



**„Richtlinien für die Regeneration von Torfabbauf Flächen “**  
**Zusammenfassung des EU-Projektes RECIPE**

## Wissenschaftlicher Kontext

Im Rahmen des EU Projektes RECIPE sind eine Reihe wissenschaftlicher Publikationen erschienen, die sich mit der Wiederherstellung von ehemaligen Torfabbaugebieten beschäftigen. Es hat sich gezeigt, dass eine Erstellung eines allgemeingültigen Leitfadens für die Regeneration von ehemaligen Torfflächen auf Grund der Heterogenität der Flächen, der Abbaupraktiken und der ökologischen Gegebenheiten praktisch unmöglich ist. Sinnvoller ist es vielmehr an Hand einzelner Beispiele zu zeigen, wie entsprechende Maßnahmen umgesetzt werden können und welche ökologischen Konsequenzen damit verbunden sind. Im Rahmen des EU Projektes RECIPE wurden daher 5 unterschiedliche ehemalige Torfabbaugebiete ausgewählt. Ein ähnliches Herangehen wurde auch im Rahmen des vor kurzem abgeschlossenen EU Projektes BRIDGE (Blankenburg und Tonnis, 2004) gewählt, in dem auch versucht wurde Richtlinien für die Wiederherstellung von ehemaligen Torfabbauflächen abzuleiten. Im Folgenden wird daher der Ausgangszustand der 5 untersuchten Flächen und die bis dato erreichten ökologischen Endpunkte entsprechend dem im Projekt BRIDGE vorgeschlagenen Modus kurz beschrieben; ferner werden Forschungsdefizite definiert. Die Daten sind Tabelle 1 zusammengefasst.

### 1. Aitoneva, Finnland

Die Torfablagerungen von Aitoneva wurden erstmals 1942 beschrieben. Ursprünglich war der Standort ein baumloses Torfgebiet mit einer durchschnittlichen Torftiefe von 2.9 m. In der Mitte betrug die Torfmächtigkeit 6.6 m (Stén und Toivonen, 1990). Der Torfabbau wurde 1942 begonnen und ist in einigen Gebieten auch heute noch aktiv.

In den ersten Jahren des Abbaus wurde der Torf durch Blockschneiden gewonnen, wodurch 3 – 4 m tiefe Gräben entstanden, die von ca 5 m breiten Drainagesystemen umgeben waren. Allerdings waren diese Entwässerungssysteme ziemlich wirkungslos und finden seit 1948 keine Anwendung mehr. Die Mikrotopographie der Gräben ist ziemlich gleichmäßig und die Vegetation besteht hauptsächlich aus Grasvegetation. *Carex lasiocarpa*, *C. rostrata* und *Eriophorum vaginatum* sind in der Auffangschicht dominierenden. *Sphagnum pulchrum* (Braithw.) und teilweise *S. lindbergii* bilden die Hauptvertreter an den Wänden der Entwässerungssysteme. *S. papillosum* findet sich typischerweise in den darunterliegenden Schichten. (Yli-Petäys et al., 2007). Die Ausgangsbedingungen für die Regeneration können als „D“ eingestuft werden. Nach 50 Jahren Regeneration können die entsprechenden Flächen als Typ 3 klassifiziert werden (poor fen-transition mire).

In den 60iger Jahren wurde das leistungsfähigere Torfstechen die typische Erntemethode; daher ist die allgemeine Topographie der geernteten Oberflächen in Aitoneva ziemlich gleichmäßig. Wegen des großen Bereichs des ursprünglichen Torfgebietes (>1000 ha), variieren die Ausgangsbedingungen für die Regeneration stark. Im Allgemeinen können die Oberflächen als A, Bi oder D eingestuft werden.

Der Hauptentwässerungssysteme und viele kleinere Entwässerungssysteme sind noch erhalten; daher beinhalten Restorationsmaßnahmen immer das Blockieren der Drainage Systeme. Abgesehen von typischen Restorationsmaßnahmen werden an einigen Stellen auch Aufforstungen durchgeführt. Dieses erfordert eine vorsichtige Planung der Restorationsmaßnahmen, damit keine ökonomischen Nachteile für die

anderen Landnutzer entstehen. Die Regenerationsmassnahmen werden in den meisten Fällen zu den Endpunkten 1,2 oder 7 führen. Trotzdem wird an einigen Punkten Aufforstung die bessere alternative sein.

## 2. Middlemuir, Schottland

Eine Übersicht datierend aus dem Jahr 1961 beschreibt die Torfmächtigkeit bei Middlemuir zwischen 1 – 5 m. Die mechanische Torfextraktion begann zu Beginn der 60iger Jahre, obgleich beschränkte manuelle Torfextraktion durch lokale Initiativen während der letzten 2 Jahrhunderte dokumentiert ist. Der Torf wurde in 100 m breiten Rinnen bis 1993 abgebaut. Als unmittelbare Folge des ungleichmäßigen Torfabbaus ist ein topographisch sehr heterogenes Gebiet entstanden. Folglich können die Bedingungen für Regeneration von Kategorie A (tiefer *Sphagnum* Torf >100 cm, ombrotrophic, sehr säurehaltige, angehobene Oberfläche, etc.), bis zu Bi (dünner *Sphagnum* Torf <100cm, sehr säurehaltige, angehobene Oberfläche, etc.) reichen. In verschiedenen Bereichen des Torfgebietes gibt es noch hochhumifizierte Ablagerungen bis zu einer Mächtigkeit von 2 m. Die kleinen Entwässerungsgräben wurden nach Beendigung des Torfabbaus nicht offen gehalten und daher sofort durch typische Torfvegetation besiedelt. Die Hauptdrainagesysteme wurden jedoch beibehalten, so dass vor allem in der Peripherie der Torffläche immer noch Entwässerungsverluste entstehen. Die Hauptarten die trockeneren Gebiete besiedeln sind *Eriophorum vaginatum* und *Campylopus introflexus*. Diese treten meist in isolierten Patches auf. In den feuchteren Bereichen (B/C) ist die Besiedelung kompletter und durch unterschiedliche Sphagnumarten charakterisiert. In den Randbereichen mit geringer Torfmächtigkeit werden hauptsächlich Pflanzen gefunden, die als Indikator für feuchte Sumpfgebiete dienen (z.B. *Deschampsia flexuosa*).

