

Inter- und transdisziplinäre Projektarbeit Nachhaltige Entwicklung

## Moorhabitats der UNESCO Biosphäre Entlebuch im Wandel des Klimas



*Abbildung 1: Moorlandschaft klein Entlen (Fuchserenmoos)*

Frühjahrssemester 2016  
Universität Bern

Chantal Schmidt, Geographie, 13-129-192

Isabelle Bertschinger, Englische Sprach- und Literaturwissenschaften, 13-126-040

Patrik Frei, Englische Sprach- und Literaturwissenschaften, 13-126-065

Jakob Schaerer, Computer Science, 13-123-609

Severin Zumbrunn, Computer Science, 13-117-346

Prof. Dr. Thomas Hammer

Prof. Dr. Ulf Liebe

# 1. Inhaltsverzeichnis

<b>1. INHALTSVERZEICHNIS</b>	<b>2</b>
<b>2. ABBILDUNGSVERZEICHNIS:</b>	<b>4</b>
<b>3. ABSTRACT</b>	<b>5</b>
<b>4. EINLEITUNG</b>	<b>6</b>
AUSGANGSLAGE UND PROBLEMSTELLUNG	6
STAND DER FORSCHUNG UND FORSCHUNGSLÜCKE	7
ZIELE	7
UNSER UNTERSUCHUNGSGEBIET - DIE UNESCO BIOSPHÄRE ENTLEBUCH (UBE)	8
<b>5. METHODISCHES DESIGN</b>	<b>10</b>
<b>6. SYSTEMTHEORIE</b>	<b>11</b>
<b>7. MOORLANDSCHAFTEN</b>	<b>12</b>
<b>8. HOCHMOORE</b>	<b>13</b>
DEFINITION DER HOCHMOORE	13
VEGETATION DER HOCHMOORE	14
HOCHMOORINTERNE PROZESSE	15
<b>9. FLACHMOORE</b>	<b>17</b>
ABIOTISCHE BEDINGUNGEN	17
DEFINITION DER FLACHMOORE	17
FLACHMOORINTERNE PROZESSE	18
KOMPLEXITÄT	21
<b>10. KLIMAWANDEL IN DER UBE</b>	<b>22</b>
<b>11. RESULTATE</b>	<b>25</b>
MOTIVATION	25
DAS HOCHMOOR-MODELL	25
DAS FLACHMOOR-MODELL	26
AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS	27
KLIMAWANDEL IM HOCHMOOR	27
KLIMAWANDEL IM FLACHMOOR	27
FAZIT	28
<b>12. DER ÖSL ANSATZ</b>	<b>29</b>
BEGRÜNDUNG FÜR DEN ERHALT VON INTAKTEN MOORHABITATEN	29
PRIORISIERUNG DER MOORHABITATE, WELCHE AUFGEWERTET WERDEN SOLLTEN	31
EXPERTENMEINUNG ZUM PRIORISIERUNGSANSATZ AUS DER PERSPEKTIVE NE	32
KONKRETE AUFWERTUNGS- UND ANPASSUNGSMASSNAHMEN	33
EINFÜHRUNG: DIE WICHTIGKEIT UND DER WIRKUNGSGRAD VON MOORREGENERATIONEN	33
DIE WIEDERVERNÄSSUNG VON HOCHMOOREN	33
DAS ENTFERNEN VON GEHÖLZWUCHS	34

<b><u>13.</u></b>	<b><u>MONITORING</u></b>	<b><u>35</u></b>
	METHODEN	36
	MESSBARE VEKTOREN	36
	ANWENDUNG	38
<b><u>14.</u></b>	<b><u>BEITRAG ZU EINER NACHHALTIGEN ENTWICKLUNG</u></b>	<b><u>40</u></b>
<b><u>15.</u></b>	<b><u>METHODENKRITIK</u></b>	<b><u>41</u></b>
	ANWENDUNG DER SYSTEMTHEORIE	41
	DAS EXPERTENINTERVIEW	41
<b><u>16.</u></b>	<b><u>INTERDISZIPLINARITÄT UND DIE ZUSAMMENARBEIT IN DER GRUPPE</u></b>	<b><u>42</u></b>
	DIE PERSONEN UND IHRE DISZIPLINÄREN BEITRÄGE	42
	HERAUSFORDERUNGEN IN DER INTERDISZIPLINÄREN ZUSAMMENARBEIT	42
	GEWONNENE ERKENNTNISSE AUS DER INTERDISZIPLINÄREN ZUSAMMENARBEIT FÜR ZUKÜNFTIGE ARBEITEN	43
<b><u>17.</u></b>	<b><u>DISKUSSION</u></b>	<b><u>44</u></b>
<b><u>18.</u></b>	<b><u>AUSBLICK</u></b>	<b><u>45</u></b>
<b><u>19.</u></b>	<b><u>LITERATURVERZEICHNIS</u></b>	<b><u>46</u></b>
<b><u>20.</u></b>	<b><u>ABBILDUNGSQUELLENVERZEICHNIS</u></b>	<b><u>49</u></b>
<b><u>21.</u></b>	<b><u>ANHANG A: LISTE DER GEFÄSSPFLANZEN DER HOCHMOORE</u></b>	<b><u>51</u></b>
<b><u>22.</u></b>	<b><u>ANHANG B: LISTE DER SPOREN- UND BLÜTENPFLANZEN DER FLACHMOORE</u></b>	<b><u>52</u></b>
<b><u>23.</u></b>	<b><u>ANHANG C: TABELLE ZU DEN ÖSL NACH STAUB ET AL. (2011: 82-85) MIT DAZUGEHÖRIGEN INDIKATOREN PLUS KOMMENTAR</u></b>	<b><u>57</u></b>
<b><u>24.</u></b>	<b><u>ANHANG D: INHALTSGERECHTE ZUSAMMENFASSUNG ZUM EXPERTENINTERVIEW MIT HERRN PETER STAUBLI THEMA: MOORHABITATE DER UNESCO BIOSPHÄRE ENTLEBUCH IM WANDEL DES KLIMAS</u></b>	<b><u>59</u></b>
	EINLEITUNG: EISBRECHERFRAGE	59
	TEIL 1: MOORHABITATE UND KLIMABEDINGTE SCHLÜSSELPARAMETER	59
	TEIL 2: KLIMA UND ÄNDERUNGEN KLIMABEDINGTER SCHLÜSSELPARAMETER AUFGRUND DES KLIMAWANDELS	61
	TEIL 3: AUFWERTUNGSMASSNAHMEN VON MOORHABITATEN IN DER UBE	63

## 2. Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Moorlandschaft klein Entlen (Fuchserenmoos).....	1
Abbildung 2: alte Torfstichkante in der Moorlandschaft klein Entlen.....	6
Abbildung 3: Karte UNESCO Biosphäre Entlebuch.....	9
Abbildung 4: Moorlandschaft klein Entlen (Fuchserenmoos).....	12
Abbildung 5: Hochmoor Mettilimoos.....	13
Abbildung 6: scheidiges Wollgras ( <i>Eriophorum Vaginatum</i> ) .....	14
Abbildung 7: rundblättriger Sonnentau ( <i>Drosera rotundifolia</i> ).....	14
Abbildung 8: Moosbeere ( <i>Vaccinium Oxycoccus</i> ).....	14
Abbildung 9: Schema Hochmooraufbau .....	16
Abbildung 10: Vegetationstypen und Entstehung von Flachmooren .....	18
Abbildung 11: Hochmoorperlmutterfalter.....	19
Abbildung 12: Landwirtschaftlich extensiv genutzte Flächen – Flachmoor Nesslerbrunnen Boden .....	20
Abbildung 13: Treibhausgasemissionen und Temperaturänderungen bis zum Ende des Jahrhunderts für die drei Emissionsszenarien A2, A1B und RCP3PD.....	22
Abbildung 14: Sommerniederschlagsänderungen in der Schweiz.....	23
Abbildung 15: Abnahme des Sommerniederschlags in der UBE .....	24
Abbildung 16: Modell Hochmoor mit Auswirkungen des Klimawandels.....	26
Abbildung 17: Modell Flachmoor mit Auswirkungen des Klimawandels .....	26
Abbildung 18: Das Doughnutmodell nach Raworth (2012) .....	30
Abbildung 19: Vergleich der ÖSL zweier Moore .....	32

### 3. Abstract

Diese inter- und transdisziplinäre Projektarbeit befasst sich mit den Auswirkungen des Klimawandels auf die UNESCO Biosphäre Entlebuch (UBE). Sie gibt einen Überblick über die vorhandenen Moortypen, den darin befindlichen Pflanzenarten und beleuchtet verschiedenste biologische und hydrologische Prozesse, die im Inneren der Moore ablaufen. Diese wurden im Rahmen der Arbeit genauer untersucht und in einem systemtheoretischen Modell festgehalten. Mithilfe des Modells wurden dann Rückschlüsse auf die Wirkweise der Moore in einem durch den Klimawandel veränderten Umfeld gezogen. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass Hochmoore durch den Klimawandel in Zukunft vor grosse Probleme gestellt werden. Diese Veränderungen sind jedoch nur schwer vorhersehbar, geschweige denn quantifizierbar aufgrund der hochkomplexen Prozesssysteme. Flachmoore dagegen, werden zwar ebenfalls vom Klimawandel beeinflusst werden, jedoch wird erwartet, dass diese stärker von Substitution der Fauna und Flora geprägt sind. Weiter wurde aufgezeigt, weshalb die Moorhabitats in der UBE erhaltenswert sind und nach welchen Kriterien Moore für die Erhaltung priorisiert werden können.

In einem letzten Schritt wurde aufgezeigt, welche Parameter in der Realität für ein Monitoring geeignet sind um Veränderungen rechtzeitig erkennen zu können und mit welchen Massnahmen der Einfluss des Klimawandels abgeschwächt oder gar verhindert werden kann.

## 4. Einleitung

### Ausgangslage und Problemstellung

Im Jahr 1987 wurde die Rothenthurminitiative zum Schutz der Moore durch die Schweizer Stimmbewölkerung angenommen (KLAUS et al. 2007). Trotz diesem rechtlichen Rahmen hat die Erfolgskontrolle Moorschutz gezeigt, dass der Zustand der Schweizer Moorhabitate besorgniserregend ist und diese durch Austrocknung und Anstieg des Nährstoffgehalts ihre moorcharakteristischen Eigenschaften verlieren (KLAUS et al. 2007). Dies, obwohl die Fläche der Moore in etwa gleichgeblieben ist (KLAUS et al. 2007). Die Erklärung dieses im ersten Moment paradox erscheinenden Faktums ist in der Abnahme der Fläche der reinen Hochmoore sowie der torfbildenden Flachmoore begründet. Dies will heissen, dass viele Moorhabitate zwar immer noch der Definition nach Moorhabitate sind, ihre Qualität jedoch durch bereits erwähnte Einschnitte abnimmt (KLAUS et al. 2007). Dieser Rückgang der Moorfläche ist vorwiegend durch anthropogene Eingriffe wie Drainagegräben und Düngereintrag begründet (KLAUS et al. 2007). Zusätzlich zu diesen Altlasten stellt sich nun die Frage, welche Auswirkungen der Klimawandel spezifisch auf die Moorhabitate in der UNESCO Biosphäre Entlebuch (UBE) hat. Insbesondere, da prognostizierte höhere Temperaturen und weniger Sommerniederschläge (MeteoSchweiz 2013) in der Theorie einen positiven Einfluss auf die Verdunstung haben und die Austrocknungsproblematik über die höhere Evapotranspiration damit zusätzlich verschärfen würden. Die Problematik besteht nun darin, welche qualitativen Auswirkungen der Klimawandel tatsächlich in der UBE auf Hoch- und Flachmoorhabitate nationaler Bedeutung haben wird und zusätzlich unter welchen Bedingungen welche Anpassungsmassnahmen an den Klimawandel an welchen Moorhabitaten vollzogen werden sollen.



*Abbildung 2: alte Torfstichkante in der Moorlandschaft klein Entlen*

## Stand der Forschung und Forschungslücke

Das *Handbuch Moorschutz in der Schweiz* (BUWAL 1992) liefert detaillierte Grundlageninformationen zur Funktionsweise intakter Moorhabitats. Zur Aufarbeitung der Auswirkungen des Klimawandels stehen zusätzlich Publikationen betreffend Klimawandelprognosen zur Verfügung. Der MeteoSchweiz Bericht (MeteoSchweiz 2013) ist derjenige, der die für das Untersuchungsgebiet UBE höchstmögliche Auflösung für die Temperatur zur Verfügung stellt, weswegen dieser auch verwendet wird. Für eine bessere Auflösung des Niederschlags kann zudem auf die Resultate des CCHydro Projektes (BAFU 2012) zurückgegriffen werden. Zudem konnten wir auf bereits bestehende Literatur zu Auswirkungen des Klimawandels auf Moorhabitats im Ausland zurückgreifen, was uns insbesondere beim Verständnis der moorinternen Prozesse von Nutzen war. Die Forschungslücke, welche diese Projektarbeit zu schliessen versucht, ist nun einerseits dadurch gegeben, die tatsächlichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Moorhabitats nationaler Bedeutung in der UBE qualitativ zu beschreiben. Andererseits sollen auch Anpassungsmassnahmen aus der Perspektive Nachhaltige Entwicklung formuliert werden und unter welchen Rahmenbedingungen diese an welchen Moorhabitats angewendet werden sollen.

## Ziele

Aktuell befindet sich der Klimawandel stark im wissenschaftlichen Diskurs. In vielen Publikationen werden immer neue Implikationen die durch die klimatischen Änderungen induziert werden aufgedeckt. Dazu zählen auch viele Auswirkungen die der Klimawandel auf Moore haben kann. Dies sind jedoch internationale Publikationen, die sich meist auf die grossen Moorhabitats in Kanada, Russland und England beziehen.

Im Auftrag der UNESCO Biosphäre Entlebuch werden im Rahmen dieser inter- und transdisziplinären Projektarbeit mögliche klimatische Änderungen in der Region der UBE und ihre Auswirkungen auf die lokalen Moorhabitats untersucht und dadurch die genannten Forschungslücken geschlossen. Um diese Ziele genauer zu spezifizieren wurden die folgenden Ziele formuliert:

1. Basierend auf den Schlüsselparametern von intakten Moorhabitats und den CH2011-Klimaszenarien A2, A1B und RCP3PD (MeteoSchweiz 2013) sollen Vorhersagen über die Auswirkungen des Klimawandels auf die Moorhabitats von nationaler Bedeutung in der UNESCO Biosphäre Entlebuch gemacht werden. (Systemwissen)
2. Aus Sicht der nachhaltigen Entwicklung sollen Vorschläge und konkrete Aufwertungs- und Anpassungsmassnahmen entgegen der negativen Auswirkungen des Klimawandels auf die Moorhabitats von nationaler Bedeutung der UBE ausgearbeitet werden. (Transformationswissen)
  - a. Sofortmassnahmen / Langfristige Projekte
  - b. Ausarbeiten eines Monitoring Tools anhand von systemrelevanten Eigenschaften

Basierend auf diesen Zielen wurden die folgenden Forschungsfragen ausgearbeitet:

1. Wie wirken sich die durch die Klimaszenarien A2, A1B und RCP3PD prognostizierten Klimaänderungen auf die Moorhabitats von nationaler Bedeutung in der UBE aus?

- a. Wie funktioniert ein intaktes Moor und welche Prozesse laufen in einem intakten Moor ab?
  - b. Wie könnte sich das Klima in der UBE, gestützt auf Klimaszenarien des Alpennordhangs, verändern?
  - c. Welche Auswirkungen haben die verschiedenen CH2011-Klimaszenarien A2, A1B und RCP3PD auf die systeminternen Prozesse von intakten Moorhabitaten? Ist es sinnvoll ein quantitatives Modell zur Vorhersage von Änderungen zu erstellen oder überwiegen die Vorteile eines qualitativen Modelles?
2. Welche kurzfristigen und langfristigen Anpassungs- und Aufwertungsmassnahmen können bei den Moorhabitaten von nationaler Bedeutung der UBE ergriffen werden, um die negativen Auswirkungen des Klimawandels zu minimieren?
- a. Weshalb sollten die Moorhabitats möglichst intakt erhalten bleiben und bei welchen Moorhabitats von nationaler Bedeutung aus dem UBE sind aufwertende Massnahmen sinnvoll?
  - b. Können die in der vorhandenen Literatur beschriebenen Aufwertungsmassnahmen auch entgegen klimabedingter Veränderungen verwendet werden?
  - c. Welche Parameter des System Moor lassen sich Monitoren und wann ist ein Monitoring sinnvoll?

