht des Vorhabens „Klimaschutz – Moornutzungsstrategien“ 2006-2010. Endfassung vom 31. Januar 2013. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising. <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb13/735500762.pdf>
- FOEN, 2015: Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2013. Submission of 15 April 2015 under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. Federal Office for the Environment, Bern. www.bafu.admin.ch/ghginv2015
- FOEN, in prep.: Switzerland's Second Initial Report under the Kyoto Protocol. Federal Office for the Environment, Bern.
- FROLKING, S. and N.T. ROULET, 2007: Holocene radiative forcing impact of northern peatland carbon accumulation and methane emissions. *Global Change Biology* 13, 1079-1088. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2007.01339.x
- GREENE, S.E., 2015: Wetlands as Climate Mitigation Infrastructure: A Carbon Footprint Assessment of the Wetlands of Kanton Zürich. Master thesis, Institute of Ecology and Evolutionary Biology, University of Zürich, Switzerland.
- HOMMELTENBERG, J., H.P. SCHMID, D. DRÖSLER and P. WERLE, 2014: Can a bog drained for forestry be a stronger carbon sink than a natural bog forest? *Biogeosciences* 11, 3477-3493. DOI: 10.5194/bg-11-3477-2014
- HÖPER, H., 2007: Freisetzung von Treibhausgasen aus deutschen Mooren. *Telma* 37, 85-116.
- IPCC, 2006: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4, Chapter 3, Annex 3A.5. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- IPCC, 2014: 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/index.html>
- JOOSTEN, H. and J. COUWENBERG, 2009: Are emission reductions from peatlands MRV-able? Wetlands International, Ede. http://www.imcg.net/media/download_gallery/climate/joosten_couwenberg_2009.pdf
- JOOSTEN, H., 2011: Neues Geld aus alten Mooren: Über die Erzeugung von Kohlenstoffzertifikaten aus Moorbiedervernässungen. *Telma Beiheft* 4, 183-202.
- JOOSTEN, H., 2011a: The global peatland CO₂ picture. In: TANNEBERGER, F. and W. WICHTMANN (Eds.): Carbon credits from peatland rewetting: Climate – biodiversity – land use. Science, policy, implementation and recommendations of a pilot project in Belarus. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart, p. 20-30.
- JOOSTEN, H., K. BRUST, J. COUWENBERG, A. GERNER, B. HOLSTEN, T. PERMIEN, A. SCHÄFER, F. TANNEBERGER, M. TREPEL und A. WAHREN, 2013: MoorFutures®. Integration von weiteren Ökosystemdienstleistungen einschließlich Biodiversität in Kohlenstoffzertifikate – Standard, Methodologie und Übertragbarkeit in andere Regionen. BfN-Skripten 350, Bundesamt für Naturschutz, Bonn. <http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/skript350.pdf>
- KIRSCHKE, S. et al., 2013: Three decades of global methane sources and sinks. *Nature Geoscience* 6, 813-823. DOI: 10.1038/ngeo1955
- KLINGENFUß, C., D. MÖLLER, C. HELLER und J. ZEITZ, 2015: Bewertung von Ökosystemleistungen der Moorböden. Eine Ergänzung zum Bodenfunktionskonzept. *Bodenschutz* 03.15, 82-87. <http://www.bodenschutzdigital.de/Zbos.03.2015.082>
- KOSSOY, A. and P. GUIGON, 2012: State and trends of the carbon market 2012. Carbon Finance at the World Bank, Washington DC. http://siteresources.worldbank.org/INTCARBONFINANCE/Resources/State_and_Trends_2012_Web_Optimized_19035_Cvr&Txt_LR.pdf
- KÜTTEL, M., 1994: Die Bedeutung der Moore als Datenquellen für die Umweltgeschichte. Handbuch Moorschutz in der Schweiz Band 1, Kapitel 3.2.1. <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01686/index.html?lang=de>
- LAI, D.Y.F., 2009: Methane dynamics in northern peatlands: A review. *Pedosphere* 19, 409-421. DOI: 10.1016/S1002-0160(09)00003-4
- LEIBER-SAUHEITL, K., R. FUß, C. VOIGT and A. FREIBAUER, 2014: High CO₂ fluxes from grassland on histic Gleysol along soil carbon and drainage gradients. *Biogeosciences* 11, 749-761. DOI: 10.5194/bg-11-749-2014
- MUELLER B. and S.I. SENEVIRATNE, 2012: Hot days induced by precipitation deficits at the global scale. *PNAS* 109, 12398-12403. DOI: 10.1073/pnas.1204330109
- O'SULLIVAN, R. and I. EMMER, 2011: Selling peatland rewetting on the voluntary market. In: TANNEBERGER, F. and W. WICHTMANN (Eds.): Carbon credits from peatland rewetting: Climate – biodiversity – land use. Sci-

- ence, policy, implementation and recommendations of a pilot project in Belarus. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart, p. 94-99.