Ingesamt lässt sich das Gebiet nach der „BRIDGE Klassifizierung“ als emergent saurer Torf (Endpunkt 1 oder 2) einstufen, wenn die Sickerungsverluste gering sind oder durch passendes Management verringert werden können. Bereiche die auf Grund des Wasserverlustes zur Austrocknung neigen werden als Wald mit feuchten Nischen genutzt. Allerdings haben die erstgenannten Optionen ein deutlich höheres Konservierungspotential. Daher sollte das ursprüngliche Relief wieder hergestellt werden, vor allem auch um Lateralflüsse zu vermeiden, und soweit als möglich auch das ursprüngliche Drainagesystem. Wir sind uns allerdings unsicher ob ein aufschwemmen des Gebietes für das gesamte Areal machbar ist, allerdings könnte diese Maßnahme für kleinere Bereiche die Methode der Wahl darstellen.

## 3. La Chaux d' Abel, die Schweiz

Dieser Standort im Schweizer Juragebiet wurde 1963 als Torfabbauggebiet stillgelegt, mit nur einigen wenigen Flächen, die noch intakt waren. Daraufhin setzte eine spontane Regeneration ein. Das entstandene Ökosystem wird von *Sphagnum spp.*, *Polytrichum strictum*, *P.com mune*, *Eriophorum vaginatum* und *E. angustifolium* mit einigen *Betula pubescens* und *Picea abies* beherrscht.

Drei Standorte wurden im La Chaux d' Abel ausgewählt: „frühe Regeneration“ (a), „Zwischenregeneration“ (b) und „späte Regeneration“ (c). Ausführliche Analysen des

Torfs zeigten, daß die Standorte der Stadien A und B vergleichbare Ausgangsbedingungen aufwiesen, während der Standort C nicht unmittelbar vergleichbare Standorteigenschaften aufwies. Der Standort A ist durch *Sphagnum spp.*, *E. vaginatum*, *Comarum palustris* und *Carex Nigra* mit variablen Anteilen von *C. vulgaris*, *Betula nana*, *Anthroxanthum odoratum* und *Potentilla erecta* charakterisiert. Standort B ist hauptsächlich *Sphagnum spp.* und *E. vaginatum* dominiert, während Standort C neben *Sphagnum spp.* und *E. vaginatum* einen variablen Anteil von *P. erecta* und von *Vaccinium oxycoccus* enthält.

#### 4. Le Russey, Frankreich

Die Torfgebiete von Le Russey und La Chaux d' Abel sind in vielen Punkten vergleichbar. Die beiden Gebiete sind nur ungefähr 15 km entfernt und von vergleichbarer Geologie (kalkhaltiges Jura Gestein). Der Torf in beiden Gebieten war relativ unkoordiniert, was zu sehr komplexen topographischen und hydrologischen Zuständen führte. Die Gesamtfläche des Torfgebietes umfasst ca. 27 ha, von denen ein Großteil heute bewaldet ist. Der aktive Torfabbau wurde 1968 begonnen und 1984 wieder gestoppt. Insgesamt blieben mind. 1- 2 m der ursprünglichen Torfschicht erhalten. Die sich spontan entwickelten Pflanzengemeinschaften wurden von *Sphagnum spp.*, *Polytrichum strictum*, *Eriophorum vaginatum* und *E. angustifolium* dominiert. Für die Untersuchungen wurden 3 Standorte ausgewählt: A: reiner Torf B: Regeneration mit Bewuchs von *E. angustifolium* und *P. strictum*, mit den variablen Anteilen von *Calluna vulgaris*, *S. fallax* und *S. rubellum*; C: fortgeschrittene Regeneration dominiert durch *S. fallax*, *S. rubellum* und *E. vaginatum* mit wenig Anteilen von *C. vulgaris*, *Carex nigra*, *Vaccinium oxycoccus* und *P. strictum*

#### 5. Baupte, Frankreich

Baupte unterscheidet sich von den anderen vier Standorten in seiner Entwicklungsgeschichte. Es ist eins der wichtigsten Torfabbaugebiete in Frankreich und wurde intensiv seit dem Ende des zweiten Weltkrieges genutzt. Das Torfgebiet liegt nur wenige Meter über dem Meeresspiegel und entstand über littoralem Sediment durch eine Sukzession mariner Regressionen und Transgressionen vor über 9000 Jahren. Es wurden 4 Teilflächen ausgewählt: (1) Sumpfgebiet (2) Übergangsphase in den aquatischen Bereich (3) Übergangsbereich zwischen borealer und atlantischer Phase (4) terrestrischer bewachsener Bereich. Das erste Vorkommen von *Sphagnum* auf Flächen von (4) deutet darauf hin, daß es sich aus dem ombrotrophen und ombrogenes System begonnen hatte zu entwickeln. Am Ende des 19. Jahrhunderts, waren *Drosera longifolia*, *Andromeda polifolia* und *Oxycoccus palustris* sehr häufige Vertreter der Vegetation. Jedoch verschwand *Andromeda polifolia* 1965; ebenso sind heute auch keine ausgedehnten *Sphagnum* Bereiche mehr zu erkennen. Die Torfmächtigkeit reichte von 1 bis 8 m (an manchen Stellen wurden bis zu 12 m gemessen). Torfablagerung waren typischerweise auf Faluns und Lehm und wurden über großen Bereiche oberflächlich geerntet. Nur ein verhältnismäßig flacher Fenntorfbereich ist heute noch erhalten. Der aufliegende Torf ist sehr stark abgebaut und der Zelluloseinhalt ist sehr niedrig ( $14.8 \pm 3.1$  mg g<sup>-1</sup>). Der mittlere pH ist  $5.5 \pm 0.4$  und das C: N Verhältnis  $21 \pm 2$ , während der organische S Anteil zwischen  $0.500 \pm 0.053\%$  erreicht, dem höchsten Wert der in den 5 Untersuchungsgebieten