### Unser Untersuchungsgebiet - Die UNESCO Biosphäre Entlebuch (UBE)

Da der Anstoss für dieses Projekt seitens der UNESCO Biosphäre Entlebuch (UBE) kam, macht es Sinn, die Relevanz der Moorhabitats sowie den Bezug zur Nachhaltigen Entwicklung für diese Region kurz zu erläutern. Die UBE liegt im südwestlichen Teil des Kantons Luzern (Abbildung 3) und das Hauptziel dieses Biosphärenreservats ist durch den Schutz von Torflandschaften, also vor allem Hochmooren und Flachmooren, gegeben (COCH 2008). Verglichen mit dem Rest der Schweiz ist die Dichte und das Ausmass an Hochmooren, Flachmooren sowie weiteren Moorlandschaften in der UBE aussergewöhnlich hoch, 20% der mehr oder weniger intakten Hochmoorflächen befinden sich beispielsweise ausschliesslich auf dem Gemeindegebiet von Flühli (GRÜNIG 1994). Insgesamt vier Moorlandschaften befinden sich ganz oder teilweise im Gebiet der UBE (UBE 2016). Die Fläche der 46 Hoch- und Übergansmoore sowie der 60 Flachmoore beträgt 2'000 Hektare, was rund einen einem Viertel der Fläche der gesamten UBE entspricht (ebd.). Um die Zielsetzung des Moorschutzes zu erreichen, orientiert sich die UBE als erstes Biosphärenreservat der Schweiz aktiv an Nachhaltigkeitszielen, was sich beispielsweise dadurch ausdrückt, dass die Ziele nachhaltiger ökonomischer Lebensgrundlagen sowie nachhaltiger Landschaften durch eine Partizipation und aktivem Eintreten möglichst aller Akteure erreicht werden soll (COCH 2008). Dieses Eintreten aller Akteure für die Biosphärenreservatsidee kommt beispielsweise auch darin zum Ausdruck, dass die UBE im Jahr 2000 als weltweit erstes Biosphärenreservat durch einen Volksentscheid gegründet wurde (COCH 2008). An dieser Abstimmung haben die

Stimmberechtigten der acht beteiligten Gemeinden die Idee des Biosphärenreservats mit einer klaren Mehrheit von 94% gebilligt (COCH 2008). Doch auch heute noch werden die Meinungen möglichst aller Akteure in Entscheidungsprozesse einbezogen, was sich etwa darin äussert, dass interessierte Bürger sich in fachspezifischen Foren selbst organisieren können, um zukunftsorientierte Ideen zu entwickeln (COCH 2008). Diese Ideen werden durch den sogenannten (demokratisch gewählten) Koordinationsrat gesammelt und in das Biosphärenmanagement eingebracht, wo auch der Gemeindeverband der beteiligten Gemeinschaften seinen Einfluss üben kann (COCH 2008). Das partizipative Modell, welches sich am Nachhaltigkeitsgedanken orientiert, hat jedoch auch seine Nachteile, wie der Verweis auf die zeitaufwendigere Konsensfindung sowie auf unvorhersehbare Entscheidungsprozesse zum Ausdruck bringt.



Abbildung 3: Karte UNESCO Biosphäre Entlebuch

## 5. Methodisches Design

Als methodisches Design soll auf das Mixed Method Design zurückgegriffen werden. Dieses sieht eine Verbindung von quantitativen und qualitativen Methoden vor (JOHNSON und ONWUEGBUZIE 2004). Dadurch können wir vorhandene Literatur als Basis verwenden und mithilfe von einem Experteninterview das erlangte Wissen kontextualisieren.

Anhand einer breit abgestützten *Literaturrecherche* und *Analyse* (Sekundärdaten) sollen in einem ersten Schritt die gestellten Fragestellungen so weit als möglich beantwortet werden. Die erste klimatologisch ausgerichtete Fragestellung basiert dabei einerseits auf vorhandenen quantitativen Daten zum Klimawandel, welche auf den neuesten Klimamodellen basieren. Andererseits wurde eher qualitativ ausgerichtete Literatur zu den Funktionsprinzipien der Moorhabitats beizugezogen. Damit diese Daten nun in Verbindung gebracht werden konnten, wurden zwei Modelle erstellt, welche die wichtigsten Prozesse von Hochmoorhabitaten sowie von Flachmoorhabitaten enthalten. Anhand dieser Modelle sowie bereits vorhandener Literatur konnten dann die Einflüsse des Klimawandels auf die Moorhabitats qualitativ abgeschätzt werden (weiterführende Informationen zum Modell in den Kapiteln Systemtheorie und Resultate). Die zweite, stärker qualitativ ausgerichtete Fragestellung nimmt zu weiterer Literatur Bezug auf die in der ersten Fragestellung erarbeiteten Inhalte. Für die erste Teilfrage wieso Moore erhaltenswert sind und wie eine Priorisierung bei der Aufwertung ausgearbeitet werden kann, wird der ÖSL-Ansatz von Staub et al. (2011) auf den für unsere Arbeit spezifischen Kontext angepasst. Die Ausarbeitung der Massnahmen und Vorschlägen zu einem Monitoring basieren stark auf dem entwickelten Modell und den dazugehörigen Erkenntnissen.

Die gründliche Aneignung von Wissen über den Gegenstand unserer Projektarbeit sowie die ausgiebige Auseinandersetzung mit den Inhalten unserer Recherche hat einige Fragen aufgeworfen, die nicht ausschliesslich durch die Literaturrecherche und durch Gespräche innerhalb der Gruppe beantwortet werden konnten. Um diese Fragen weiter zu verfolgen und möglicherweise vollständig beantworten zu können, haben wir einen Experten herangezogen und mit ihm eine Form des Leitfadeninterviews, das sogenannte Experteninterview, durchgeführt. Als Experte, einer Person, welche zu einem bestimmten Bereich über ein „klares und abrufbares Wissen verfügt“ (MAYER 2002), diente uns Herr Peter Staubli von der Umweltconsultingfirma Beck & Staubli. Die Durchführung eines Leitfadeninterviews macht dann Sinn, wenn bestimmte Inhalte zu einem Gegenstand erhoben werden sollen (MAYER 2002). Ein Leitfaden mit offen formulierten Fragen dient als Orientierung während der Befragung; von der Reihenfolge der Frage darf auch abgewichen werden (MAYER 2002). Dem Interviewer steht auch die Möglichkeit offen, zu gewissen Aspekten etwas nachzufragen. Dieses spontane Eingreifen in und Steuern des Gesprächs erfordern einen guten Überblick über bereits besprochene Inhalte und deren Wichtigkeit für die jeweilige Fragestellung (Mayer 2002: 36). Beim Leitfadeninterview ist es wichtig, die zu behandelnde Thematik umfassend zu berücksichtigen und gleichzeitig die wesentlichen Aspekte zu erkennen (MAYER 2002). Beim Experteninterview ist der Befragte in seiner Funktion als Experte für bestimmte Gebiete zu sehen und nicht als Person mit ihren persönlichen Hintergründen (MAYER 2002). Der Interviewer soll dem Experten ausserdem zu erkennen geben, dass er mit dem Gegenstand des Gesprächs vertraut ist (MAYER 2002). Zur Auswertung des Interviews wurden die für die Projektarbeit relevanten Gesprächsinhalte herausgearbeitet und sinngetreu zusammengefasst. Anschliessend wurde die Zusammenfassung Herrn Staubli vorgelegt, welcher uns die Richtigkeit der Aussagen nach dem Korrekturlesen bestätigt hat.

## 6. Systemtheorie

In diesem Kapitel soll die Funktionsweise der Systemtheorie erläutert werden, da es einem unserer Ziele entspricht, das Zusammenspiel der Prozesse innerhalb der Moorhabitats der UBE zu verstehen, um danach Auswirkungen von sich ändernden klimawandelbedingten Inputparametern abzuleiten.

Die Systemtheorie ist eine interdisziplinäre Betrachtungsweise (ROPOHL 2012), welche ermöglicht, komplexe Prozesse in einem einfachen Kontext zu untersuchen und darzustellen. Dabei werden die Dynamiken, Funktionen und Strukturen eines Systems nach dem Kausalitätsprinzip beschrieben (BERTALANFFY 1968). Wird ein *System* von Aussen beeinflusst, dann verändert sich auch seine Wirkung, diese kann dann durch eine Messung systemtypischer Parameter bestimmt werden.

Oftmals ist es kaum realistisch das gesamte System mit all seinen Funktionen zu erfassen, deshalb werden nur die wichtigsten für das *Modell* relevanten Teile genauer analysiert.

Grundsätzlich gibt es drei Opazitätsebenen von Modellen, die Whitebox, welche besagt, dass sämtliche Prozesse des Systems ersichtlich und verstanden sind, die Blackbox, bei der keine Prozesse identifiziert wurden und zuletzt die Vermischung der beiden, die sogenannte Greybox, bei der einzelne zentrale Prozesse erkannt wurden, und andere noch unklar sind.

Da ein Moorhabitat ein Gebilde aus Prozessen verschiedenster Komplexitätsstufen ist, entschieden wir uns für die Erstellung eines Greybox Modells. Dieses erlaubt uns die Vereinfachung von komplexen, teilweise nicht im Detail geklärten Abläufen in einem einfachen verständlichen Modell.

In einem System gibt es prinzipiell zwei Arten von Rückkopplungen. Eine *Rückkopplung* beschreibt einen Regelkreis, das heisst eine Prozesskomponente die sich selbst direkt oder indirekt beeinflusst. Eine positive Rückkopplung verstärkt, während eine negative Rückkopplung einen Prozess abschwächt. Grundsätzlich müssen systemerhaltende Prozesse immer über mindestens eine negative Rückkopplung verfügen, sodass sie sich selbstregulieren und nie exponentiell wachsen können (BERTALANFFY 1968). In einem System wie dem Hochmoor ergibt sich der konstante Wasserspiegel beispielsweise durch die kontinuierliche Pufferung von Wasser durch das Acrotelm, was auf eine negative Rückkopplung zurückzuführen ist.

Wir betrachten ein System als ein Konstrukt von drei Teilen: *Eingänge*, *Prozesse* und *Ausgänge*. Die Eingänge sind Faktoren, die einen potentiellen Einfluss auf das Wirkungsgefüge haben. Je nach Tiefe des betrachteten Systems können auch Eingänge bereits über Rückkopplungen verfügen und somit für das System von erheblicher Bedeutung sein. Andererseits gibt es auch Eingänge die das System nur minimal beeinflussen und dadurch unter Umständen vernachlässigt werden können. Hierbei liegt es im Ermessen des Anwenders, die Flughöhe des systemtheoretischen Modells festzulegen.

In der Mitte des Systems befinden sich die Prozesse, welche die Eingänge mit den Ausgängen verbinden. Durch sie wird das System erst richtig definiert. Die Prozesse reichen vom einfachen Wasserspeicher, bis hin zu hochkomplexen biologischen Systemen, wobei auch hier eine geeignete Auswahl der Detailstufe getroffen werden muss.

Am Ende des Systems befinden sich die Ausgänge. Diese beschreiben die Auswirkungen des Systems auf seine Umwelt und lassen dadurch Schlüsse über den Zustand des Systems zu.

## 7. Moorlandschaften

Moore üben seit jeher ihre Faszination auf uns Menschen aus. Historisch bedingt gibt es verschiedene Definitionen der unterschiedlichen Moortypen. Durch das Bevölkerungswachstum geriet die Bevölkerung verschiedener Regionen bereits früh mit Moorlandschaften in Kontakt. Die steigende Einwohnerzahl und der daraus resultierende Druck auf die natürlichen Ressourcen erforderte eine Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzfläche, wodurch Wege gesucht wurden, wie man die Fläche der Moore, insbesondere der Flachmoore, zur Ressourcengewinnung nutzbar machen könnte. Zudem fanden verschiedene Dichter ihre Muse in der geheimnisvollen Erscheinung der Moore, und schreiben Gedichte wie *Paradise Lost* von John Milton. Durch diese frühe Auseinandersetzung mit Moorlandschaften wurden lokal sehr unterschiedliche Begriffe für Moore entwickelt. Diese unterschiedlichen Begriffe der Moore führten dazu, dass regional stark divergierende Definitionen der unterschiedlichen Moortypen entstanden sind. Um die Übersicht zwischen all diesen Definitionen zu wahren beschränken wir uns in dieser Arbeit auf die Definition des Bundes, da wir in unserer Fragestellung insbesondere für die Moorhabitate von nationaler Bedeutung sprechen. Denn anhand dieser Definition wird entschieden, ob ein Hoch- oder Flachmoor ins Bundesinventar aufgenommen wird oder nicht. Hoch- und Flachmoore fügen sich mit Landschaftselementen wie Flüssen, Wäldern und Seen sowie mit typischen anthropogenen Elementen wie Torf- und Strehütten zu Moorlandschaften zusammen (MARTI 1992). Dabei ist es wichtig, dass die von Moorhabitaten geprägte Landschaft in sich schön und naturnah ist, sowie dass sie eine geschlossene Einheit bildet (ebd.), wie dies z.B. in der Moorlandschaft klein Entlen der Fall ist (Abbildung 4). In dieser Projektarbeit beschäftigen wir uns insbesondere mit den Hoch- und Flachmoorhabitaten für sich und mit der Einbettung in die umgebende Landschaft nur am Rande. Der Einfluss der umgebenden Moorlandschaft darf jedoch bei Moorspezifischen Arbeiten nicht vernachlässigt werden. In den folgenden zwei Kapiteln werden die Hoch- und Flachmoore genauer betrachtet. Dabei werden die wichtigsten moorinternen Prozesse sowie deren Anpassungsmöglichkeiten auf Veränderungen erklärt, welche anschliessend im Kapitel Resultate im Modell eingearbeitet werden.



*Abbildung 4: Moorlandschaft klein Entlen (Fuchserenmoos)*

## 8. Hochmoore

„Als eigenständige Ökosysteme liegen die Hochmoore ‚wie ein Wassertropfen‘ in der sie umgebenden Landschaft und bilden dort meistens die letzten Reste ursprünglicher Natur“ (STEINER und GRÜNIG 1992a). Sie benötigen nach Walentovski et al. (2008) ein kühl-humides und niederschlagsreiches Klima. Hochmoore entstehen meist aus bestimmten Flachmoortypen, welche an spezifische Geländeformen geknüpft sind (topogene Moortypen) (STEINER und GRÜNIG 1992b). Aufgrund des Torfwachstums ist die Oberfläche der Hochmoore über den Grundwasserspiegel hinausgestiegen, wodurch die Pflanzen in den obersten Schichten ausschliesslich vom Regen gespeist werden (MARTI 1992). Daher werden sie auch Regenmoore genannt und gehören zu den ombrogenen Moortypen (MARTI 1992). Die Vernässung durch den kaum durchlässigen Torf und die hohe Wasserhaltekapazität der Torfmoose führt zu einer Nähr- und Sauerstoffarmut. Zudem ist der *Säuregrad* der Hochmoore extrem hoch (ebd.). Unter diesen abiotischen Bedingungen können nur wenige hochspezialisierte Pflanzenarten wachsen (GRÜNIG et al. 1986). Aber auch mit dieser Artenarmut bilden sie einen wunderschönen Lebensraum für viele seltene Pflanzen und Tierarten wie dies beim Mettelimoos in der Gemeinde Entlebuch der Fall ist (Abbildung 5).

### Definition der Hochmoore

Damit ein Hochmoor in das Hochmoorinventar des Bundes aufgenommen wird muss es folgende Bedingungen erfüllen:

1. Vorkommen von Torfmoosen, (Sphagnum)
2. Vorkommen von mindestens einer der vier klassischen Hochmoorzeigerarten
  - a. Rosmarinheide, (Andromeda polifolia)
  - b. Moosbeere, (Vaccinium oxycoccos)
  - c. Rundblättriger Sonnentau, (Drosera rotundifolia)
  - d. Scheidiges Wollgras, (Eriophorum vaginatum) oder es müssen drei von 17 weiteren hochmoorbewohnenden Arten vorkommen  
(Anhang A: Liste der Gefässpflanzen der Hochmoore)
3. Die Hochmoorfläche muss zusammenhängend mindestens 625m<sup>2</sup> umfassen

(MARTI 1992)



Abbildung 5: Hochmoor Mettelimoos

## Vegetation der Hochmoore

Die *Torfmoose* (Sphagnum) sind die Schlüsselarten der Hochmoore. Sie prägen nicht nur das Erscheinungsbild der Hochmoore mit den Bulten und Schlenken die sie bilden, sondern haben auch einen grossen Einfluss auf die Prozesse die in Hochmooren ablaufen. Bulten sind Erhöhungen die durch das Torfmooswachstum und die Torfakkumulation entstehen, Schlenken dagegen sind Vertiefungen die oft eine Wasserlache enthalten. Durch ihre hohe Wasserhaltekapazität bauen die Torfmoose den mooreigenen Wasserkörper auf (STEINER und GRÜNIG 1992b). Zudem können die Torfmoose Nährstoffe aus dem umgebenden Regenwasser durch die Abgabe von Wasserstoffionen aufnehmen und sorgen so für eine Ansäuerung der Umgebung (ebd.). Ebenso können sie Nährstoffe aus der Luft durch trockene Ablagerungen aufnehmen. Dadurch sind sie mit mehr Nährstoffen als die umgebenden Pflanzen versorgt und besitzen somit einen kompetitiven Vorteil gegenüber diesen (SCHULTHEIS et al. 2010).

*Vaskuläre Pflanzen* (Gefässpflanzen) verfügen im Gegensatz zu den Moosen über Kanäle, um Nährstoffe und Wasser im Pflanzeninneren zu transportieren. Unter diesen harschen Bedingungen können nur wenige vaskuläre Pflanzenarten wie die Rosmarinheide (*Andromeda polifolia*), der rundblättrige Sonnentau (*Drosera rotundifolia*), das scheidige Wollgras (*Eriophorum vaginatum*) und die Moosbeere (*Vaccinium Oxycoccus*) überleben (GRÜNIG et al. 1986). Diese Pflanzenarten haben ganz unterschiedliche Strategien entwickelt, um sich mit Nährstoffen und Wasser zu versorgen. Zu diesen Strategien gehören unterschiedliche Wurzelsysteme sowie das verzehren von Insekten (MALMER et al. 1994). Diese Arten belegen also unterschiedliche Nischen und können koexistieren, auch wenn sie nach den gleichen Ressourcen streben. Treten nicht hochmoorspezifische vaskuläre Pflanzen auf, ist dies meist ein Hinweis auf ein nährstoffreicheres, weniger saures und somit gestörtes Hochmoor.