- PARISH, F., A. SIRIN, D. CHARMAN, H. JOOSTEN, T. MINAYEVA, M. SILVIUS and L. STRINGER, (Eds.) 2008: Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change: Main Report. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen. http://www.imcg.net/media/download_gallery/books/assessment_peatland.pdf
- PAUL, S. und C. ALEWELL, 2013: Moorregeneration als Klimaschutzmassnahme: eine Recherche zur neuen Kyoto-Aktivität "Wetland Drainage and Rewetting". Umweltgeowissenschaften, Universität Basel. Im Auftrag des BAFU, Bern. <http://www.bafu.admin.ch/ghginv-ref>
- PERMIEN, T. und M. ZIEBARTH, 2012: MoorFutures – Innovative Finanzierung von Projekten zur Moorwiedervernässung in Mecklenburg-Vorpommern. Natur und Landschaft 87 (02), 77-80.
- PETERS-STANLEY, M., G. GONZALEZ, K. HAMRICK and A. GOLDSTEIN, 2015: Ahead of the curve. State of the voluntary carbon markets 2015. Ecosystem Marketplace. http://forest-trends.org/releases/uploads/SOVCM2015_FullReport.pdf
- PETRESCU, A.M.R. et al., 2015: The uncertain climate footprint of wetlands under human pressure. PNAS 112, 4594-4599. DOI: 10.1073/pnas.1416267112
- SR 641.71 / SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT, 2011: Bundesgesetz über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Gesetz) vom 23. Dezember 2011 (Stand am 1. Januar 2013). http://www.admin.ch/ch/d/sr/c641_71.html
- SR 641.711 / SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT, 2012: Verordnung über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Verordnung) vom 30. November 2012 (Stand am 1. Januar 2015). <http://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20120090/index.html>
- TIEMEYER, B. et al., 2013: Klimarelevanz von Mooren und Anmooren in Deutschland: Ergebnisse aus dem Verbundprojekt „Organische Böden in der Emissionsberichterstattung“. Thünen Working Paper 15. www.organische-boeden.de
- VOL, 2009: Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern. Bodenbericht 2009.
- VISCHER-LEOPOLD, M., G. ELLWANGER, A. SSYMANK, K. ULLRICH, und C. PAULSCH, 2015: Natura 2000 und Management in Moor-gebieten. Naturschutz und Biologische Vielfalt 140.
- VON UNGER, M., I. EMMER, J. COUWENBERG and H. JOOSTEN, 2014: Carbon market approaches for peatlands and forests. Status report I. On behalf of the German Ministry for the Environment, the German Environment Agency, the German Emissions Trading Authority. Berlin. http://www.dehst.de/SharedDocs/Downloads/EN/Publications/Peatlands.pdf?__blob=publicationFile
- WADDINGTON, J.M., M. STRACK and M.J. GREENWOOD, 2010: Toward restoring the net carbon sink function of degraded peatlands: Short-term response in CO₂ exchange to ecosystem-scale restoration. Journal of Geophysical Research 115, G01008. DOI: 10.1029/2009JG001090
- WHITING, G.J. and J.P. CHANTON, 2001: Greenhouse carbon balance of wetlands: methane emission versus carbon sequestration. Tellus 53B, 521-528. DOI: 10.1034/j.1600-0889.2001.530501.x
- WOLTERS, S., K. NETT, D. TÄNZLER, K. WILKENING, M. GÖTZ, J.-M. KREBS und D. VOGEL, 2015: Aktualisierte Analyse des deutschen Marktes zur freiwilligen Kompensation von Treibhausgasemissionen. Climate Change 02/2015. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_02_2015_aktualisierte_analyse_des_deutschen_marktes.pdf
- WÜST, C., J. LEIFELD and A. GRÜNIG, 2015: Locating organic soils for the Greenhouse Gas Inventory. Agroscope, Zürich. www.bafu.admin.ch/ghginv-CP2-ref
- WWF, 2014 (Developer): Methodology for Rewetting Drained Tropical Peatlands. Approved VCS Methodology VM0027, Version 1.0. <http://www.v-c-s.org/methodologies/methodology-rewetting-drained-tropical-peatlands-v10>
- ZAK, D. und J. GELBRECHT, 2008: Phosphormobilisierung in wiedervernässten Niedermooren - Status, Ursachen und Risiken für angrenzende Gewässer. In: GELBRECHT, J., D. ZAK und J. AUGUSTIN (Hrsg.): Phosphor- und Kohlenstoff-Dynamik und Vegetationsentwicklung in wiedervernässten Mooren des Peenetales in Mecklenburg-Vorpommern: Status, Steuergrößen und Handlungsmöglichkeiten. Berichte des IGB 26, Berlin, S. 68-141.