gemessen wurde. Der Abbau in den fast völlig degradierten Teilen der Torflandschaft wurde 1995 gestoppt und künstlich geflutet. Dadurch entstanden einige sehr ausgedehnte überstaute Wassergebiete. In den ältesten Bereichen des Moors entwickelte sich eine Phragmites dominierte Vegetation, die als Senke für Kohlenstoff dient. Auf den anderen Flächen entwickelten sich *Eleocharis palustris*, *Agrostis stolonifera* oder *Carex spp.* Es wird allerdings erwartet dass mittelfristig auch diese Flächen von Phragmites besiedelt werden. *Eriophorum angustifolium* besiedelte nur nackte Torfbereiche, entwickelte sich aber nie in den Uferzonen.

Der Torfabbau wurde 2005 gestoppt, allerdings wollen die Betreiber mit einem neuen Verfahren weiter Torf ernten (Torfabbau unter Wasser). Die Firma hat auch auf die Probleme hingewiesen die durch eine großflächige Flutung des Gebietes zur Stabilisierung der hydrologischen Gegebenheiten und die Vernässung der restlichen Bereiche entstehen können. Die Zielsetzungen des gesamten Projektes (das allerdings von den zuständigen Behörden noch nicht genehmigt wurde) sind die Erhöhung der Pflanzendiversität, der Schutz der seltenen Vogelarten, die das Gebiet im Winter besiedeln und die Schaffung einer Kohlestoffsénke. Der Erfolg der geplanten Maßnahmen soll von einer unabhängigen Gruppe bewertet werden.

Die Ausgangsbedingungen wären Fi/Fii (aber kein hoher pH, vergl. oben); die Mächtigkeit des Torfs wäre abhängig von den entsprechenden Flächen. An einigen Stellen ist die Mächtigkeit kleiner als 50 cm und es war sogar der Tonunterboden sichtbar.

Tiefe Überschwemmungen in großen Bereichen prägen die Situation, die jetzt in Baupte mit dem gegenwärtigen Wassermanagement beobachtet wird. In einigen Fällen sind alte überflutete Gebiete völlig durch Phragmites wiederbesiedelt und dieser entwickelt sich immer mehr. *Eriophorum angustifolium* kolonisierte, die nackten Torfbereiche sehr früh in der Sukzession aber entwickelte sich nicht sehr viel (vermutlich wegen der Substratqualität, die mesoeutrophsch ist). Da es keine deutliche Entwicklung der Vegetation gibt, war der Schutz der Randzonen eine der Hauptempfehlungen „der Recréer La Natur“, einem nationalen Forschungsprogramms des französischen Umweltministeriums (1998-2000) dessen Hauptziel es war, experimentelle Restorationsmassnahmen gestörter Ökosysteme in Frankreich durchzuführen. In diesem Rahmen dieses Projektes wurden auch die Effekte der künstlichen Überflutung von Torfflächen, die für den Abbau genutzt wurden in Baupte geprüft worden. Wellebildung scheint interessanterweise, in den Gewässern in Baupte ein Problem zu sein.. Ein Vorschlag könnte die Schaffung von Dämmen durch die Vegetation sein, um auch die Fläche der Gewässer zu verringern.

Die Bepflanzung großer Bereiche wäre eine gute Strategie, aber dies wäre nur mit einem vertieften Wissen über die Torfqualität möglich um solche mesotrophe Bereiche auszuweisen, speziell *Eriophorum*. Wir beobachteten gutes Wachstum von *Eriophorum angustifolium* und von *E. vaginatum* zwei Jahre nachdem die Pflanzen im Rahmen von RECIPE gepflanzt wurden (RECIPE-WPII), aber die Sterblichkeitsrate blieb, vermutlich in Abhängigkeit zu den Torfeigenschaften, hoch. Alles gepflanzten Sphagnum Pflanzen konnten sich nicht etablieren. Diese Informationen könnten im Bezug auf das Erreichen von Endpunkt 3 nützlich sein.

In den ältesten Bereichen des Gebietes hat sich *Salix spp.* gut entwickelt. Dieses deutet auf das Erreichen von Endpunkt 8 (nasser Waldlandstandort) oder einem späten Zeitpunkt in der Sukzession von Endpunkt 6. Die zwei Szenarien zu erhalten könnte möglich sein, aber dieses würde eine Ausdünnung von *Salix spp* erfordern.

Baupate und seine großen Gebiete, die zum Torfabbau genutzt wurden sind von Interesse wenn es darum geht nachhaltige Strategien für eine Restoration solcher Flächen zu entwickeln. Es ist sehr einfach Teilflächen mit unterschiedlicher Vegetation anzulegen. Allerdings ist bis dato unklar ob solche Versuche durchgeführt werden können, da die Stellungnahme der beteiligten Behörden noch aussteht, die eine komplette Flutung des Gebietes bevorzugen. Die Chancen stehen im Moment 50:50.