Abbildung 6: scheidiges Wollgras (*Eriophorum Vaginatum*)



Abbildung 7: rundblättriger Sonnentau (*Drosera rotundifolia*)



Abbildung 8: Moosbeere (*Vaccinium Oxycoccus*)

## Hochmoorinterne Prozesse

Die Torfmoose befinden sich in ständigem Wachstum nach oben und die unteren Teile der Torfmoose sterben dabei laufend ab. Gelangen die abgestorbenen Reste unter den Moorwasserspiegel, werden sie aufgrund des Sauerstoffmangels nicht weiter zersetzt und bilden so neuen Torf (STEINER 2005). Durch den gehemmten Abbau der organischen Substanz wird der in Pflanzen enthaltene Kohlenstoff langfristig gebunden (NIEDERMAIR et al. 2011). Ein intaktes Hochmoor weist ein positives *Torfmooswachstum* oder einen Gleichgewichtszustand zwischen Wachstum und Abbau der Torfschicht auf. Die meist sehr geringe Wachstumsrate der Torfmoosen von 0,5 bis 2mm (NIEDERMAIR et al. 2011) und somit auch die *Torfakkumulation* hängt direkt von der Jahresmitteltemperatur und dem Jahresniederschlag ab (VAN BREEMEN 1995). Befindet sich ein Hochmoor jedoch in einem gestörten Zustand durch Nährstoffeinträge oder einen tieferen Moorwasserspiegel, setzt der Abbau des Torfes ein und der gespeicherte Kohlenstoff wird wieder an die Atmosphäre abgegeben. Solche entwässerte Hochmoore weisen einen erheblichen Torfverlust von 1 bis 2cm Mächtigkeit pro Jahr auf (NIEDERMAIR et al. 2011).

Hochmoortypische vaskuläre Pflanzen müssen mit dem Wachstum der Torfmoose mithalten, um nicht von diesen überwachsen zu werden (MALMER et al. 1994) und durch Überschattung abzusterben. Geschieht dies jedoch, können somit die moortypischen vaskulären Pflanzen nicht weiter existieren, dann kann dadurch das gesamte Hochmoor kollabieren (ebd.). Werden jedoch die vaskulären Pflanzen produktiver, kehrt sich der Prozess dadurch um, wodurch das Wachstum der Torfmoose aus Mangel an Licht beschränkt wird (ebd.). Ein vermindertes Wachstum der Torfmoose führt wiederum dazu, dass die Torfakkumulation abnimmt und das Hochmoor in einen degradierten Zustand verfallen kann. Wenn die Produktivität der Torfmoose abnimmt, nimmt offensichtlich auch die Ionenproduktion ab. Falls die Torfmoose sogar aerob abgebaut werden, werden durch die Zersetzung *Nährstoffe* freigesetzt. Wegen dieser Nährstoffe können die hochmoortypischen Pflanzenarten, die auf Nährstoffarmut angepasst sind, durch Arten, die mehr Nährstoffe brauchen, verdrängt werden (GRÜNIG et al. 1986). Die Produktivität der Hochmoore hängt also direkt vom Zustand der Torfmoose ab und die weiteren hochmoortypischen Pflanzenarten haben sich über hunderte von Jahren an diese Wachstumsrate angepasst. Verändert sich die Produktivität der Torfmoose, kann dies somit zu einem Kollaps des Biotops führen. Da ein intaktes Hochmoor primär von den Torfmoosen abhängig ist, und das Wachstum derselben durch das Klima und den Nährstoffeintrag bestimmt wird, sind die Hochmoore sehr vulnerabel gegenüber klimatischen Veränderungen.

Treten in einem Hochmoor jedoch fremde Pflanzen auf, ist nach Steiner (2005) fast immer eine Störung im Wasserregime die Ursache. Dies zeigt gut auf, wie eng eine intakte Vegetationsdecke mit einem ungestörten Wasserregime verknüpft ist. Ein ungestörtes Hochmoor weist immer einen zweischichtigen Aufbau auf (STEINER und GRÜNIG 1992a). In der oberen, locker aufgebauten und lebenden Schicht, dem sogenannten Acrotelm, befindet sich der *Moorwasserspiegel* (ebd.). Dieser kann je nach Klima stark schwanken und dadurch variiert die Einflusstiefe der Luft (STEINER 2005). Diese Schicht kann 50 bis 100 cm dick werden (STEINER und GRÜNIG 1992a). Die untere, tote und kompaktere Schicht heisst Catotelm und kann über 10 Meter mächtig werden (ebd.). Diese Schicht bildet den eigentlichen Moorkörper. Das Catotelm muss konstant Wassergesättigt sein, damit aufgrund des Sauerstoffmangels und kaum vorhandener Mikroorganismen der Torf nur sehr langsam abgebaut wird (STEINER und GRÜNIG 1992a). Da die Atmosphäre jedoch ein unregelmässiger Wasserlieferant ist, ist es von zentraler Bedeutung, dass das Acrotelm die Fähigkeit besitzt Wasser zu speichern (STEINER und

GRÜNIG 1992a). Das Acrotelm besitzt nach Steiner (2005) Eigenschaften, die es erlauben die verschiedenen Wasserbewegungen zu kontrollieren und dadurch einen konstanten

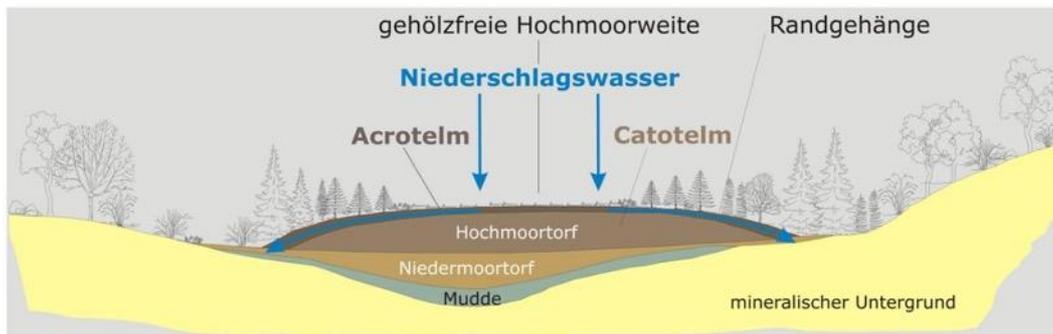


Abbildung 9: Schema Hochmooraufbau

Wasserspiegel sowie eine bestimmte Menge an gespeichertem Wasser zu erhalten. Somit „wirkt das Acrotelm auch als Klimapuffer, indem es positive und negative Spitzen ausgleicht und genau die Menge an Wasser nachliefert, die das Catotelm benötigt“ (STEINER 2005). Ebenso ist das Acrotelm nach (INGRAM 1983) eine aktive Barriere entgegen einem zu grossen Wasserverlust durch *Evapotranspiration*. Die Verdunstungsrate ist laut Walentovski et al. (2008) jedoch immer noch höher als bei den anderen terrestrischen Systemen, wodurch sie das für sie zentrale kühl-feuchte Klima mitprägen. Bei einer mittelfristigen Abnahme in der Netto-Wasserversorgung (über Jahrzehnte)(STEINER und GRÜNIG 1992a), verlagert sich der Wasserspiegel ins Catotelm. Dadurch kommt die oberhalb des neuen Wasserspiegels liegende, nun zum Acrotelm gehörende, Schicht in Kontakt mit der Aussenluft, wodurch aerobe Abbauvorgänge einsetzen (STEINER und GRÜNIG 1992a). Dies wiederum führt zu einer Abnahme des Hochmoorvolumens und zu einer Nährstofffreisetzung. Dank bestimmter Mechanismen ist nach Steiner (2005) ein auf sich gestelltes intaktes Hochmoorökosystem robust gegenüber Wetter und Klimaveränderungen. Erfolgen jedoch wesentlich plötzlichere Veränderungen, wie anthropogene Eingriffe, führt dies zu einer Störung des sensiblen Systems Hochmoor (ebd.).

So können Änderungen im Wasserhaushalt der Hochmoore weitreichende Folgen nach sich ziehen. Falls der Wasserspiegel verringert wird, werden zunächst die feuchte- und nässeliebenden Pflanzen zurückgehen (GRABHER 1992). Über längere Zeit haben die robusteren Pflanzen einen kompetitiven Vorteil und verdrängen die empfindlicheren meist seltenen und gefährdeten Hochmoorarten (ebd.). Durch die Torfmineralisierung werden zudem grosse Mengen an Nährstoffen freigesetzt, was wiederum die Ausbreitung konkurrenzstarker Arten fördert (ebd.). Dies ist daraus ersichtlich, dass die zentralen und offenen Hochmoorbereiche mit der Zeit verwalden (NIEDERMAIR et al. 2011). Bewaldete Moore wiederum haben einen erhöhten Wasserverbrauch, was einen zusätzlichen Druck auf den Moorwasserspiegel ausübt (WALENTOWSKI et al. 2008). Ebenso würden nach Niedermaier et al. (2011) längere Vegetationsperioden sowie das nach Walentovski et al. (2008) durch eine erhöhte CO<sub>2</sub> – Konzentration verursachte stärkere Wachstum der Pflanzen den Wasserhaushalt zusätzlich belasten. Nimmt zudem die Luftfeuchtigkeit ab, kann ein Moor noch schneller austrocknen, da die Evapotranspiration gefördert wird (STAUB et al. 2011)

Beeinträchtigungen der Hochmoore können nach Steiner (2005) aufgrund dieser vielschichtigen und stark miteinander verknüpften Prozesse oft erst mit grosser Verzögerung von aussen Wahrgenommen werden. So konnte auch Wiedermann, M. et al. (2007) zeigen, dass Veränderungen im Klima und der Nährstoffdeposition erst nach fünf Jahren in Hochmooren festgestellt werden können.

## 9. Flachmoore

Flachmoore zeichnen sich durch ihre grosse Artenvielfalt und dem Reichtum von seltenen Pflanzen aus. Dieses Kapitel erläutert, wie diese aussergewöhnlichen Biotop entstehen und existieren können. In einem ersten Teil werden die abiotischen Voraussetzungen hervorgehoben, die die Existenz von Flachmooren ermöglichen und mit der Definition der Flachmoore wird geklärt, was in dieser Arbeit unter einem Flachmoor verstanden wird. In einem weiteren Teil wird anhand spezifischer Prozesse untersucht, wie diese Biotop funktionieren und welche Abläufe in ihnen erfolgen. Dieser Teil soll zum einen die Komplexität der Flachmoore zeigen und zum andern auch die wichtigsten Zusammenhänge erklären.

### Abiotische Bedingungen

Die einzigartigen Pflanzenarten die Flachmoore beleben, können nur unter sehr spezifischen Bedingungen existieren. Die wichtigste Bedingung ist ein grosses Wasservorkommen. Dabei ist die Herkunft des Wassers ein zentraler Faktor der letztlich über den Moortyp entscheidet. Flachmoore werden zusätzlich zum Regenwasser durch Grund- oder Oberflächenwasser versorgt und verfügen deshalb über mehr Nährstoffe und Sauerstoff als Hochmoore. Dieser Nährstoffreichtum verhindert, dass die auf Nährstoffarmut spezialisierten Torfmoose einen kompetitiven Vorteil haben und somit kaum wachsen können. Ohne die dominanten Torfmoose werden kaum Ionen freigesetzt und die Böden der Flachmoore werden nicht so sauer wie die Böden der Hochmoore. Diese Eigenschaften bilden einen idealen Lebensraum für viele seltene Pflanzenarten und es resultiert eine grosse Biodiversität und somit auch hohe Produktivität der Flachmoore.

Flachmoore entstehen entweder durch die Verlandung von Gewässern, durch die Versumpfung von Böden oder eine regelmässige Überflutung.

In der Schweiz sind fast alle Flachmoore durch die Versumpfung von feuchten Wäldern entstanden. Zu dieser Versumpfung kam es, als die Wälder zugunsten einer landwirtschaftlichen Ausweitung und für die Köhlerei gerodet wurden (Abbildung 10). Mit der Rodung wurden die Bäume entfernt, die dem Boden viel Wasser entzogen hatten und ihn trockenlegten. Ohne diesen Wasserentzug durchnässte der Boden zusehends und die Flachmoore entstanden.

### Definition der Flachmoore

Damit ein Flachmoor in das Flachmoorinventar des Bundes aufgenommen wird, muss es folgende Bedingungen erfüllen:

1. Auf einer Fläche von 20m<sup>2</sup> müssen 10 Flachmoorarten vorkommen oder die Deckung der Flachmoorarten muss grösser sein als diejenige der übrigen Arten (Anhang B: Liste der Sporen- und Blütenpflanzen der Flachmoore)
2. Die Flachmoorfläche muss zusammenhängend mindestens 1ha umfassen

(MARTI 1992)

## Flachmoorinterne Prozesse

Die Biotope der Flachmoore bestehen aus einem System vieler komplexer Prozesse. In diesem Teil der Arbeit werden die wichtigsten Prozesse identifiziert und genauer beleuchtet. Nach dieser Identifikation wird aufgrund der untersuchten Prozesse erörtert, welche Rolle diese Komplexität in der Funktionsweise der Flachmoore spielt.

Die Umgebung eines Biotopes kann als n-dimensionales Hypervolumen betrachtet werden. Die Achsen dieses Hypervolumens sind durch das Vorkommen verschiedener Ressourcen und Umgebungsbedingungen definiert. Die *Nische* einer Art ist der Bereich in diesem Hypervolumen, in welchem diese Spezies eine langzeitige Nettoerproduktionsrate  $\geq 1$  erreichen kann. Das heisst, dass die Art in dieser Nische überlebensfähig ist. (SILVERTOWN 2004) In heterogenen Biotopen wie den Flachmooren bilden sich entlang des Grundwasserspiegels, des Säuregrads des Bodens, der Nährstoffverfügbarkeit und der Übersattung durch andere Pflanzen verschiedene Nischen, die von unterschiedlichen Arten belebt werden. Pflanzen haben einen differenzierten Ressourcenbedarf, wodurch sie in einigen Nischen besser wachsen können als in anderen. Dies führt dazu, dass in Flachmooren unterschiedliche Vegetationstypen entstehen:

- Röhricht (Phragmition)
- Grosseggengried (Magnocaricion)
- Kalk-Kleinseggenried (Caricion davallianae)
- Saures Kleinseggenried (Caricion nigrae)
- Nasswiese und Hochstaudengried (Calthion und Filipendulion)
- Pfeifengraswiese (Molinion)
- Übergangsmoor (Scheuchzerietalia)

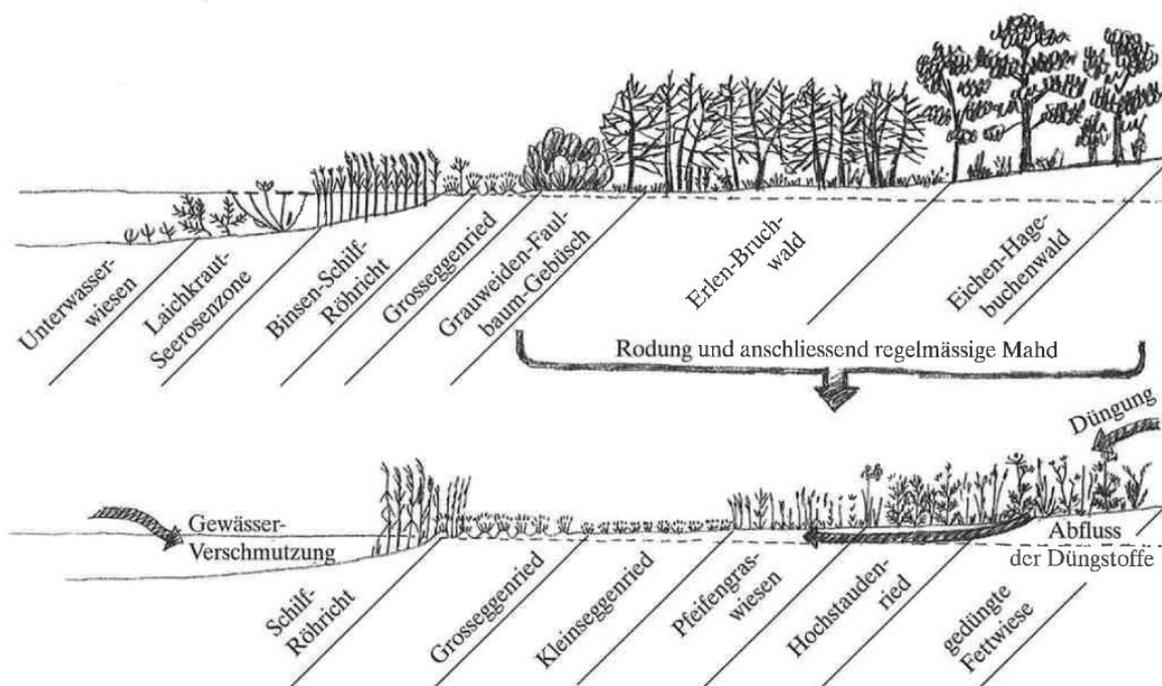


Abbildung 10: Vegetationstypen und Entstehung von Flachmooren

Da es auch in diesen Vegetationstypen unterschiedliche Nischen gibt, können hier viele Pflanzenarten koexistieren ohne sich gegenseitig zu verdrängen. Diese Koexistenz von vielen unterschiedlichen Spezies führt zu einer hohen *Biodiversität*. Die hohe Biodiversität zeichnet sich nicht nur dadurch aus, dass viele unterschiedliche Arten das Biotop beleben, sondern auch, dass seltene Arten in den Flachmooren ihren Lebensraum in diesem feuchten Biotop finden, die in anderen Biotopen nicht existieren könnten.