## **Beitrag der Ergebnisse aus RECIPE für die Ableitung eines generellen Leitfadens für die Wiederherstellung von ehemaligen Torfabbaugebieten**

### *Landnutzung, Biodiversität und Kohlenstoffsequestrierung*

Ehemalige Torfabbaugelbiete wurden in den letzten Jahrzehnten für eine Vielzahl von Maßnahmen genutzt; daher ist die Möglichkeit einer Restoration in erster Linie von den entsprechenden Gegebenheiten abhängig. Einige dieser Maßnahmen haben die Struktur und Funktion dieser Ökosysteme nachhaltig beeinflusst, vor allem im Bezug auf Biodiversität und Kohlestoffsequestrierung. Andererseits gab es eine Reihe von Maßnahmen die einen durchaus positiven Effekt im Bezug auf den Restorationsprozess hatten. Auf der Basis der in RECIPE durchgeführten sozioökonomischen Studien ist es teilweise möglich diese Aktivitäten zusammenzufassen (Figur 1).

### *Wechsel in der Funktionsweise von Torfökosystemen in Abhängigkeit der Regeneration*

Es gilt generell als nachgewiesen, dass ein Bewuchs ehemaliger Torfabbaufächen mit Sphagnum die Kohlestoffspeicherfähigkeit wiederherstellt. Dies konnte ebenfalls für Eriophorum dominierte Flächen gezeigt werden (Bortoluzzi et al., 2006). Allerdings kann dies nicht völlig verallgemeinert werden. Vor allem zu Beginn der Regeneration können sekundäre gebildete Torfabbauhalden eine Quelle für Kohlestoff darstellen. Außerdem kann die C-Sequestrierung in einem Zwischenstadium der Regeneration ein Maximum erreichen und dann sukzessive abnehmen (Kivimäki et al., 2007). Daher kann nicht ausgeschlossen werden dass die hohen C-Sequestrierungsraten in einigen sekundären Torfhalden nur vorübergehend sind. Ähnliches gilt für mikrobielle Aktivitätspotentiale, die meist nur in Übergangsphasen sehr hoch waren (20-30 Jahre, Francez et al., 2007).

Es wird häufig postuliert, dass Emissionen von Methan durch das Einstellen eines niedrigen Wasserspiegels verringert werden können, das das gebildete Methan vor dem Eintritt in die Atmosphäre zu CO<sub>2</sub> oxidiert wird. Im Gegensatz dazu ist bekannt dass die Menge an Pflanzengebundenem Kohlestoff in Flächen mit einem hohen Wasserspiegel am höchsten ist. Welcher der beschriebenen Effekte einen größeren Einfluss bei der Wiederherstellung von Torfabbaufächen hat ist unklar, da systematische Untersuchungen zu den genannten gegenläufigen Trends fehlen. Neue Resultate die im Rahmen von RECIPE gewonnen wurden (Yli-Petäys u. Vasander, unveröffentlicht) deuten darauf hin, dass ein Wasserspiegel von 20 Zentimeter unterhalb der Oberfläche genug ist um ein optimales Wachstum von *C. rostrata*, *E. vaginatum*, *E. angustifolium* zu gewährleisten.. Im gleichen Experiment waren

*Sphagnum fallax* und nackte Torfflächen schwache Quellen für Kohlenstoff (Tabelle 2). Allerdings hat Methan einen 21x höheren Treibhauseffekt als CO<sub>2</sub>; wenn man dies in die Berechnungen mit einbezieht so sollten die Wasserstände zwischen 6 und 10 cm unter der Oberfläche liegen.

### *Bioindikation*

Die Ergebnisse aus RECIPE zeigen, dass die Art und Qualität der organischen Substanz als auch die mikrobielle Aktivität sehr stark von der Vegetation und der Mikrotopographie abhängen (Laggoun-Déforge et al., 2007). Änderungen in den Mikrobengemeinschaften im Laufe der Regeneration hängen stark von den gemessenen C/N Verhältnissen ab und der Menge und Qualität der gelösten organischen Substanz. Daher kann postuliert werden, dass vor allem die Fraktion des organischen Kohlenstoffs maßgeblich mikrobielle Aktivitäten steuert (Artz et al., 2007; Francez et al., 2007).

Die Dynamik der mikrobiellen Biomasse über eine Chronosequenz von 55 Jahren (als ein Mittel aller in RECIPE untersuchten Flächen) zeigt die schwierigen Eigenschaften für Mikroorganismen im Bezug auf die Besiedelung von nacktem Torfflächen. Wir beobachteten eine lag Phase von fast 10 Jahren bevor nennenswerte Zuwächse an mikrobieller Biomasse gemessen wurden. Durch die Kolonisierung der Flächen mit Pflanzen kommt es zu einer deutlichen Stimulierung der mikrobiellen Biomasse zu den Zwischenstadien (10 – 40 Jahre nach Ende des Abbaus von Torf). In einer Studie in Bois-des-Bel (Québec, Kanada), in der die mikrobielle Wiederbesiedelung in künstlich angelegten Flächen untersucht wurde, konnten deutlich schneller Zuwächse an mikrobieller Biomasse gezeigt werden, allerdings setzte auch der Pflanzenbewuchs deutlich früher ein. Nach nur 5 Jahren konnten Werte von ungefähr 2300 µg C g<sup>-1</sup> gemessen werden; diese Werte konnten im Rahmen von RECIPE frühestens nach 20 Jahren Regeneration erreicht werden. (Figur 3).