Durch die hohe Biodiversität der Pflanzen bildet sich ein Lebensraum für viele Insekten (Abbildung 11) und diese bilden wiederum die Nahrungsgrundlage für diverse Vogelarten. Da die Brut- und Nahrungsplätze vieler Vogelspezies der Zivilisation immer mehr weichen, bilden die wenig genutzten Flachmoore einen wichtigen Lebensraum für seltene Vögel, welche oft vom Aussterben bedroht sind und sich auf Roten Listen befinden (GRÜNIG et al. 1986). Die Flachmoore sind also wertvolle Biodiversitätsreservate für Flora und Fauna.



Abbildung 11: Hochmoorperlmutterfalter

In der UNESCO Biosphäre Entlebuch liegen die Hoch- und Flachmoore eng verflochten mit landwirtschaftlich extensiv genutzten Flächen (Abbildung 12). Durch diese heterogene Verteilung zwischen Biodiversitätsreservaten und Nutzflächen entstehen Vorteile für die Landwirtschaft. Zu den flachmoorbelebenden Insekten gehören auch viele Bestäuber. Bestäuber sind Insekten, die Pflanzen auf ihrer Nahrungssuche besuchen und so gleichzeitig bestäuben. Diese Insekten besuchen auch die an die Flachmoore grenzenden Nutzflächen, bestäuben dort die Nutzpflanzen und erhöhen so den landwirtschaftlichen Ertrag (PHALAN et al. 2011).

Die hohe Biodiversität verbessert die Resilienz des Biotops bezüglich der Niederschlags- und Temperaturschwankungen (ISBELL et al. 2015; TILMAN und DOWNING 1994). Allerdings kann sich durch langzeitliche Änderung der Wasserversorgung oder der Temperatur die botanische Zusammensetzung des Flachmoores ändern. Diese Änderungen können zur Folge haben, dass flachmoorfremde Arten (Neophyten) Kolonien im Biotop errichten und die Zusammensetzung und Funktionalität des Lebensraumes grundlegend verändern. Wenn einige Flachmoorarten mit diesen Invasoren nicht konkurrieren können, werden sie verdrängt und können aussterben (ALEXANDER et al. 2015). Das Aussterben einer Pflanzenart kann sehr unterschiedliche Folgen haben. Wenn diese Art im Flachmoor eine Funktion hat, die nur von dieser Art im Biotop erfüllt wird, dann geht diese Funktion verloren. Angenommen die ausgestorbene Pflanzenart ist die einzige Nahrungsgrundlage einer bestimmten Insektenspezies, dann fehlt diesen Insekten die Nahrung und sie sterben auch aus. Wenn es nun Vögel gibt die sich nur von diesen Insekten ernähren, dann können diese auch Aussterben und so weiter. Dieses Beispiel zeigt gut wie stark die einzelnen Prozesse der Flachmoore verkettet sind und das eine Änderung weitreichende Folgen haben kann.



Abbildung 12: Landwirtschaftlich extensiv genutzte Flächen – Flachmoor Nesslenbrunnen Boden

Über die Pflanzen und die Wasseroberfläche verdunstet Wasser. Dadurch bildet sich über Flachmooren ein kühles und feuchtes Klima. Da die *Evapotranspiration* durch die Temperatur beeinflusst wird und bei steigenden Temperaturen verstärkt und bei sinkenden abgeschwächt wird, hat diese einen stabilisierenden Einfluss auf das Mikroklima in Flachmooren.

Flachmoore werden von naheliegenden Gewässern über das Grund- oder Oberflächenwasser mit Wasser und Nährstoffen versorgt. Wenn das topographische Gefälle einen zum *Grundwasserspiegel* unterschiedlichen Winkel aufweist, führt dies zu einer sich im Raum verändernden Tiefe des Grundwasserspiegel und es entsteht ein Wassergradient (Abbildung 10). Die unterschiedliche Durchnässung des Bodens begünstigt die Entstehung von Nischen, in welchen Pflanzen mit dem entsprechenden Wasserbedarf wachsen können (SILVERTOWN 2004). Der Wasserspiegel und damit die Durchnässung des Bodens bleibt stabil solange die zufließenden Wasser das gleiche Volumen haben wie die Abfließenden. Eine Veränderung in diesem Gleichgewicht führt zu einer Änderung der Vernässung des Bodens und dadurch zu einer räumlichen Verschiebung der Nischen. Wenn sich die Nischen verschieben, müssen sich die Arten die diese Nische bewohnen anpassen oder mit der Verschiebung mitwandern oder sie sterben aus. Diese Verschiebung und damit auch das Aussterben einer Art kann die gleichen unvorhersehbaren komplexen Implikationen haben wie bereits erläutert wurde. Es ist also auch bei diesem Prozess zu erkennen, dass er sehr stark eingebettet ist und Veränderungen Auswirkungen auf das ganze System haben können.

Licht ist für viele Flachmoorarten eine wichtige Ressource. Wenn eine Pflanze wächst, dann können ihre Blätter andere Arten überschatten. Diese *Überschattung* kann so stark werden, dass Licht zum limitierenden Faktor wird. Der limitierender Faktor ist die Ressource die von allen Arten benötigt wird, aber lediglich so knapp vorhanden ist, dass um die Verwendung ein Wettkampf entsteht (LIEBIG 1840). Wenn es zwischen verschiedenen Arten zum Wettstreit um die Ressource Licht kommt, kann sich die Zusammensetzung des Biotopes verändern (HAUTIER et al. 2009). Auch bei dieser Veränderung der Zusammensetzung können Arten aussterben oder ihr Vorkommen soweit zurückgehen, dass sich Arten einer höheren Nahrungsebene nicht

mehr ernähren können. Wodurch die daraus resultierenden Implikationen die Funktionalität des gesamten Biotops einschränken können.

Bei Flachmooren die durch Rodung entstanden sind besteht die imminente Gefahr der Verbuschung. Die *Verbuschung* ist der Prozess bei welchem in Mooren Bäume und Büsche zu wachsen beginnen. Flachmoore die durch Rodung entstanden sind weisen die geeigneten abiotischen Eigenschaften eines feuchten Waldes auf. Wenn sie nicht jährlich geschnitten werden (Mahd), dann beginnt mit der Verbuschung der Wald diesen Lebensraum zurückzuerobern und die hohe Biodiversität der Flachmoore geht verloren.

Dieser Prozess der Mahd kann mit der Intermediate Disturbance Hypothesis von Connell, (1978) verglichen werden. Durch den jährlichen Schnitt wird der kompetitive Vorteil der Bäume in diesem Lebensraum zurückgesetzt. Da sie viel weniger schnell wachsen, können die geschnittenen Bäume dem Boden nie soviel Wasser entziehen, dass sie die flachmoorbewohnenden Arten verdrängen könnten.

Da die meisten Flachmoore der UNESCO Biosphäre Entlebuch durch Rodung entstanden sind, sind sie durch Verbuschung gefährdet.

Die Anforderung, die Mahd der Flachmoore jedes Jahr einmal auszuführen, um die Flachmoore der UNESCO Biosphäre Entlebuch zu erhalten, setzt eine extensive Landnutzung der Flachmoore voraus. Historisch hatte dieser Schnitt in der Landwirtschaft grosse Bedeutung bei der Gewinnung von Streu. Heute wird oft durch Direktzahlungen der Anreiz gegeben die Flachmoore zu schneiden und dadurch die Biodiversität zu erhalten. Es gibt aber auch Flachmoore die als Weide genutzt werden, diese Nutzung führt jedoch direkt zum Nährstoffeintrag und Trittschäden, was die Degradation der Flachmoore zur Folge hat.

Flachmoore sind relativ nährstoffreiche Biotope und bilden den Lebensraum für eine Vielzahl von Pflanzen. Die Nährstoffe werden zu einem grossen Teil durch das Grundwasser im Boden des Flachmoores abgelagert (BUWAL 1992).

Wenn es zu einem zusätzlichen *Nährstoffeintrag* (Abbildung 10) kommt, können sich die Nischen des Flachmoors verschieben. Flachmoore die direkt an Nutzflächen grenzen, wie dies in der UNESCO Biosphäre Entlebuch häufig der Fall ist, sind besonders stark durch den anthropogenen Nährstoffeintrag durch Düngung gefährdet. Die gedüngten Nährstoffe können durch Wasser in das Flachmoor gelangen und dort den Nährstoffhaushalt verändern (BUWAL 1992).

Die Gefährdung durch den Stickstoffeintrag aus der Luft ist für nährstoffreicheren Flachmoore nicht so gross wie für die nährstoffarmen Hochmoore (DUSSEX und HELD 1990).

## Komplexität

Die Betrachtung der wichtigsten Prozesse und Elemente der Flachmoore zeigt, dass diese eng miteinander verbunden sind. Durch diese dichte Vernetzung der Prozesse, können durch die Änderung eines Prozesses auch andere Prozesse stark beeinflusst werden. Deswegen kann es zu Kettenreaktionen kommen, die wegen der grossen Komplexität und der Vielzahl an Parametern nur schwer vorausgesagt werden können. Um diese Komplexität zu visualisieren haben wir im Kapitel „Resultate“ mit dem Systemansatz ein Modell erstellt, welches die Prozesse qualitativ beschreibt.

## 10. Klimawandel in der UBE

Moorhabitats sind, wie im vorangegangenen Kapitel gezeigt, sehr sensible Ökosysteme, welche durch rasche Änderungen in ihren Umweltbedingungen bedroht werden können. Zu diesen Bedrohungen gehört auch der rasch voranschreitende, zum Teil anthropogen beeinflusste Klimawandel. In diesem Kapitel sollen wichtige Veränderungen bestimmter Klimaparameter auf möglichst regionaler Ebene der UBE veranschaulicht werden. Dabei soll insbesondere auf Parameter, welche mit der Temperatur und dem Niederschlag zusammenhängen sowie auf die Extremereignisse eingegangen werden. Bei den Klimaindikatoren haben wir uns auf die Vegetationsperiode beschränkt, da diese eine entscheidende Rolle spielt für das Vegetationswachstum.

Das Ausmass der Klimaänderungen in der Schweiz hängt stark von der Region, der Saison sowie der Entwicklung der globalen Treibhausgasemissionen ab (BEY et al. 2011). In der Literatur werden insbesondere drei verschiedene globale *Emissionsszenarien* betrachtet welche vom IPCC erstellt wurden. Das A2 Szenario geht von einer sehr heterogenen Welt mit einem kontinuierlichen Bevölkerungswachstum aus (BEY et al. 2011). Der technische Fortschritt ist sehr fragmentiert und langsamer als bei den anderen Szenarien (ebd.). Dadurch ergibt sich eine stetige Zunahme der Treibhausgasemissionen (MeteoSchweiz 2013). Beim Szenario A1B hingegen wird von einem Gleichgewicht zwischen fossilen und erneuerbaren Energieressourcen sowie von einer schnellen Einführung von neuen und effizienten Technologien ausgegangen (BEY et al. 2011). Das ökonomische Wachstum geht schnell und das globale Bevölkerungswachstum erreicht seinen Höhepunkt gegen die Mitte des Jahrhunderts und nimmt anschliessend ab (ebd.). Dadurch wird eine leichte Abnahme der Treibhausgasemissionen nach 2050 erwartet (MeteoSchweiz 2013). Bei den beiden genannten Szenarien werden keine aktiven Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen getroffen (BEY et al. 2011). Nur das Szenario RCP3PD impliziert eine starke Reduktion der Treibhausgasemissionen in den nächsten Jahrzehnten (ebd.). Die Modellrechnungen für alle drei Szenarien basieren auf einer neuen Generation von globalen und regionalen Klimamodellen (ebd.) (Abbildung 13).

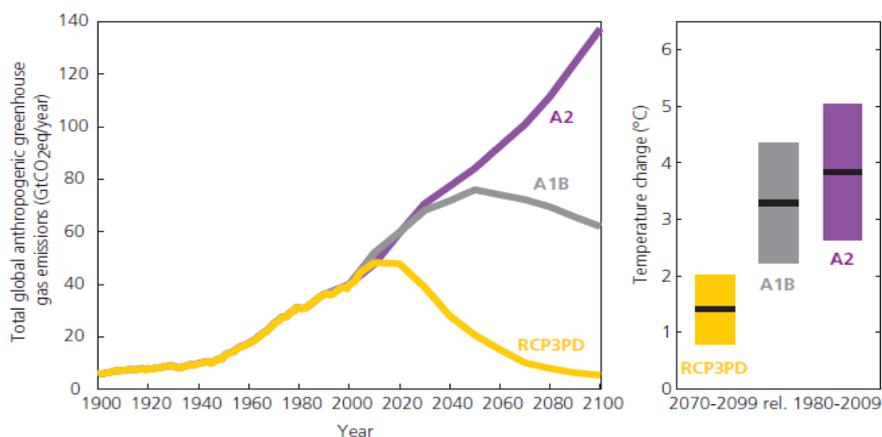


Abbildung 13: Treibhausgasemissionen und Temperaturänderungen bis zum Ende des Jahrhunderts für die drei Emissionsszenarien A2, A1B und RCP3PD

Im Bericht von Meteo Schweiz werden quantitative Aussagen zu regionalen Temperatur- und Niederschlagsänderungen, sowie Klimaindikatoren wie die Vegetationsperiode basierend auf den Klimamodellen der CH2011-Initiative gemacht (MeteoSchweiz 2013). Verwendet werden die drei bereits beschriebenen Emissionsszenarien A2, A1B und RCP3PD und die Aussagen

beziehen sich auf die Periode 2045 bis 2074 (Mittel 2060). Für unsere Projektarbeit relevant sind insbesondere Aussagen zu der Region Voralpen. Klimamodelle sind immer mit Unsicherheiten behaftet. Sie stützen sich auf die physikalischen Gesetze der Natur und können vergangene Veränderungen gut wiedergeben. Für die Temperatur lassen sich generell zuverlässigere Aussagen machen als für die Niederschlagsveränderungen.

Die deutlichsten Veränderungen lassen sich bei der Temperatur sowie Indikatoren, welche direkt mit der Lufttemperatur zusammenhängen erkennen. Die zukünftige Erwärmung wird für alle Jahreszeiten und Regionen der Schweiz sehr ähnlich ausfallen, mit einem Maximum der Temperaturzunahme im Sommer (MeteoSchweiz 2013). In der Region der Voralpen hat die *mittlere Temperatur* in den letzten 100 Jahren um mehr als 1°C zugenommen. Für das A1B Szenario wird sie um weitere 1.3°C bis 3.5°C bis 2060 zunehmen (ebd.). Dies bedeutet einen Anstieg der mittleren Jahrestemperaturen von 8°C bei der Messstation Entlebuch auf 9.3°C bis 11.5°C. (Flühli von 7°C auf 8.3°C bis 10.5°C). Zusammen mit den mittleren Jahrestemperaturen wird sich auch die *Vegetationsperiode* verändern. Über alle Höhenstufen hinweg wird die Vegetationsperiode um rund 25 bis 40 Tage zunehmen. Das Entlebuch liegt auf einer Höhe zwischen 700 und 1'200 Meter über Meer, weist heute also zwischen 260 (unterhalb 600m.ü.M.) und 150 (oberhalb 1'500m.ü.M.) Vegetationstage auf. In Zukunft wird es eine durchschnittliche Vegetationsperiode von rund 260 Tagen (zwischen 600m.ü.M. und 1'000m.ü.M.) aufweisen. Die Temperaturveränderungen für das A2 Szenario werden in der ersten Hälfte des Jahrhunderts ähnlich ausfallen wie für das A1B Szenario, jedoch deutlich grössere Werte annehmen gegen Ende des Jahrhunderts (MeteoSchweiz 2013). Deutlich schwächer fällt der Anstieg der mittleren Temperaturen beim RCP3PD Szenario aus, hier ist eine Zunahme von 1.2° bis 1.8°C bis zum Ende des Jahrhunderts in der Schweiz wahrscheinlich (BEY et al. 2011). Bei diesem Szenario soll das Ziel die 2°C Erwärmung der globalen Mitteltemperatur nicht zu überschreiten erreicht werden (BEY et al. 2011), wobei die Erwärmung in der Schweiz höher ausfallen wird als die mittlere globale Erwärmung (MeteoSchweiz 2013).

Für den *Niederschlag*, der räumlich viel stärker variiert als die Temperatur, konnten wir uns zudem auf die Vorhersagen des CCHydro Projektes „Klimaänderungen und Hydrologie in der Schweiz“ stützen. Dadurch sind für den Niederschlag Daten mit einer noch etwas besseren Auflösung vorhanden. Hier wurden jedoch ausschliesslich regionale Berechnungen für das A1B Szenario gemacht. Über die Veränderung der durchschnittlichen Jahresniederschläge kann aufgrund der natürlichen Variabilität für die Zukunft keine eindeutige Aussage getroffen werden. Tendenziell könnte der Jahresniederschlag im Norden der Schweiz leicht zunehmen, wie die Tendenz der letzten 100 Jahre bereits andeutet (nicht signifikant).