Diese Ergebnisse deuten auch darauf hin, dass Mikroorganismen und die Qualität der gelösten organischen Substanz des Torfs eventuell als Bioindikator für die Regeneration verwendet werden könnten (Siegenthaler et al., 2007).

### *Auswirkung von Global Change auf die Regeneration von Trofabbauhalden*

An dem Schweizer Standort hat sich in weniger als 50 Jahren eine spontane sekundäre Vegetation entwickelt, die von *Sphagnum fallax* dominiert wird. Es sieht sehr wahrscheinlich aus, daß dieser Prozeß zu einer nachhaltigen Entwicklung einer typischen Sumpfvegetation führt. Allerdings hängt die Entwicklung von einer spärlichen Vegetation zu einer typischen diversen Torfflora auch von klimatischen Gegebenheiten ab. Das Potential, Kohlenstoff in den Übergangsstadien zu speichern wird durch die globale Erwärmung negativ beeinflusst werden, im gegensatz dazu könnten durch den globalen Wandel längerfristige Regenerationsmassnahmen resilienter sein (Samaritani et al., 2007).

### *Einfluss von Regenerationsmassnahmen auf sozioökonomische Aspekte*

Das RECIPE Projekt hat gezeigt, dass es in Europa im Bezug auf Torfabbau und Regenerations- bzw Konservierungsmassnahmen sehr unterschiedliche Ansätze gibt. In

vielen gebieten ist der Abbau von Torf immer noch ein wichtiger Erwerbsfaktor. Allerdings ist zunehmend zu beobachten dass auch in diesen Gebieten ein Umdenkungsprozess stattfindet und teilweise der Druck zur Konservierung der Natur deutlich zunimmt (Schwarz et al., 2007)

### **Zusammenfassung**

1. Fast jedes Torfabbaugebiet ist einzigartig und muss daher auch einzeln im Bezug auf Regeneration bewertet werden
2. Sogar innerhalb eines Gebietes können Veränderungen auftreten, die eine differenzierte Betrachtung erfordern.
3. Die hydrologischen Bedingungen sind die Haupttreiber für die Regeneration innerhalb der Flächen
4. Der Bewuchs der Flächen durch Sphagnum Moose ist nicht notwendigerweise eine Anzeiger für die Senkenfunktion für Kohlenstoff von Torfgebieten.
5. Gräser können ggf. im Bezug auf die Kohlenstoffsinkenfunktion von Torfgebieten wirkungsvoller sein.
6. Die Sequestrierung von Kohlenstoff kann während der Zwischenstadien der Regeneration am größten sein.
7. Das optimale Wasserniveau im Bezug auf eine Reduktion von Global Warming liegt vermutlich 6 – 10 cm unterhalb der Torfoberfläche.
8. Mikrobielle Biomasse und mikrobielle Aktivität können ebenso wie die Qualität und Quantität des gelösten org. Kohlestoffs wichtige Indikatoren für den Erfolg einer Regeneration von Torfabbaugebieten darstellen.
9. Die globale Erwärmung kann sich auf den Erfolg der Regeneration auswirken, besonders in den Zwischenstadien.
10. Wiederherstellungsoptionen werden auch durch sozioökonomische Faktoren beeinflusst.



Tabelle 1. Zusammenfassende Beschreibung der fünf Standorte, mit den entsprechenden Start- und Endpunktwerten, wie sie im EU Projekt „BRIDGE“ definiert wurden. An einigen Stellen wurden Anmerkungen hinzugefügt die einer weiteren Diskussion bedürfen.

Peatland location	Location (Lat., Long., elevation)	Site code	Dominant plants	Time since abandonment (y)	Starting conditions according to BRIDGE typology	Notes starting conditions	End-point options according to BRIDGE	Notes on succession from BRIDGE	Additional points from RECIPE
Aitoneva, Finland	62°12'N, 23°18'E, 156m	A	<i>Eriophorum vaginatum</i> wet	10	Fii		1, 2 or 7 unless hydrology unfavourable		
		B	<i>Eriophorum vaginatum</i> dry	10	A		ditto		C-sequestration function may decline with time
		C	<i>Carex rostrata</i>	10	Fii		ditto		
		D	<i>Sphagnum fallax</i>	10	Fii		ditto		
		E	Bare peat, no vegetation	10	Fii (or Bii?)		ditto		
Middlemuir Moss, Scotland, United Kingdom	57°36'N, 2°9'W, 110m	A	Mostly bare, isolated <i>E. vaginatum</i> , <i>C. introflexus</i>	<5	A		1 or 2(?) unless hydrology unfavourable		
		B	<i>S. cuspidatum</i> , <i>S. auriculatum</i> , <i>E. vaginatum</i>	5-10	A		ditto		Spontaneous colonization has followed abandonment but <i>Sphagnum</i> has only grown in lower (wetter) areas and when preceded by 'nurse' species, mainly <i>Eriophorum</i> . New peat has formed at 50 year site but C sequestration status is equivocal.
		C	<i>E. angustifolium</i> , <i>S. auriculatum</i> , <i>S. cuspidatum</i>	5-10	A		ditto		
		D	<i>Sphagnum spp.</i> , <i>vulgaris</i> , <i>Deschampsia flexuosa</i>	>50	Bi		ditto		
Chaux d' Abel, Jura Mountains, Switzerland	47°10'N, 6°57'E, 1040m	A	<i>S. fallax</i> , <i>P. strictum</i> , <i>P. commune</i> , <i>Eriophorum spp</i>	29+	C, or Fii	(or Bii if bog peat remained)	3 or 6 (1 or 2 if starting condition was Bii)	From point 3 (poor fen) slow evolution towards ombrotrophy	After less than 50 years, secondary succession has led to a poor fen strongly dominated by <i>Sphagnum fallax</i> . It appears