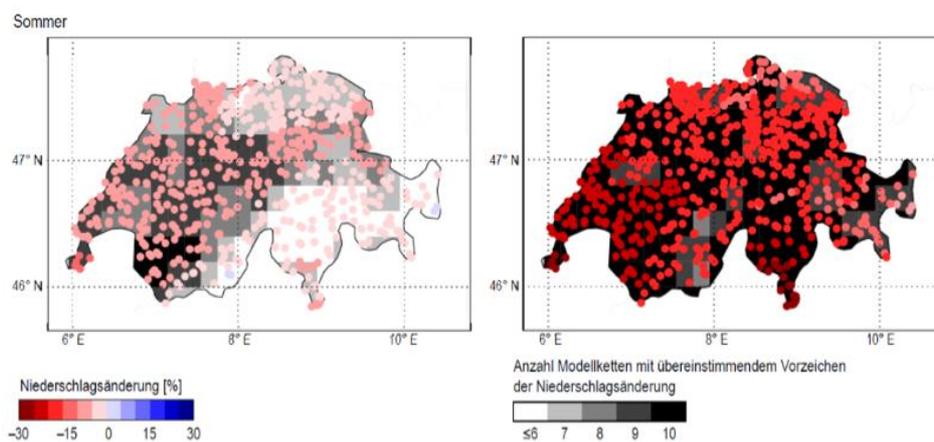


Abbildung 14: Sommerniederschlagsänderungen in der Schweiz

Deutlichere Änderungen sind hingegen bei den Sommerniederschlägen zu erwarten. Anhand des räumlichen Musters der Sommerniederschlagsänderungen (Abbildung 14) und der Koordinaten der UBE (47°N / 8°E) konnten genauere Aussagen gemacht werden. Die Koordinaten der UBE entsprechen zufälligerweise einem Punkt der Gitternetzlinien der Abbildung. Die Berechnungen für den Punkt unterhalb des Gitternetzkreuzes können somit als höchstmögliche Auflösung für unsere Arbeit verwendet werden. Dadurch ergeben sich folgende Abnahmen der Sommerniederschläge für die UBE:

- 2021 – 2050: - 5% bis -10%
- 2070 – 2099: -15% bis -20%

Meteo Schweiz stellt auf ihrer Homepage die Klimanormwerte für die Normperiode 1981-2010 zur Verfügung. In der UBE gibt es die zwei Klimamessstationen Entlebuch und Flühli, welche die Niederschläge für die Normperiode aufzeichneten. Anhand dieser Normwerte kann die absolute Sommerniederschlagsabnahme für das A1B Klimaszenario berechnet werden. Die absoluten Werte für die Stationen Entlebuch und Flühli sind in nachfolgender Abbildung dargestellt (Abbildung 15).

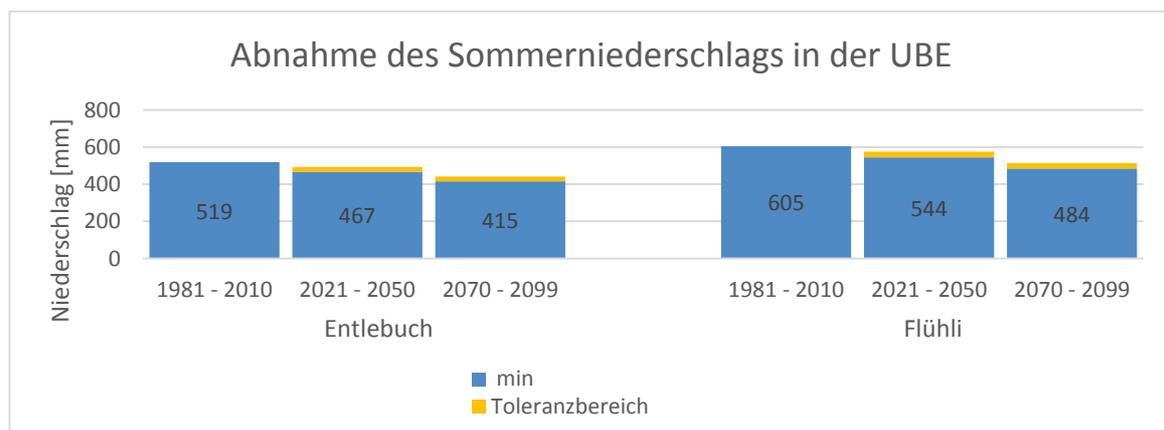


Abbildung 15: Abnahme des Sommerniederschlags in der UBE

Zusammen mit der vorhandenen Energie, also der Temperatur, sowie mit dem verfügbaren Wasser im Boden, wird sich auch die Verdunstung verändern (BAFU 2012). Die potenzielle *Evapotranspiration* (höchstmögliche Verdunstung) wird mit zunehmenden Temperaturen steigen (ebd.). Ist durch zunehmende Trockenzeiten im Sommer jedoch weniger Wasser im Boden, wird die reelle Verdunstung abnehmen (ebd.). In feuchtgebieten wie den Wassergesättigten Böden der Moore hingegen könnte die reelle Evapotranspiration trotzdem ansteigen, da hier genügend Wasser für die Evapotranspiration vorhanden sein wird.

Mittelwerte werden über dreissig Jahre gerechnet und sagen somit nichts über die Variabilität zwischen den Einzelnen Jahren aus. Die *interannuelle Variabilität* der Sommertemperaturen wird in Zukunft eher zunehmen (BAFU 2012). Mit den Mittelwerten und der Variabilität der klimatischen Grössen (Temperatur, Verdunstung etc.) wird sich auch die Häufigkeit und Intensität von *Extremereignissen* verändern (BAFU 2012). Nach den neuesten CH2011 Erkenntnissen wird bis zum Ende des Jahrhunderts die Häufigkeit, die Länge sowie die Intensität von Hitzewellen in der gesamten Schweiz signifikant zunehmen (BEY et al. 2011). Ebenso wird die Länge von Sommertrockenzeiten aufgrund von stärkerer Evapotranspiration, früherer Schneeschmelze sowie abnehmender Sommerniederschläge zunehmen (ebd.). Zudem sind heisse Sommer oft mit einer Trockenanomalie, also mit stärker ausgeprägten Trockenperioden verbunden (BEY et al. 2011).

## 11. Resultate

In den vorangehenden Kapiteln wurde gezeigt, dass die Hoch- und Flachmoore von einer Vielzahl von unterschiedlichsten hochkomplexen Prozessen geprägt werden. Diese ergeben ein sich selbsterhaltendes Regelsystem, welches jedoch auf verschiedene Weisen ausgeglichen wird.

Die vielen hochkomplexen Prozesse wurden identifiziert und in einem Modell basierend auf der Systemtheorie veranschaulicht. Nachfolgend werden diese Modelle genauer erläutert und in den Kontext der Auswirkungen des Klimawandels gestellt.

Während im Modell zwar qualitative Aussagen, wie „der Nährstoffeintrag beeinflusst das Torfmooswachstum negativ“, möglich sind, so lassen sich keine Schlüsse über deren Quantität, z.B. „die Torfmoosbedeckung wird um 50% reduziert“ ziehen.

Dadurch entsteht aber kein Nachteil, denn im Kontext der extremen Komplexität von Wechselwirkungen im System Moor ist eine rein monokausale Aussage sowieso immer mit Vorsicht zu genießen (STAUBLI 2016). Der Vorteil jedoch, dass qualitative Änderungen trotzdem beschrieben werden können, bleibt bestehen.

### Motivation

Die Stärken dieses Modells bestehen darin, eine Übersicht über das schwer erfassbare System der Wechselwirkungen und Abhängigkeiten des Moors zu erhalten und damit verschiedensten Akteuren wie Policy und Decision Makers die Problematik der Auswirkungen des Klimawandels auf die Moorhabitats in der UBE aufzuzeigen.

Das Modell stellt deshalb eine, wie im Kapitel Systemtheorie beschriebene Graybox dar, die detaillierte darunterliegende und als sekundär betrachtete Funktionsweisen, wie die rein biologischen Interaktionen vernachlässigt. Dieses Abstraktionslevel wurde bewusst gewählt, um unwichtigere von wichtigeren Zusammenhängen zu trennen, da eine detailliertere Untersuchung dieser Prozesse nicht im Fokus der Arbeit stand. Während die Kästchen offensichtlich verdeutlichen, aus welchen Komponenten, das bedeutet, aus welchen Bestandteilen und Subprozessen das System besteht, so verdeutlichen die Pfeile, welche Komponenten durch welche anderen beeinflusst werden. Beispielsweise führt ein Pfeil vom Wasserspiegel auf den Nährstoffspeicher. Dieser meint nun, dass der Wasserspiegel den Nährstoffspeicher beeinflusst. Dabei ist es rein für das Verstehen des Modells nicht von Bedeutung zu wissen wie dieser Prozess im Detail abläuft, lediglich, dass der Wasserspiegel eine positive Wirkung auf den Nährstoffspeicher hat.

### Das Hochmoor-Modell

Das Modell für die Hochmoore in der UBE beinhaltet sieben Prozesskomponenten, z.B. Torfmooswachstum, Nährstoffspeicher oder die Anpassung des Säuregrads, die für das Funktionieren unabdinglich sind. Im vorangehenden Kapitel Hochmoore wurden diese ausführlich beschrieben.

Insbesondere wurde das Torfmooswachstum als Fundament jeglicher Abläufe im Hochmoor identifiziert, da es nahezu in jedem Prozess vorkommt und diesen direkt beeinflusst. Aus diesem Grund findet sich die Prozesskomponente *Wachstum der Torfmoose* im Zentrum des Modells.

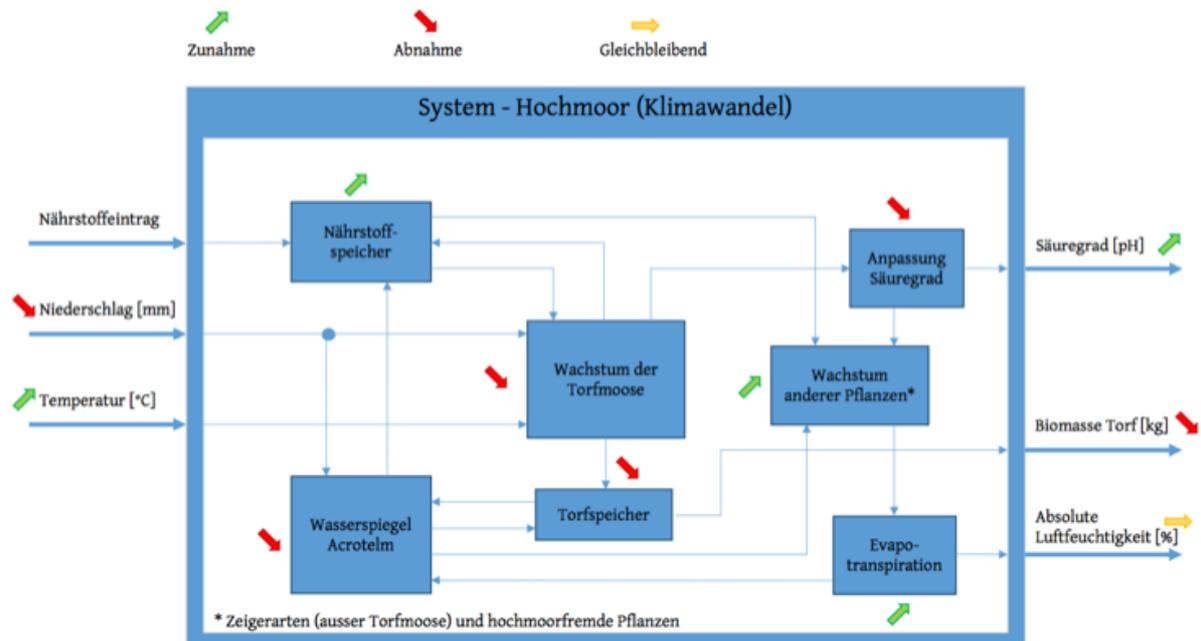


Abbildung 16: Modell Hochmoor mit Auswirkungen des Klimawandels

## Das Flachmoor-Modell

Im Modell Flachmoor konnten insgesamt 8 Prozesskomponenten identifiziert werden. Davon werden drei als Hauptkomponenten angesehen, die die zentralen Funktionen des Flachmoors ausmachen. Diese sind *Nischenbildung*, *Nährstoffspeicher* und *Grundwasserspeicher*. Während beim Hochmoor nur die *Temperatur*, der *Niederschlag* und der *Nährstoffeintrag* als systemische Eingangsparameter erachtet wurden, verfügt das Flachmoor Modell zusätzlich über den anthropogenen Faktor der *Mahd*. Des Weiteren wird das Flachmoor mit *Quellwasser* versorgt, was die Komplexität des Wasserkreislaufs noch weiter erhöht. Somit werden Aussagen über den Wasserhaushalt eines Flachmoors unter Umständen schwierig, da jedes Moor über individuelle Quellen und Entwässerungen verfügt.

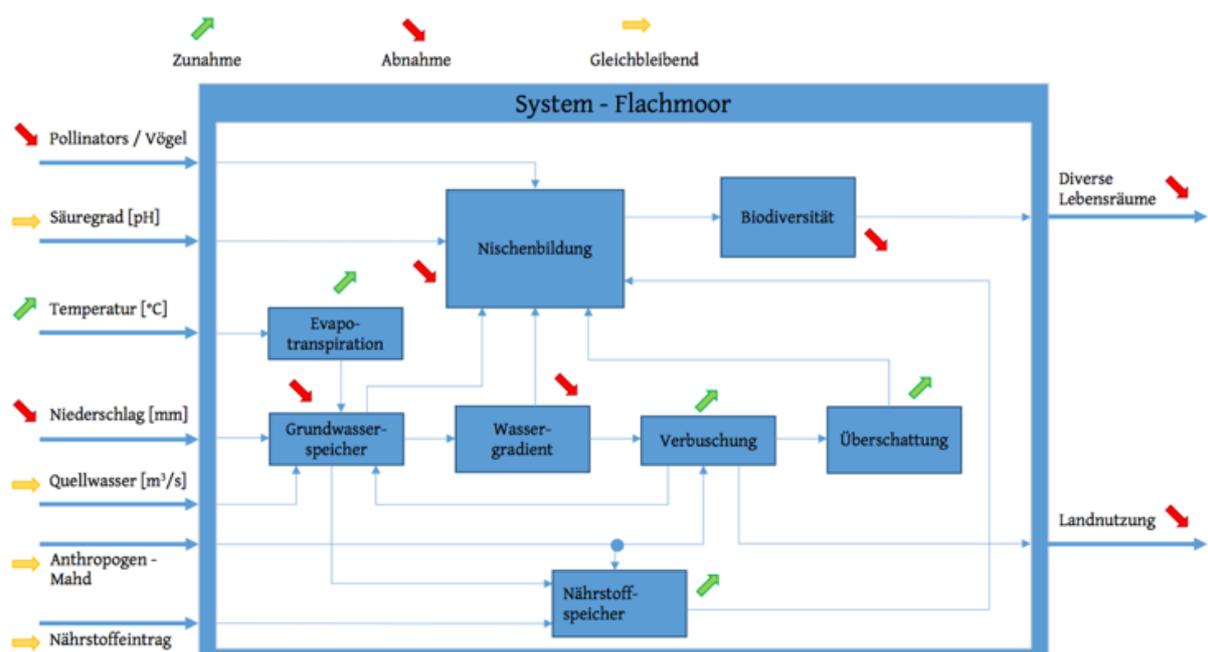


Abbildung 17: Modell Flachmoor mit Auswirkungen des Klimawandels

## Auswirkungen des Klimawandels

Aus unserer Analyse über die Auswirkungen der drei Klimaszenarien A1B, A2 und RCP3PD auf die UNESCO Biosphäre Entlebuch geht hervor, dass sich insbesondere in den Sommermonaten die Variabilität des Niederschlags zunehmend verstärken wird. Da das Szenario A1B in der Literatur häufig als realistischstes Szenario angesehen wird, und uns auch die genauesten Daten dazu vorliegen, stützen wir uns bei der Analyse der Auswirkungen des Klimawandels darauf. Aus diesem Szenario (A1B) geht hervor, dass mit einem Rückgang der Sommerniederschläge bis 2050 um mindestens 10% auf 467mm und einer Zunahme der Jahresmitteltemperatur von 1.3 bis 3.5°C bis 2060 zu rechnen ist. Dies bedeutet für die Moorhabitats der UBE insbesondere, dass die Wasserverfügbarkeit stark zurückgehen wird und dadurch mit Trockenzeiten zu rechnen ist, welche die Vegetation massgeblich verändern werden (WALENTOWSKI et al. 2008).

## Klimawandel im Hochmoor

Da Hochmoore auf der einen Seite zwar gut mit Schwankungen in Niederschlag und Temperatur zurecht kommen, so haben sie jedoch Mühe, dauerhafte Veränderungen auszugleichen. Aus diesem Grund ist anzunehmen, dass der Klimawandel einen erheblichen Einfluss auf die Hochmoore haben wird. Insbesondere aufgrund der durch den Klimawandel vermehrten Trockenperioden, welche der Druck auf die torfbildenden Torfmoose steigern und deren Wachstum hemmen, so dass insbesondere die Torfproduktion abnimmt und sich die Konsistenz des Torfs verändert wodurch der Boden zunehmend durchlässiger wird, wie dies im Kapitel Hochmoor erörtert wurde.

Durch die verstärkte Permeabilität kann Wasser versickern wodurch der Wasserspiegel des Acrotelms sinkt. Aufgrund dieser Veränderung beginnt der zuvor mit Wasser gesättigte Torf zu mineralisieren und Nährstoffe freizusetzen. In Folge schliesst sich der Kreislauf indem, dass die nährstoffzeigenden Pflanzen die nährstoffarmen Torfmoose zusehends verdrängen und das Hochmoor degradiert.

Da jede Torfmoos-Art die Umwelt mit ihrem eigenen individuellen pH-Wert versieht, liegt die Vermutung nahe, dass dieser als Indikator eines intakten Moores verwendet werden kann. Jedoch muss dazu die jeweilige Torfmoos-Art im Hochmoor bestimmt werden um eine Aussage über den Degradationszustand machen zu können.

## Klimawandel im Flachmoor

Auch in den Flachmooren ist mit Problemen aufgrund der Trockenheit zu rechnen. Dies wirkt sich jedoch anders aus als bei den Hochmooren, da die Flachmoore zusätzlich durch Grundwasser versorgt werden. Da bei den Flachmooren die Nischenbildung die Wirkweise derselben bestimmt, muss sie auch näher betrachtet werden. Eine Veränderung von Temperatur und Niederschlag hat eine direkte Verschiebung der Nischen zur Folge, wodurch flachmoorfremde Pflanzen Einzug in das Ökosystem finden können. Niedermair et al. (2011) erwähnt zudem auch die Veränderung der Moorhabitats in ihrer Komposition aufgrund des sich verändernden Wasserspiegels.