							possible if left unchecked	very likely that this process will lead to a true raised bog community. However, succession, and therefore the possible evolution of point 3 (poor-fen) to 1 or 2 (true bog community) may depend on climate. Peat OM and botanical composition, and microbial indicators validate the evolution inferred from surface vegetation and microtopography.
B	Same species, intermediate between A and C	42-43						
C	<i>S. fallax</i> , <i>P. strictum</i> , <i>E. vaginatum</i> , <i>Vaccinium</i> spp.	52-58	Bii (or Bi)			Microscopic analysis of peat revealed that the old peat in site C was bog peat	1 or 2	
A	Bare peat	4	A				1 or 2, unless hydrology unfavourable	
B	<i>Sphagnum fallax</i> , <i>S. rubellum</i> , <i>E. angustifolium</i> and <i>C. vulgaris</i> (variable)	22	A				ditto	
C	<i>S. fallax</i> , <i>S. rubellum</i> , <i>E. vaginatum</i> , <i>Calluna vulgaris</i>	28-40	A				ditto	
Baupte, France	Le Russey, Jura Mountains, France	47°10'N, 6°47'E, 867m						
A	Bare peat, no vegetation	5-10	Fii			In this case topography would suggest starting condition Fii	3, 4, (5), 6, (8)	Depending of the peat quality and the degree of disturbance (drainage, compaction effects) and the location on morphology of pools
B	<i>E. angustifolium</i> , <i>Hypnaceae</i>	5-10	Fii			ditto	mainly 3, 5	Baupte peatland has been strongly exploited as milled peat. Harvesting stopped in 2005. Large areas of bare peat are flooded and watering is managed. <i>Eriophorum angustifolium</i> colonized the bare peat sporadically early after cessation of harvest, but reeds ( <i>Phragmites</i> ) now colonize more and more of the pool edges.