Meist haben diese Arten dann einen kompetitiven Vorteil gegenüber den bestehenden Pflanzen und verdrängen sie zunehmend bis keine ursprüngliche Art mehr vorhanden ist. Jedoch verfügen die Neophyten über ähnliche Funktionen, wodurch der Funktionsumfang des Ökosystems unter Umständen erhalten bleibt und sich dieses lediglich in der Komposition verändert.

## Fazit

Es wurde gezeigt, inwiefern sich der Klimawandel auf die Moorhabitats der UBE auswirken könnte. Besonders in den trockenen Sommermonaten werden die Moorhabitats mit einer geringeren Wasserverfügbarkeit auskommen müssen. Deshalb muss zwingend verhindert werden, dass anthropogene Störfaktoren die Moore zusätzlich belasten. Aufgrund der geringen Auflösung der Klimadaten und der komplexen Prozesse der Moore sind jedoch nur ungenaue Aussagen über die Auswirkungen des Klimawandels möglich.

Um präzisere Angaben machen zu können, ist ein Monitoring der Eingangs- und Ausgangsparameter zwingend notwendig. Die Schwierigkeit, mit welcher sich ein solches Monitoring umsetzen lässt, wird im nächsten Kapitel beschrieben.

## 12. Der ÖSL Ansatz

### Begründung für den Erhalt von intakten Moorhabitaten

Wenn wir den Nutzen des Erhalts von Moorhabitaten aus der Perspektive Nachhaltige Entwicklung beurteilen wollen, so können wir sagen, dass Moorhabitats nur schon deswegen erhaltenswert sind, weil sie in sämtlichen drei *Nachhaltigkeitsdimensionen* Leistungen erbringen, die dem menschlichen Leben im Sinne einer Nachhaltigen Entwicklung dienlich sind. Bevor diese sogenannten *Ökosystemleistungen* (ÖSL), welche Moorhabitats erbringen, gelistet werden, soll kurz der verwendete ÖSL-Klassifizierungsansatz erläutert werden. Im Rahmen dieses Projekts wird auf das BAFU Inventar von spezifisch für die Schweiz erarbeiteten ÖSL sowie deren Indikatoren zurückgegriffen (STAUB et al. 2011). Die Autoren basieren auf dem für die Schweiz operationalisierten Ansatz des Ursprungsberichts *Millenium Ecosystem Assessment* (MEA) der Vereinten Nationen, nehmen aber zwei wichtige Anpassungen vor, welche im ursprünglichen Bericht, welcher den ÖSL-Ansatz einführte, so nicht enthalten waren. Der MEA Bericht klassifizierte die Leistungen, welche Ökosysteme erbringen in die Klassen „supporting services“ (Bsp. Nährstoffkreislauf im Boden), „provisioning services“ (Bsp.: Holzzuwachs), „regulating services“ (Bsp.: Bestäubung und Schädlingsbekämpfung“) und „cultural services“ (Bsp.: Erholungsleistung) (STAUB et al. 2011). In der Operationalisierung nach Staub et al. (2011) wird nun zwischen „Zwischenleistungen die dem Menschen keinen direkten Nutzen liefern“ und finalen ÖSL mit direktem Nutzen wie etwa der Erholungsleistung unterschieden. Durch diese Verbesserung in der Methode soll eine Doppelzählung verhindert werden, da man klar zwischen Leistung und Nutzen für den Menschen unterscheidet (STAUB et al. 2011), also etwa der Erholungswert der schönen Landschaft vom Nährstoffkreislauf im Boden getrennt wird. Die „supporting services“ aus dem MEA werden somit redundant, beziehungsweise nur als Zwischenleistung betrachtet und somit nicht direkt inventarisiert. Die zweite wichtige Änderung ist die Einteilung der Leistungen in sogenannte Nutzenkategorien.

Für jede finale Ökosystemleistung wird im Katalog (STAUB et al. 2011: 82–85) der Nutzen beschrieben, der die Bevölkerung von ihr beziehen kann, wobei der Nutzen konkret angibt „worauf sich der Wohlfahrtsbeitrag bezieht“ (STAUB et al. 2011). Die Nutzenkategorien nach Staub et al. (STAUB et al. 2011) werden mit „Gesundheit“, „Sicherheit“, „Wirtschaftliche Leistungen“ und „Natürliche Vielfalt“ betitelt. Für diese Projektarbeit wurden nun die folgenden fünf moorrelevanten finalen Ökosystemleistungen aus dem Katalog von Staub et al. (2011: 82–85) extrahiert.

Moorrelevante Ökosystemleistungen				
A) Erholungsleistung durch städtische Grün- und Freiräume sowie Nah- und Fernerholungs-räume	B) Identifikations-ermöglichung durch schöne und charakteristische Landschaften (Natur- und Kulturerbe)	C) Speicherung von CO <sub>2</sub>	D) Existenz natürlicher Vielfalt auf der Ebene der Arten, Gene, Ökosysteme und Landschaften	E) Angebot an wertvollen Natur- und Kulturlandschaften für die kommerzielle Nutzung im Tourismus
<i>Nutzen-kategorie:</i> Gesundheit	<i>Nutzen-kategorie:</i> Gesundheit	<i>Nutzen-kategorie:</i> Sicherheit	<i>Nutzen-kategorie:</i>	<i>Nutzen-kategorie:</i> Wirtschaftliche

			Natürliche Vielfalt	Leistungen
Soziales Fundament		Ökologische Obergrenze		Innerhalb der sozialen und ökologischen Grenzen

Tabelle 1: Moorelevante ÖSL, deren Nutzenkategorien und Einordnung in Doughnut

Die Erholungsleistung, welche durch den Nah- oder Fernerholungsraum der UBE erbracht wird, sowie die Identifikationsermöglichung mit diesen charakteristischen Landschaften erbringen Leistungen in der Nutzenkategorie der Gesundheit. Die Gesundheit selbst lässt sich wiederum im sozialen Fundament des Doughnutmodells nach Raworth (2012) einordnen. Die dritte Ökosystemleistung, die Speicherung von CO<sub>2</sub> durch die Torfschicht der Moore, welche der Nutzenkategorie Sicherheit zugeordnet ist, erbringt diese Sicherheit, indem sie den Klimawandel durch den Rückhalt von zusätzlichem CO<sub>2</sub> nicht verstärkt und lässt sich somit über das Element „climate change“ mit der ökologischen Obergrenze nach Raworth (2012) verbinden. Die Existenz natürlicher Vielfalt auf Ebene der Arten, Gene, Ökosysteme und Landschaften wiederum wirkt dem Element „biodiversity loss“ (Raworth 2012: 4) entgegen, da gewisse Arten jeweils auf spezifisch genutzte Moorökosysteme spezialisiert sind (MEIER und RUDMANN 2002) und ist ebenfalls der ökologischen Obergrenze zugeordnet. Nebst den zwei erstgenannten ÖSL, welche dafür sorgen, dass das soziale Fundament nach Raworth (2012) gestärkt wird, sowie den zwei letztgenannten, welche dazu beitragen, dass die ökologische Obergrenze nicht überschritten wird, gibt es noch eine fünfte ÖSL im Bereich der wirtschaftlichen Leistungen. Moorlandschaften, die durch das Angebot an wertvollen Natur- und Kulturlandschaften als touristische Anziehungspunkte kommerziell genutzt werden können, sind in der Lage einen finanziellen Ertrag zu generieren.



Abbildung 18: Das Doughnutmodell nach Raworth (2012)

Die genannte wirtschaftliche Nutzung soll nun möglichst so ausgelegt sein, dass das System nicht dazu führt, dass die ökologische Obergrenze überschritten oder aber das soziale Fundament unterschritten wird, das ganze System sich also im „safe and just space for

humanity“ oder „sicherem und gerechten Raum für die Menschheit“ befindet (RAWORTH 2012). Es ist dies der Raum einer Nachhaltigen Entwicklung, da es die vom Bundesrat in seiner Definition ebenfalls verwendeten drei Dimensionen Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft (WACHTER 2012) aufweist, und diese in einer Verbildlichung zusammenführt. Diese Verbindung zwischen einer Nachhaltigen Entwicklung und den von Moorhabitaten erbrachten Ökosystemleistungen lässt sich also wie folgt ausdrücken. Moorhabitats tragen möglichst viel zu einer Nachhaltigen Entwicklung bei, wenn sie

- 1) durch eine möglichst hohe Erholungsleistung und Identifikationsermöglichung das gesellschaftliche Element Gesundheit und somit das soziale Fundament optimieren,
- 2) durch das Speichern von so viel CO<sub>2</sub> wie möglich, sowie einer möglichst hohen Artenvielfalt das Überschreiten der ökologischen Obergrenze verhindern, sowie
- 3) touristisch so genutzt werden, dass die unter 1) und 2) gelisteten Punkte nicht beeinträchtigt werden.

Wenn wir nun davon ausgehen, dass weitere Moorhabitats verloren gehen, so würde dies im Kontext des Doughnutmodells nach Raworth (2012) folgendes bedeuten: Das soziale Fundament würde durch den Einschnitt in das Element Gesundheit durch den Wegfall der ÖSL A) und B) geschwächt. Zusätzlich würden die kritische ökologische Obergrenze an Biodiversitätsverlusten und die Klimawandelauswirkungen durch den Einbruch in ÖSL C) und D) schneller erreicht werden. Zuletzt würde durch die Reduktion der ÖSL E) auch die wirtschaftliche Wertschöpfung schrumpfen und somit das Bruttoinlandprodukt BIP darunter leiden. Zusammengefasst kann also gesagt werden, dass die fünf ÖSL, welche für Moorhabitats aus dem BAFU Inventar extrahiert wurden, in den drei Nachhaltigkeitsdimensionen Ökonomie, Gesellschaft und Ökologie Leistungen erbringen und der Verlust an Moorhabitats mit einem Verlust an diesen Leistungen einhergeht. Im Sinne einer Nachhaltigen Entwicklung sollen die Habitats sowie die erbrachten Leistungen deswegen geschützt werden.

### Priorisierung der Moorhabitats, welche aufgewertet werden sollen

Wenn der Stakeholder UBE gewisse Moorhabitats aufwerten möchte und seinen finanziellen Ressourceneinsatz dabei optimieren soll, so kann dies aus der Perspektive Nachhaltige Entwicklung durch den Einbezug von quantifizierten ÖSL geschehen, welche den „Wert“ von Moorhabitats in physischen Einheiten ausdrücken und somit einen Vergleich ermöglichen. Basierend auf der Erkenntnis, dass die Auswirkungen des Klimawandels und somit ein prognostizierter Zukunftszustand nicht auf einzelne Moorhabitats hinuntergebrochen werden kann (STAUBLI 2016), erfolgt der Vergleich gezwungenermassen auf der Grundlage des Ist-Zustands. Dies stimmt mit der Empfehlung des Experten Peter Staubli (2016) überein, dass trotz Unkenntnis der genauen Klimaentwicklung auf Ebene der einzelnen Moore die bereits geschädigten Habitats mit einer Toleranz regeneriert werden sollten, damit sie gegen zukünftige negative Auswirkungen des Klimawandels noch Spielraum besitzen. Ein reduktionistisches, aber aussagekräftiges Beispiel soll den Vergleich durch quantifizierte ÖSL verdeutlichen. In diesem fiktiven Beispiel hat der Stakeholder UBE die Möglichkeit mit dem ihm zur Verfügung stehenden Budget von CHF 30'000.- entweder Moor I oder Moor II aufzuwerten.

ÖSL	Moor I	Moor II
A) Erholungsleistung	Anlagefrei	Nicht Anlagefrei
C) Speicherung CO <sub>2</sub>	5t C ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> → 0 t C ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	6.22t C ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> → 0 t C ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>
D) Natürliche Vielfalt	Biodiversität: Keine gefährdete Sphagnum Art	Biodiversität: Rote Liste Sphagnum Art
E) Tourismus	Touristische Nutzung möglich	Touristische Nutzung möglich

Abbildung 19: Vergleich der ÖSL zweier Moore<sup>1</sup>

Was die Erholungsleistung von Moorhabitaten betrifft, so wird diese Leistung über einen Indikator von bei der Erholung störenden Anlagen gemessen. Ein Gebiet gilt als Erholungsspende, wenn es keine ungewünschten Anlagen beinhaltet (WEISS und KIENAST 2011). Moor I weist nun keine störenden Anlagen auf, wohingegen sich auf dem Gelände von Moor II eine Hochspannungsleitung befindet, welche in einer Umfrage von der Schweizer Bevölkerung als störend klassifiziert wurde (WEISS und KIENAST 2011). Bei Moor II könnte hingegen eine höhere Menge an CO<sub>2</sub>-Ausstoss pro Hektar vermieden werden. Zudem weist es noch eine Torfmoosart auf, welche sich auf der roten Liste befindet, wohingegen dies bei Moor I nicht der Fall ist. Bei beiden Moorhabitaten ist eine touristische Nutzung möglich. Der Vorteil des Ansatzes besteht nun darin, dass Daten aus allen drei Nachhaltigkeitsdimensionen zur Verfügung stehen. Durch die tatsächlich vorhandenen gesamtgesellschaftlich relevanten physischen Daten wird der Entscheidungsprozess in der Richtung einer Nachhaltigen Entwicklung einfacher als wenn beispielsweise nur qualitativ bekannt wäre, dass Moore Kohlenstoffspeicher sind aber der genau gespeicherte Wert und Ausstoss einzelner Habitats nicht bekannt ist. Dies, da stets Daten zu allen drei Nachhaltigkeitsdimensionen betrachtet werden und dann aktiv diejenigen Habitats für die Aufwertung priorisiert werden können, die eine aus Sicht des Stakeholders optimale Mischung aus den diversen ÖSL generieren.

### Expertenmeinung zum Priorisierungsansatz aus der Perspektive NE

Der Experte Peter Staubli (2016) sieht den Ansatz aus der Perspektive NE als interessantes Tool, durch welches gewisse Projekte angerissen werden können, beispielsweise wenn sich ein Moor besonders gut für einen Lehrpfad eignet und so touristisch genutzt werden kann. Er relativiert den praktischen Nutzen jedoch, da vor allem Besitzverhältnisse sowie der Kanton, in dem das Moor sich befindet, bei der Auswahl, welche Moore aufgewertet werden, von zentralerer Bedeutung sind (STAUBLI 2016). Er führt an, dass viele Moore Pro Natura gehören, wo Aufwertungsmassnahmen eher möglich sind als bei einem Bauern, der partout keine Regeneration auf seinem Besitz wünscht (STAUBLI 2016). Zusätzlich liegt der Regenerationsschwerpunkt bei den Hochmooren und nicht bei den Flachmooren (STAUBLI 2016). Dies, da die Flachmoore oftmals von den Bauern genutzt werden und eine Vernässung im Widerspruch mit einer intensiven landwirtschaftlichen Nutzung stehen würde, besonders wenn schwere Maschinen zum Zug kommen, die sonst einsinken würden (STAUBLI 2016). Des Weiteren weist der Experte Peter Staubli darauf hin, dass der Vollzug der Regenerationen durch die Kantone geschieht und deshalb auch abhängig von deren Finanzplanung ist (STAUBLI

<sup>1</sup> Für eine Einsicht in die Indikatoren und weswegen ÖSL B) keine Datengrundlage aufweist (siehe Anhang C: Tabelle zu den ÖSL nach Staub et al. (2011: 82-85) mit dazugehörigen Indikatoren plus Kommentar)

2016). Dass schweizweit stets die Moorhabitats mit dem höchsten Priorisierungsgrad aufgewertet werden, ist somit beinahe ein Ding der Unmöglichkeit. Für einen Akteur wie die UBE, die sich aktiv an den Nachhaltigkeitsprinzipien orientiert (COCH 2008), kann der Ansatz bei möglichen, zukünftigen, eigenen Projekten jedoch möglicherweise trotzdem einen Nutzen stiften.

## Konkrete Aufwertungs- und Anpassungsmassnahmen

### Einführung: Die Wichtigkeit und der Wirkungsgrad von Moorregenerationen

Wie bereits im Kapitel zur Priorisierung von Moorhabitats für Aufwertungsmaßnahmen erwähnt, liegt der Fokus in der Praxis eindeutig auf Hochmoorregenerationen (Staubli 2016: 3). Deswegen wird im Folgenden ausschliesslich auf die Aufwertungsmaßnahmen der vulnerableren Hochmoore eingegangen. Die zentrale Aussage zu den Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel ist hier, dass die bereits erprobten Aufwertungsmaßnahmen wie Wiedervernässung oder das Entfernen von Gehölzwuchs den Wasserspiegel des Hochmoores wieder steigen lassen (EIGNER 2003) und somit der Problematik der Mineralisation und dem Einwandern weiterer ungewünschter Pflanzen wie dem Pfeifengras oder Birken entgegenwirken (EIGNER 2003). Laut dem Experten Peter Staubli, welcher selbst bereits über 70 Moorregenerationen durchgeführt hat (STAUBLI 2016), ist es am zielführendsten bei den Regenerationsprojekten eine Art Toleranz oder Puffer gegen die mögliche negative Auswirkung der klimawandelbedingten Austrocknung einzubauen, indem man die Hydrologie soweit regeneriert, dass diese wieder der eines natürlichen Moores entspricht (STAUBLI 2016). In anderen Worten ist es also das Ziel von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel, die bestehenden Moore nicht weiter austrocknen und degradieren zu lassen, sondern vielmehr wieder zu einer natürlichen Hydrologie zurückzuführen, also bereits bestehende Schäden zu reparieren, um die Moorhabitats sozusagen im Nebeneffekt auch gleich resilient für die Zukunft zu machen. Ein schlichtes Nichthandeln wäre vor allem im Kontext der Hochmoore verheerend, da ab einem gewissen Degradierungsgrad eine vollkommene Wiederherstellung eines intakten Hochmoors bezüglich Hydrologie und dazugehöriger Flora und Fauna extrem schwierig wird (EIGNER 2003). Hierfür bieten sich mehrere Varianten an, die zwei wichtigsten, die Wiedervernässung und das Entfernen von Gehölzwuchs, sollen im Folgenden kurz überblicksartig vorgestellt wie auch kritisch beleuchtet werden.