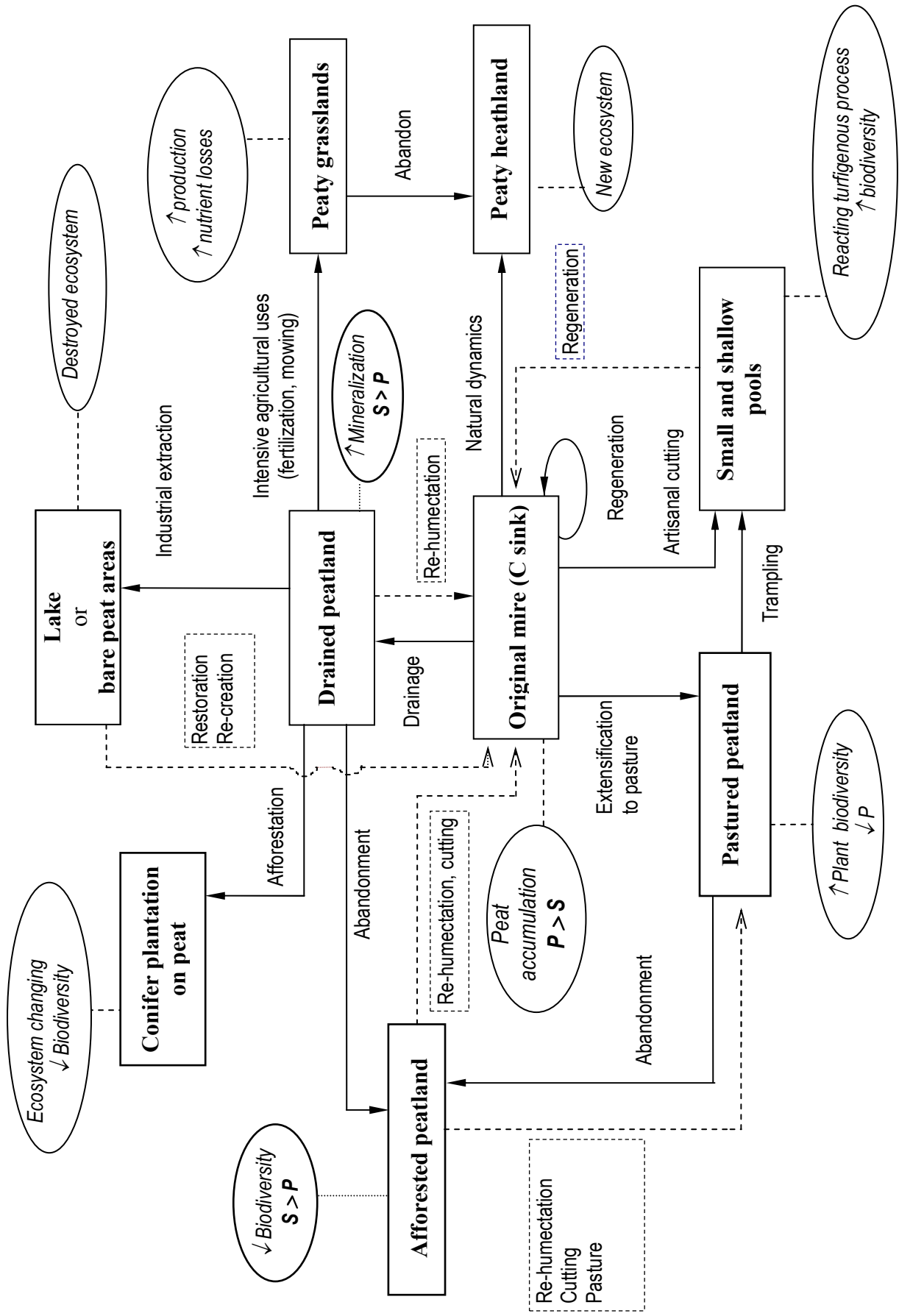
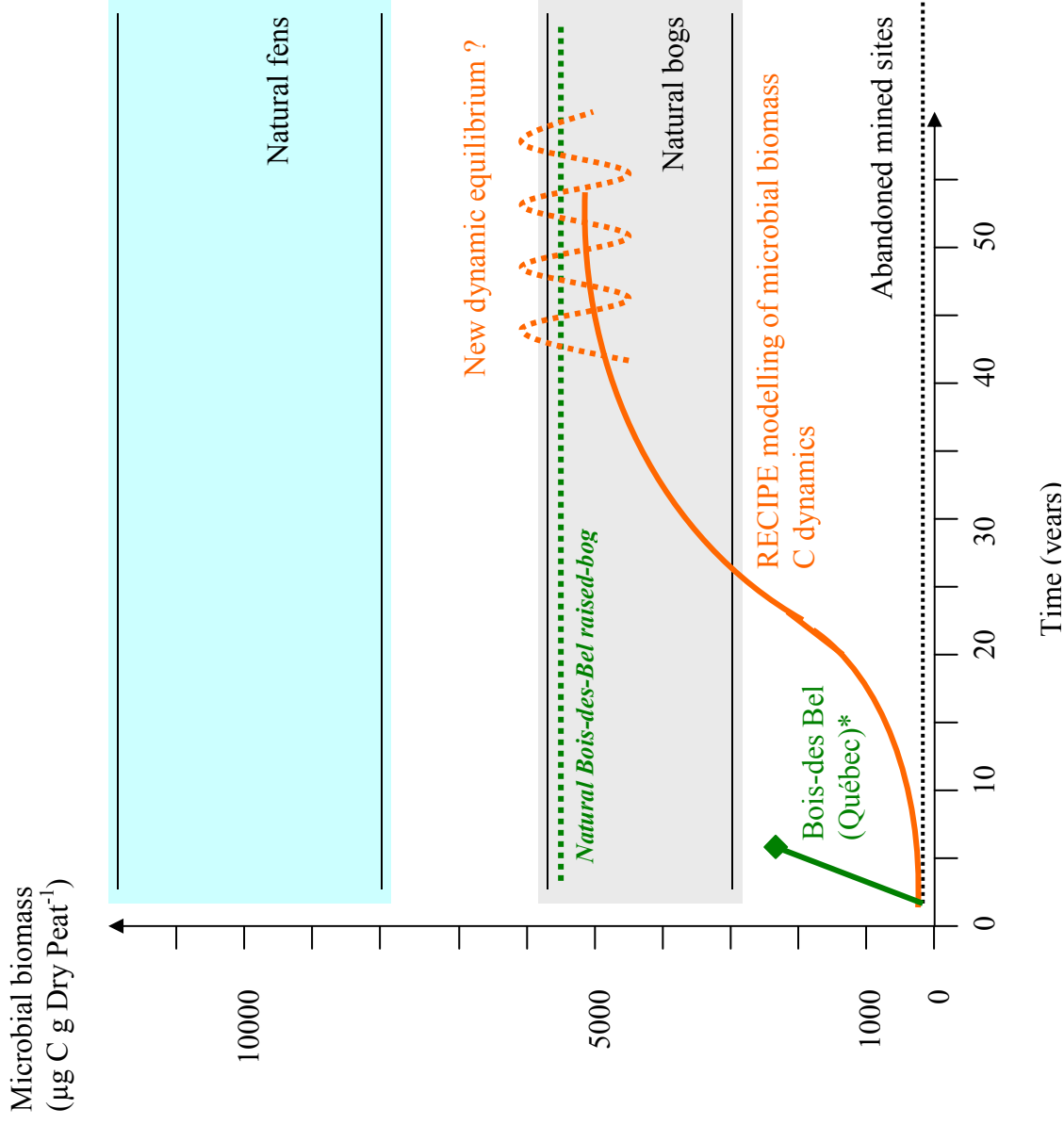


Tabelle 1. Haupteffekte von Nutzungsänderungen auf die Kohlenstoffsequestrierung von europ. Torfböden (S=source, P=sink; zunehmender bzw abnehmender Prozess) (nach Francez, 2000, modifiziert; Schwarz et al., 2007).



Time (years)

Tabelle 2. Dynamik der mikrobiellen Biomasse über eine Chronosequenz von 55 Jahren der Regeneration von Torfabbaustandorten. Daten über die mikrobielle Biomasse in natürlichen Sümpfen wurden der Literatur entnommen. Diese Werte könnten als Referenz dienen um den Einfluss verschiedener Regenerationsmaßnahmen zu bewerten. \* In Bois-DES-Bel war die mikrobielle Biomasse 5800  $\mu\text{g C g DP-1}$  an den Referenzflächen und erreichte 2310  $\mu\text{g C g DP-1}$  nur einige Jahre, nach dem Beginn der Regenerationsmaßnahmen auf den ehemaligen Abbauflächen