### Die Wiedervernässung von Hochmooren

Die Wiedervernässung wird stets als wichtigste Regenerationsmassnahme angesehen, (EIGNER 2003) geht sogar soweit zu sagen, dass bei Gelingen dieser Massnahme alle anderen Massnahmen nachrangig sind. Das Ziel der Wiedervernässung von Hochmooren ist es, den Wasserspiegel bis an die Oberfläche des Geländes anzuheben aber keinen Überstau zu produzieren (EIGNER 2003). Diese allgemeine Aussage mag trivial klingen, die Umsetzung ist jedoch in der Praxis nicht immer ganz so leicht zu bewerkstelligen, wie folgende Informationen zu verschiedenen Neigungen der Moortopographie bereits andeuten. Grünig (1994) führt an, dass wenn die Neigung des Moors weniger als 1% beträgt, bestehende Entwässerungsgräben im Mooregebiet schlichtweg gedämmt werden können, sofern deren Durchmesser weniger als 1 Meter beträgt. So wird das Ziel, den Wasserspiegel auf Geländeoberfläche zu steigern, ohne dabei einen Überstau auszulösen bereits erreicht. Bei Geländeneigungen über 1% hingegen muss laut Grünig (1994) bereits der ganze Entwässerungsgraben mit Torf aufgefüllt werden, wobei nicht vergessen werden darf, den für die Auffüllung entfernten Oberflächenbewuchs

wieder anzubringen, um keine Erosionsproblematik zu erzeugen. Dieses kleine Beispiel soll bereits verdeutlichen, dass die Wiedervernässung in der praktischen Umsetzung nicht nach einem Standardkonzept gelöst werden kann, was der Experte Peter Staubli (2016) so bestätigt. Er fügt zudem an, dass es eine Fülle an technischen Möglichkeiten gibt, die man je nach Situation einzeln oder kombiniert einsetzen soll (STAUBLI 2016), da es sich bei jedem Moor um ein Individuum mit seinen eigenen Partikularitäten handelt (STAUBLI 2016).

### Das Entfernen von Gehölzwuchs

Ab einem gewissen Degradierungsgrad kommt es durch den Nährstoffeintrag zu Bedingungen im Hochmoor, welche Birken- und Kiefernbewuchs ermöglichen (EIGNER 2003). Diese Baumarten sind insofern nachteilig für das Hochmoor, als dass sie dem Moor nicht nur Wasser entziehen und somit den Wasserspiegel absenken, sondern auch die lichtliebenden Moorarten durch den produzierten Schattenwurf unterdrücken (EIGNER 2003). Laut Eigner (2003) ist es jedoch nur sinnvoll diesen Gehölzwuchs zu beseitigen, wenn gewisse Vorbedingungen gegeben sind. Erstens soll es sich bei der Fläche, auf welcher die Entfernung ausgeführt wird, um eine Fläche handeln, welche auch wirklich eine Vernässung durch ombrotrophes stagnierendes Wasser zulässt (EIGNER 2003). Ist dies nicht gegeben, so kann man direkt auf das Entfernen verzichten. Zweitens soll auch von einer Entfernung abgesehen werden, wenn die Fläche bereits optimal vernässt ist und eine regenerierende Moorvegetation beispielweise durch eine geglückte Wiedervernässung wieder am Aufkommen ist (EIGNER 2003). Als sinnvoll wird in der Folge lediglich eine Entfernung des Gehölzwuchs erachtet, wenn das Gelände eine optimale Vernässung begünstigt und man bis zum Einsetzen der Regenerationsprozesse dem Aussterben weiterer hochmoorspezifischer Arten, welche durch die Ausbreitung weiterer Gehölzpflanzen bedroht werden, vorbeugen will (EIGNER 2003). Auch der Experte Peter Staubli (2016) warnt davor, sich auf rein monokausale Zusammenhänge zu beschränken, indem er darauf hinweist, dass im Rahmen einer Untersuchung das Entfernen von Bäumen die Situation im Moor sogar verschlechtert hat. Dies, weil zwar dem Effekt der Austrocknung mittels Wasserentzug durch die Bäume entgegengewirkt werden konnte, jedoch das Moor trotzdem weiter austrocknete, da es lokal starke Winde gab, die das Moor dann durch den fehlenden Windschutz durch die Bäume sogar weiter austrockneten (STAUBLI 2016). Dies soll wiederum wie bereits bei der Wiedervernässung nahelegen, dass man jedes Moor als Individuum mit seinen Partikularitäten betrachten muss (STAUBLI 2016), bevor man zu irgend einer Standardlösung greift, die sich dann sogar nachteilig auswirken kann, wie dies das Entfernen der Bäume im obigen Beispiel zeigt.

## 13. Monitoring

Wie die Untersuchung der Hoch- und Flachmoore zeigt, sind diese Moortypen sehr anfällig gegenüber Änderungen der moorinternen Prozesse. Die Implikationen einer Umformung der Abläufe sind sehr vielfältig. Im besten Fall passt sich das Biotop an die neue Bedingung an und im schlimmsten Fall führt die Schwankung zu einer Kettenreaktion, die mehrere Abläufe verändert und das Moor kollabieren lässt.

Während die Flachmoore eine gewisse Resilienz gegenüber Fluktuationen aufweisen, kann die Funktionalität der Hochmoore bereits wegen einer kleinen Variabilität der Prozesslaufgeschwindigkeit zusammenbrechen.

Viele der Prozesse, die in Moorhabitaten ablaufen sind direkt mit deren abiotischen Umgebung verknüpft. Wie im Kapitel Klimawandel dargelegt wurde, sind klimatische Änderungen in der UNESCO Biosphäre Entlebuch zu erwarten. Die Auflösung der Klimadaten und Prognosen reicht jedoch nicht aus um eine Vorhersage für einzelne Moore zu erstellen. Zudem ist jedes Moor in seiner Zusammensetzung und seinen Ausprägungen sehr individuell (STAUBLI 2016). Wie im Kapitel Resultate gezeigt, ist es nicht möglich ein quantitatives Modell zu erstellen, welches eine zuverlässige Aussage über die Implikationen des Klimawandels für die einzelnen Moorhabitats der UBE ermöglicht.

Um die Moorhabitats zu schützen, muss ein anderer Weg als ein prädiktives Modell gefunden werden. Da jede Änderung der moorinternen Prozesse ein Risiko für intakte Moorhabitats darstellt, liegt es auf der Hand die Eigenschaften der prozessbestimmenden Parameter zu Monitoren und bei festgestellten Abweichungen mit entsprechenden Aufwertungs- und Stabilisierungsmassnahmen zu intervenieren.

Die in diesem Kapitel vorgestellte Skizze eines Monitorings erörtert welche Parameter sich zur Überwachung von Hoch- und Flachmooren eignen und umreißt einige Vorschläge, wie diese charakterisierenden Eigenschaften gemessen werden könnten. Die Parameter die für ein *Monitoring* interessant sind lassen sich mit Hilfe des systemtheoretischen Modells, welches die qualitativen Zusammenhänge beschreibt, identifizieren.

Bei der Evaluation, der für ein Monitoring geeigneten Parameter ist der Fokus auf die Reaktionszeit zu legen, die diese Parameter gegenüber Änderungen aufweisen. Denn Veränderungen der abiotischen Faktoren werden oft erst nach fünf Jahren an der Pflanzensammensetzung erkennbar. Wird zum Zeitpunkt der Erkenntnis der Änderungen in der Pflanzensammensetzung mit Stabilisierungsmassnahmen interveniert, haben sich die Prozesse bereits während fünf Jahren an die neuen Bedingungen angenähert. Es ist möglich, dass einige Arten nicht fähig sind, sich den neuen Umgebungsbedingungen anzupassen und aussterben. Ausgestorbene Spezies sind nicht immer sofort erkennbar, denn es gibt Arten die ausgestorben sind auch wenn noch einige Individuen von ihnen existieren (extinction dept). Mit extinction dept werden Arten bezeichnet, die sich unter den Bedingungen im Biotop nicht mehr fortpflanzen können, von denen jedoch noch einige Individuen leben (KUUSSAARI et al. 2009). Damit sich eine charakterisierende Eigenschaft für das Monitoring eignet, sollte sie eine Änderung also möglichst zeitnah anzeigen.

## Methoden

In diesem Teil werden erst die messbaren Parameter, sogenannte *Vektoren* vorgestellt und es wird erörtert ob sich diese für ein Monitoring eignen. Damit sich ein Parameter zur Messung eignet, sollte die Messung einfach über längere Zeit ausführbar sein und der Aufwand die Messung auszuführen muss sich in Grenzen halten, sodass es möglich ist, Messungen auf der Skala einzelner Moore auszuführen.

### Messbare Vektoren

#### Insekten und Vögel

Aufgrund der Abhängigkeit zwischen den unterschiedlichen Ebenen der Nahrungskette ist die Artenvielfalt der Insekten und Vögel ein wichtiger Indikator für die Funktionsfähigkeit von Biotopen (HADDAD et al. 2011; HADDAD et al. 2009). Um Veränderungen der Funktionalität von Hoch- und Flachmooren zu erkennen kann die Artenvielfalt der Insekten und Vögel bestimmt werden. Die Diversität der Vögel kann durch Beobachtungen bestimmt werden. Um die Biodiversität der Insekten zu bestimmen, kann die Methode des sweep netting verwendet werden. Bei dieser Methode wird durch die Zielvegetation ein Netz normierter Fläche gezogen und die Artenvielfalt der gefangenen Insekten bestimmt (SPAFFORD und LORTIE 2013).

Diese Biodiversitätsbestimmung ist zwar relativ einfach und muss nur in einem langen Intervall durchgeführt werden aber sie ist sehr aufwändig, wenn sie in vielen unterschiedlichen Mooren durchgeführt werden muss. Zudem ist die Artenvielfalt der Vögel und Insekten von den vorhandenen Pflanzen abhängig, wodurch eine grosse Latenz zwischen der Änderung im Moor und der Vogel- und Insektenpopulation entsteht. Denn wie bereits erörtert wurde, verändert sich die Flora der Moore mit einer starken Verzögerung. Eine Verschiebung in der Zusammensetzung der Insekten- und Vogelpopulation würde noch später eintreffen. Das Risiko besteht also, dass zu diesem Zeitpunkt die Moore bereits so stark degradiert sind, dass eine Restaurierung zu spät kommt.

Diese Messung eignet sich also nicht für ein kontinuierliches Monitoring. Allerdings kann sie initial ausgeführt werden um die Biodiversität zu bestimmen und diese Informationen bei der Evaluation des Wertes des Moorhabitats miteinfließen zu lassen um zu entscheiden ob sich eine Erhaltung des betreffenden Biotops lohnt.

#### Säuregrad

Der Säuregrad der Moore ist ein abiotischer Faktor, welcher einen starken Einfluss auf die Vegetation und Funktionalität der Hoch- und Flachmoore hat. Bedingt durch die Torfmoose haben die Hochmoore einen tiefen pH-Wert und somit einen sauren Boden. Die Flachmoore dagegen haben einen leicht sauren bis leicht basischen pH-Wert. Bei den Hochmooren ist der Säuregrad ein entscheidender Faktor, der die Biomassenproduktion der Torfmoose bestimmt. Diese enge Verbindung zwischen dem Säuregrad des Bodens und der Biomassenproduktion der Torfmoose führt zu einer schnellen Reaktionszeit bei Änderungen, wodurch sich dieser Parameter gut für ein Monitoring von Hochmooren eignet. Der pH-Wert kann einfach und kostengünstig mit pH Indikatorstäbchen bestimmt werden. Allerdings ist die Auflösung dieser Messresultate nicht sehr gross wodurch auch die Messunsicherheit relativ hoch ist. Da diese Messung jedoch eine Wasserprobe erfordert, ist sie relativ Aufwändig wenn viele Moorhabitats überwacht werden und ein kurzes Messintervall gewählt wird.

## Temperatur

Die Temperatur ist ein wichtiger Faktor der die Vegetationszeiten der Pflanzen bestimmt. Somit hat sie einen Einfluss auf die Funktionalität der Moorhabitats. Da die Temperatur eine Grösse ist, die direkt vom Klimawandel beeinflusst wird, hat sie die schnellstmögliche Reaktionszeit, die gemessen werden kann. Dadurch eignet sich die Temperatur sehr gut für ein Monitoring. Zudem lässt sich die Temperatur sehr einfach und voll automatisiert messen. Da die unterschiedlichen Moore sehr individuell sind und die Temperatur lokal variieren kann, ist es wichtig die Temperatur jedes einzelnen Moorhabitats zu messen. Um die Variabilität in der Temperatur sichtbar zu machen sollten die Messungen in einem möglichst kurzen Intervall aufgezeichnet werden. Wenn eine Veränderung der mittleren Jahrestemperaturen oder der intraannuellen Verteilung festgestellt wird, sollten Aufwertungs- und Stabilisierungsmassnahmen evaluiert werden.

## Niederschlag

Wie die Temperatur, ist auch der Niederschlag einer der Faktoren, der die Vegetationszeit von Pflanzen bestimmt und somit eine Auswirkung auf die Funktionalität der Moorhabitats hat. Gemäss den Klimaprognosen die im Kapitel Klimawandel in der UBE untersucht wurden, sind Änderungen in der Niederschlagsverteilung zu erwarten. Besonders für Hochmoore die nur durch Regenwasser mit Nährstoffen und Wasser versorgt werden, ist der Niederschlag ein zentraler Parameter. Die Niederschläge können regional sehr stark variieren. Zum Beispiel kann es auf der Luvseite eines Hügels ganz andere Niederschlagsmengen geben als auf der Leeseite. Dadurch ist die Voraussetzung eine gute Auflösung der Niederschlagsmessdaten zu haben für die Konservierung der Hochmoore unumgänglich.

Die Niederschlagsmessung ist nicht so einfach und kostengünstig wie die Temperaturmessung durchzuführen, jedoch lässt sich diese mit der entsprechenden Messstation ebenfalls voll automatisieren. Da der Niederschlag ein so wichtiger Parameter für die Hochmoore ist und die lokale Variabilität des Niederschlags sehr gross ist sollte dieses Monitoring für alle Hochmoore die erhalten werden sollen durchgeführt werden.

## Quellwasser

Das Quellwasser ist ein wichtiger Nährstoff- und Wasserlieferant für Flachmoore. Wenn sich die gelieferte Quellmenge verändert, kann sich dadurch die Vernässung des Bodens und somit die Verteilung der Habitats verändern. Je nach Einzugsgebiet kann die Messung aller Zuflüsse aufwendig sein. Ein Monitoring des Grundwasserspiegels ist sinnvoller und gibt auch Auskunft über das Quellwasser, denn eine Veränderung des Grundwasserspiegels ist direkt auf das Verhältnis zwischen Zu- und Abfluss zurück zu führen.

## Grundwasserspiegel

Der Grundwasserspiegel bestimmt die Durchnässung des Bodens und wegen des grossen Wasserbedarfs der Moore auch deren Existenz. Ein Rückgang des Grundwasserspiegels kann zur Austrocknung des Lebensraumes führen. Ein Monitoring der Tiefe des Grundwasserspiegels eignet sich besonders für Flachmoore. Diese sind nicht so stark vom Niederschlag abhängig und ihre Wasserversorgung ist stark vom Grundwasserspiegel abhängig. Der Grundwasserspiegel lässt sich einfach und vollautomatisch messen und hat eine kurze Reaktionszeit. Dadurch eignet sich diese Grösse für ein Monitoring.

## Verbuschung

Büsche und Bäume entziehen dem Boden viel Wasser und eine Zunahme dieser kann den Wasserhaushalt der Moore grundlegend verändern. Damit die Biotope stabil bleiben, muss auch das Vorkommen dieser Arten konstant sein. Um Veränderungen in der Häufigkeit der Büsche und Bäume zu überwachen eignet sich ein Foto Monitoring. Dazu sollten Aufnahmen vom Moorhabitat in einem regelmässigen Intervall von einem definierten Standort gemacht werden. So sind Änderungen schnell im Vergleich mit den alten Bildern zu erkennen. Die Verbuschung hat zwar eine lange Reaktionszeit, jedoch existiert mit der Entfernung der neuen Büsche und Bäume eine einfache Aufwertungsmassnahme und das Monitoring ist einfach auszuführen.

## Biodiversität

Da die Biodiversität ein sehr ausgeprägtes Merkmal der Hoch- und Flachmoore ist, ist an ihr gut der Zustand der Moore zu erkennen. Mit der  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Diversität kann die Biodiversität in Biotopen bestimmt werden (WHITTAKER 1972). Hier wird die Biodiversität durch Zählen der absoluten Anzahl unterschiedlicher Arten in einem definierten Bereich bestimmt. Als  $\alpha$ -Diversität kann die Artenvielfalt der einzelnen Vegetationstypen bestimmt werden, als  $\gamma$ -Diversität eignet sich die absolute Anzahl der Arten im Flachmoor und die  $\beta$ -Diversität quantifiziert die Heterogenität des Flachmoores. Bei dieser Metrik ist jedoch zu beachten, dass alle Arten in das Resultat einfließen. Deshalb kann am Messresultat nicht erkannt werden, wenn Flachmoorarten von anderen Pflanzen verdrängt wurden. Um Veränderungen der Vegetation im Flachmoor einfacher festzustellen, können die Flachmoorarten in dieser Metrik stärker gewichtet werden (z.B. zweimal zählen).