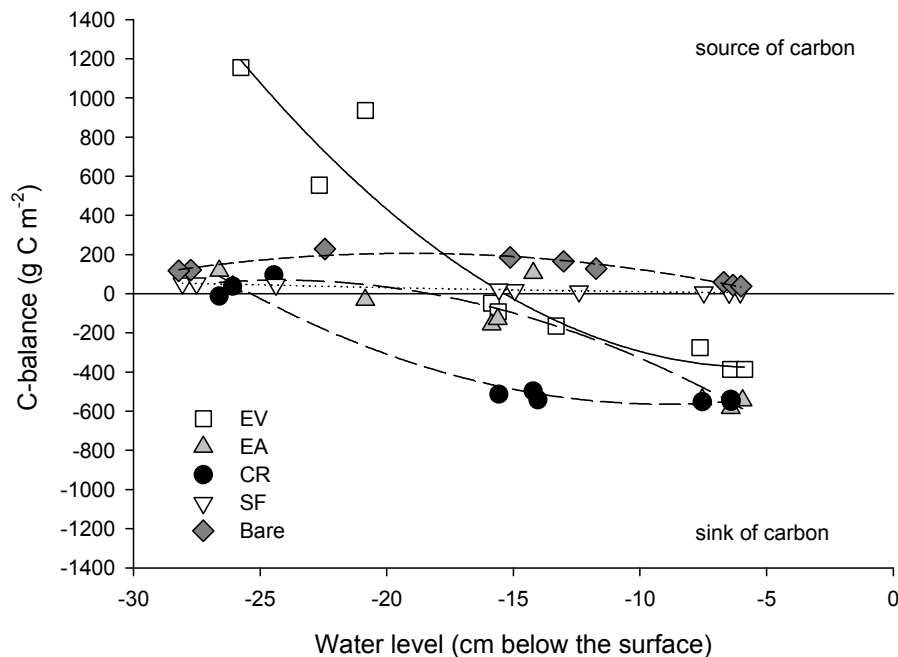


Tabelle 3. Saisonale Kohlenstoffbilanz (Juni-September) von drei Grassarten, Sphagnum Moos und von bloßen Torfflächen an unterschiedlichen Wasserspiegeln. Die Akronyme für Sorten sind: EV, *Eriophorum vaginatum*; EA, *Eriophorum angustifolium*; CR, *Carex rostrata*; SF, *Sphagnum fallax*; Bare, bloßer Torf.

#### Literatur:

Andersen, R., Francez, A.J., Rochefort, L., 2006. The physicochemical and microbiological status of a restored bog in Quebec: Identification of relevant criteria to monitor success. *Soil Biology & Biochemistry* 38, 1375-1387.

Artz, R.R.E., Chapman, S.J., Siegenthaler, A., Bortoluzzi, E., Yli-Petäys, M., Francez, A.-J., 2007. Functional microbial diversity in cutover peatlands responds to restoration and is directed by labile carbon. *Journal of Applied Ecology* (submitted).

Blankenburg, J., Tonniss, W.J., 2004. Guidelines for wetland restoration of peat cutting areas. Results of the BRIDGE-PROJECT. Bremen.

Bortoluzzi, E., Epron, D., Siegenthaler, A., Gilbert, D., Buttler, A., 2006. Carbon balance of a European mountain bog at contrasting stages of regeneration. *New Phytologist* 172, 708-718.

Francez, A.-J., 2000. La dynamique du carbone dans les tourbières à Sphaignes, de la sphaigne à l'effet de serre. *L'Année biologique* 39, 205-270.

Francez, A.-J., Josselin, N., Chapman, S.J., Artz, R.R.E., Laggoun-Défarge, F., Buttler, A., Gattinger, A., Gilbert, B., Siegenthaler, A., Yli-Petäys, M., Vasander, H., 2007. Microbial

carbon and nitrogen in abandoned peatlands after peat extraction: patterns of response to regeneration age and plant community at a European scale. *Journal of Applied Ecology* (submitted).

Kivimäki, S.K., Yli-Petäys, M., Tuittila, E.S., 2007. Carbon sink function of sedge and *Sphagnum* patches in a restored cut-away peatland: increased functional diversity leads to higher production? *Journal of Applied Ecology* (submitted).

Laggoun-Défarge, F., Mitchell, E.A.D., Gilbert, D., Disnar, J.R., Comont, L., Warner, B.G., Buttler, A., 2007. Assessing cutover bog regeneration by combined analyses of organic matter properties, bacteria, and testate amoebae (Protista). *Journal of Applied Ecology* (submitted).

Samaritani, E., Siegenthaler, A., Yli-Petäys, M., Buttler, A., Christin, P.-A., Mitchell, E.A.D., 2007. Are Sphagnum-dominated regenerating cutover bogs carbon sinks or not? A study in the Swiss Jura Mountains with predictions of climate change impacts on the C balance. *Journal of Applied Ecology* (submitted).

Schwarz, G., Froidevaux, V., Grosvernier, P., Rosselli, W., Tako, A., Vasander, H., Gattinger, A., Gilbert, D., Pheulpin, V.. Towards sustainable re-use options of rehabilitated peatlands in Europe - a comparative analysis of socio-economic implications and the impacts on the C balance. 2007.

Siegenthaler, A., Gilbert, D., Mitchell, E.A.D., Gauthier, E., Steinmann, P., Artz, R.R.E., Yli-Petäys, M., Francez, A.-J., Comont, L., Laggoun-Défarge, F., Buttler, A., 2007. Surface microbial community structure along regenerating peatlands across Europe. *Journal of Applied Ecology* (in preparation).

Stén, C.-G., Toivonen, T.. Kihniössä tutkitut suot ja niiden turvevarat, English summary: The peat resources and their potential use in Kihniö, Western Finland. 16. 1990. Espoo, Finland, Geological Survey of Finland. Turvetutkimus, turveraportti 236.

Yli-Petäys, M., Laine, J., Vasander, H., Tuittila, E.S., 2007. CO<sub>2</sub>-exchange of re-vegetated cut-away peatland five decades after abandonment. *Boreal Environment Research* (in press).