Da Hochmoore nur von wenigen Arten belebt werden, diese jedoch sehr einzigartig sind, ist nicht eine hohe Biodiversität massgebend. Hier ist es wichtiger die einzigartigen Zeigerarten zu identifizieren und ihre relative Häufigkeit zu überwachen. Ein Rückgang der Torfmoosbedeckung oder der Verlust einer vaskulären Hochmoorzeigerart deutet bereits auf eine Degradation des Biotopes hin.

Wegen der langen Reaktionszeit der biologischen Zeigerarten und der eher aufwändigen Biodiversitätsbestimmung eignet sich ein Biodiversitätsmonitoring jedoch nicht um rechtzeitige Stabilisierungsmassnahmen zu einzuleiten. Jedoch kann auch dieses Monitoring initial verwendet werden um Moorhabitats die überwacht werden sollen zu evaluieren.

## Anwendung

In der Erörterung der aufgeführten Parameter wird schnell klar, dass viele entweder zu langsam auf Änderungen reagieren oder schwierig zu messen sind. Es gilt daher, geeignete Monitoring Methoden zu wählen, die mit geringem Aufwand über längere Zeit durchgeführt werden können und die Parameter überwachen, welche eine schnelle Reaktionszeit auf klimatische Änderungen haben. Aufgrund der Argumentation der verschiedenen Monitoring Methoden erscheint das folgende Monitoring sinnvoll.

## Hochmoor

- Temperatur Monitoring
- Niederschlags Monitoring
- Verbuschungs Foto Monitoring

## Flachmoor

- Temperatur Monitoring
- Grundwasserspiegel Monitoring
- Verbuschungs Foto Monitoring (Wenn kein jährlicher Schnitt gemacht wird)

Wenn durch das Monitoring eine starke Änderung der überwachten Parameter erkannt wird sollten Stabilisierungs- oder Aufwertungsmassnahmen in Betracht gezogen werden.

## 14. Beitrag zu einer Nachhaltigen Entwicklung

Das im Unterkapitel „Begründung für den Erhalt von intakten Moorhabitaten“ eingeführte Konzept der Ökosystemleistungen macht klar, dass intakte Hoch- und Flachmoore von zentraler Bedeutung für die Biodiversität sind und über Kohlenstoffspeicherkapazität verfügen und somit dem Klimawandel vorbeugen (STAUBLI 2016). Zusätzlich ermöglichen sie die Identifikation mit einer erholsamen sowie schönen charakteristischen Landschaft und weisen eine hohe Attraktivität für die kommerzielle touristische Nutzung auf. Wie bereits ausgeführt wurde, steuern sie somit Leistungen zur Stärkung des sozialen Fundaments wie auch Leistungen zum Verbleib innerhalb der ökologischen Obergrenze im Doughnutmodell (RAWORTH 2012) bei. Zusätzlich können sie auch durch die touristische Nutzung, also zur Stärkung der Ökonomie, beitragen, wobei jedoch beachtet werden muss, dass dabei Tradeoffs mit den ÖSL aus den Leistungskategorien der Ökologie oder der Gesellschaft entstehen können. Dies beispielsweise wenn Touristen sich nicht auf den offiziellen Wegen und schützenden Stegen bewegen, sondern sich direkt auf das Moor begeben. Dadurch kommt es zur Degradierung durch Trittschäden, welche den Torfkörper freilegen und Erosion begünstigen (GRÜNIG 1994). Die Quintessenz ist jedoch, dass Moorhabitats in allen drei Nachhaltigkeitsdimensionen Ökonomie, Gesellschaft sowie Ökologie Leistungen erbringen, welche bei der Degradierung dieser Habitats abnehmen würden. Das im Rahmen dieser Projektarbeit erarbeitete Wissen über das Zusammenspiel von klimawandelbedingten Änderungen in Moorhabitats und den angebrachten Anpassungs- und Aufwertungsmassnahmen ist deshalb von höchster Bedeutung, wenn es um das Fortbestehen sowie den Leistungsgrad der einzelnen ÖSL in der Zukunft geht. Damit einzelne Ökosystemleistungen und somit möglicherweise auch einzelne Nachhaltigkeitsdimensionen bei der Priorisierung der Moorhabitats für Aufwertungsmassnahmen nicht ausser Acht gelassen werden, haben wir im Rahmen dieser Arbeit zusätzlich einen eigenen Ansatz zur Priorisierung entwickelt. Dieser besteht aus einer Adaption des ÖSL-Inventars für die Schweiz nach Staub et al. (2011) und stellt quantifizierte Daten zu den vier moorrelevanten aus dem Inventar extrahierten ÖSL dar. Unter Anwendung dieses Ansatzes soll die Entscheidungsfindung, welche Moorhabitats für Aufwertungsmassnahmen priorisiert werden sollen mit Blick auf eine Nachhaltige Entwicklung, erleichtert werden, da Daten aus sämtlichen Nachhaltigkeitsdimensionen vorhanden sind und somit in den Entscheidungsfindungsprozess miteinfließen können.

## 15. Methodenkritik

Das Ziel dieses Kapitels ist es, die angewandten Untersuchungsmethoden kritisch zu beleuchten und zu hinterfragen, um die implizit darin vorhandenen Einschränkungen noch einmal zum Ausdruck zu bringen. Die Relevanz dieser Ausführung ist dadurch gegeben, dass die durch die Projektarbeit erlangten Erkenntnisse nach sorgfältiger Durchsicht dieses Kapitels sachgerecht interpretiert werden können, weil in den Methoden inhärente potentiell vorhandene Mängel erläutert werden sollen. Zu diesem Zweck wird als erstes die Anwendung der aus der Literaturrecherche abgeleiteten Systemtheorie und in der Folge das Experteninterview besprochen.

### Anwendung der Systemtheorie

Das von uns entwickelte systemtheoretische Modell stellt aus der Literaturrecherche abgeleitete Wirkungszusammenhänge im Ökosystem Moor dar und ermöglicht qualitative Aussagen zum Klimawandel. Der Vorteil dieser allgemeinen, qualitativen Aussagen besteht darin, dass wir im Rahmen dieser Arbeit für die UBE als Entität einen Trend von negativen klimawandelbedingten Auswirkungen auf die Moorhabitats konstatieren können. Die Aussagekraft des Modells für die Praxis ist aber aktuell durch zwei entscheidende Punkte eingeschränkt. Erstens klafft momentan noch eine grosse Datenlücke, die durch aufwendige Erhebungen geschlossen werden muss. Erst wenn man beispielsweise den Wasserspiegel von einem bestimmten Hochmoor gemessen hat, kann man durch eine Modellberechnung das Absinken des Wasserspiegels durch die Inputs geringere Sommerniederschläge und erhöhte Temperatur ermitteln und damit Rückschlüsse auf die genauen weiteren Auswirkungen ziehen. Das Wort „genau“ ist hierbei das Stichwort für den zweiten momentanen Mangel, da es sich momentan nicht um ein quantitatives Modell, welches die Outputs in physischen Einheiten berechnet, handelt.

### Das Experteninterview

Wie bereits im Kapitel zur Methodik erwähnt, ist das Experteninterview dadurch gekennzeichnet, dass der Befragte in seiner Funktion als Experte für bestimmte Gebiete zu sehen ist (MAYER 2002). Dass Peter Staubli durch sein Mitwirken an rund 70 Moorregenerationsprojekten (STAUBLI 2016) als Experte zur Thematik vom systemischen Funktionieren der Moorhabitats sowie dem pragmatischen Umsetzen von Regenerationsmassnahmen auch mit Ausblick auf Klimawandelfolgen zu sehen ist, steht ausser Frage. Durch den Umstand, dass wir das Leitfadeninterview nur mit ihm durchgeführt haben, können wir allerdings nicht komplett ausschliessen, dass auch gewisse subjektive Meinungen seinerseits zum Vorgehen bei Moorregenerationen oder zur Wichtigkeit des Klimawandels bei diesen Projekten eingeflossen sind.

## 16. Interdisziplinarität und die Zusammenarbeit in der Gruppe

Das folgende Kapitel widmet sich dem Thema der interdisziplinären Zusammenarbeit und besteht aus drei Teilen. Im ersten Teil werden die Personen sowie deren disziplinäre Beiträge erörtert. Im zweiten Teil wird in der Folge auf einige Herausforderungen eingegangen, denen wir im Rahmen dieser Projektarbeit aufgrund der interdisziplinären Komposition der Gruppe begegnet sind. Abschliessend werden noch die gewonnenen Erkenntnisse aus der interdisziplinären Zusammenarbeit für zukünftige Arbeiten angeschnitten.

### Die Personen und ihre disziplinären Beiträge

Chantal, welche im Hauptfach Geographie studiert, konnte aufgrund dieses Backgrounds wichtige inhaltliche theoretische Grundlagen zum Thema der Hydrologie und Klimatologie beisteuern. Zusätzlich ist Chantal auch mit verschiedenen naturwissenschaftlichen Methoden vertraut, was sich in der Wahl des Mixed-Method Designs und der Systemtheorie für diese Projektarbeit niederschlug. Jakob und Severin, welche beide Computerwissenschaften im Hauptfach studieren, konnten ebenfalls viele Inputs in die interdisziplinäre Arbeit einbringen. Besonders wertvoll war in diesem Kontext die verwendete webbasierte Kommunikationssoftware „Confluence“. Über diese wurde praktisch unsere gesamte Arbeit koordiniert, da auf der Webpage sämtliche relevanten Inhalte wie Protokolle, Traktandenlisten oder Workpackages zu den einzelnen zu schreibenden Teilen zentral abgelegt werden konnten. Zusätzlich hierzu konnten wir auch die gesamte Literatur für alle zugänglich uploaden sowie uns gegenseitig Aufgaben zuteilen, welche ebenso über das „Confluence“ abgehakt werden konnten. Ebenso verfügen Severin und Jakob über Publikationserfahrung, was sich positiv auf deren Schreibkompetenz auswirkte. Weiterhin studieren beide im kleinen Nebenfach Geographie, wodurch auch sie inhaltliche Akzente in punkto Hydrologie und Klimatologie setzen konnten. Patrik und Isabelle vervollständigen die Gruppe mit ihrem Hauptfach Englische Sprach- und Literaturwissenschaften. Beide konnten bereits extensive Erfahrungen im Verfassen von akademischen Arbeiten sammeln, da ihr Studium von der Ausrichtung her auf diese Tätigkeit geprägt ist. Zusätzlich haben beide Erfahrung im kritischen Lesen, was sich während der Literaturrecherche als positives Attribut herausgestellt hat, indem sie äusserst wichtige von weniger zentralen Informationen in Texten schnell unterscheiden konnten und dadurch effizient, die für den Kontext unserer Arbeit zentralen Punkte aus der Literatur herausarbeiten konnten. Isabelle hat zudem im Rahmen ihres Nebenfachs Sportwissenschaften bereits ein Leitfadenterview durchgeführt, weswegen sie auch im Rahmen dieses Projekts wiederum als Hauptverantwortliche für diesen Teil eingesetzt werden konnte.

### Herausforderungen in der interdisziplinären Zusammenarbeit

Das erste anzusprechende Problem, die unterschiedlichen Meinungen innerhalb der Gruppe, konnte stets durch einen Mehrheitsentscheid gelöst werden, da die Gruppe ja aus einer ungeraden Anzahl von Mitgliedern besteht. Nichtsdestotrotz gab es eine zentrale Herausforderung betreffend der inter- und transdisziplinären Zusammenarbeit in der Gruppe. Dies war die konkrete Ausrichtung der Arbeit. Da die Ausformulierung der Ziele und Fragestellungen einen gewissen Spielraum erlaubten und sämtliche Gruppenmitglieder sehr ehrgeizig ihre eigenen Interessen verfolgen wollten, gab es hier einiges an Konfliktpotential. Zusätzlich hierzu kam es zu Unstimmigkeiten in der Gruppe aufgrund von Meinungsunterschieden über die korrekte und rechtzeitige Kommunikation von Problemen

innerhalb des Teams. In einem ausführlichen Gespräch am 1. Juni 2016 konnten jedoch sämtliche Unstimmigkeiten beigelegt werden und der Fokus im Sinne der themenzentrierten Interaktion wurde weg von der Dominanz des „ichs“ auch wieder auf das „wir“ und das „es“, will heißen das gemeinsame Erreichen des Ziels, gelegt (COHN und FARAU 2001). Dieses Finden einer gemeinsamen Kommunikationsebene, welche zukünftigen Missverständnissen vorbeugt, hat sich dann auch ausserordentlich positiv auf die danach erfolgten Arbeitsschritte wie etwa der gemeinsamen Ausarbeitung der Präsentation oder das Verfassen der schriftlichen Arbeit ausgewirkt.

### Gewonnene Erkenntnisse aus der interdisziplinären Zusammenarbeit für zukünftige Arbeiten

In der interdisziplinären Zusammenarbeit haben wir als Gruppenmitglieder sowohl Vorteile wie auch Nachteile erkannt. Als ersten grossen Vorteil erachten wir die verschiedenen Erfahrungswerte der einzelnen Disziplinen, welche den anderen Gruppenmitgliedern Einblicke in neue Sicht- und Denkweisen ermöglichten. Bedingt durch diese Horzonterweiterungen kann man zu komplett anderen Einsichten gelangen, welche die Projektarbeit dann auch inhaltlich zu beeinflussen vermögen. Zusätzlich fördert die Einsicht, dass verschiedene Personen einen unterschiedlichen methodischen Arbeitshintergrund haben und gewisse Themen durch unterschiedliche Linsen betrachten auch den zwischenmenschlichen Respekt und das gegenseitige Verständnis, welches man den Gruppenmitgliedern entgegenbringt. Als zweiten Vorteil erkennen wir das Kennenlernen von neuen Arbeitsmethoden und Tools wie beispielsweise die Software „Confluence“, welche wir auch in Zukunft für andere Projekte benutzen können. Als dritter Vorteil sei noch genannt, dass man lernt sich an die Evaluation anderer zu gewöhnen und somit seine eigenen Outputs in Zukunft auch mit einer gewissen objektiven Distanz betrachten kann, anstatt ich-bezogen stets von seinem eigenen Output ganzheitlich überzeugt ist. Als letzter Vorteil sei noch angefügt, dass man die Arbeit nach den eigenen disziplinären Stärken und Interessen aufteilen kann. Nebst diesen grossen Vorteilen sind wir jedoch auch einem Nachteil der interdisziplinären Zusammenarbeit begegnet. Dieser liegt darin begründet, dass diese Form der Zusammenarbeit einen enorm höheren Zeitaufwand erfordert, als wenn man die Arbeit in einem disziplinären Team löst. Dies vor allem dadurch, dass man disziplinäre Verständnisprobleme überbrücken muss, um die bereits angesprochene gemeinsame Kommunikationsebene zu finden. Dieser Umstand wiederum erfordert viel Verständnis für gegensätzliche Positionen und die Bereitschaft, eine gewisse Zeitperiode für das Schaffen eines Fundaments der Gruppe zu opfern, damit man gemeinsam und ergiebig als interdisziplinäres Team arbeiten kann. Da die Vorteile jedoch als Gesamtpaket gegenüber diesem Nachteil eindeutig überwiegen, ist unser Erkenntnissatz für zukünftige Arbeiten, dass der gegenseitige Respekt im Sinne einer themenzentrierten Interaktion mit einem Gleichgewicht von „ich-es-wir“ (COHN und FARAU 2001) sowie Reflexionen über das Empfinden der anderen Gruppenmitglieder und die offene Diskussion zur Überbrückung disziplinärer Sichtweisen als Erfolgsrezept stets beizubehalten sind.

## 17. Diskussion

In dieser Arbeit wurden, die hochkomplexen Prozesse und Zusammenhänge innerhalb der Moortypen Flachmoor und Hochmoor zu untersuchen und systematisch in einem Modell auszuarbeiten. Zusätzlich wurden, kurz- und langfristige Anpassungs- und Aufwertungsmassnahmen identifiziert, die die negativen Auswirkungen des Klimawandels minimieren können. Dazu wurden eine Literaturrecherche, sowie ein Experteninterview durchgeführt. Hierbei müssen zwei wesentliche Kritikpunkte festgehalten werden, erstens, die Literaturrecherche wurde basierend auf den Vorgaben und Inputs der Dozierenden und des Auftraggebers durchgeführt, wodurch sich eine gewisse Subjektivität bei der Auseinandersetzung mit dem Thema natürlicherweise konstatiert. Wir konnten diese Problematik jedoch entschärfen, indem wir erst den Fokus weiteten und selbständig versuchten, Literatur aus verschiedensten Disziplinen, Quellen und Orten zuzuziehen. Dadurch öffnete sich unsere Betrachtungsweise und wir erarbeiteten unser eigenes Wissen über die Funktionsweise von Moorhabitaten.

Ein weiterer Kritikpunkt besteht darin, dass nur ein einziges Experteninterview mit einem in der Branche arbeitenden Experten durchgeführt wurde und so nur eine Sichtweise in die Arbeit einfließen konnte. Dies lag daran, dass wir aufgrund der extrem spezifischen Thematik nur eine Zusage erhalten haben, obwohl wir mehrere Experten anfragten, die mit dem Thema vertraut sind. Damit uns diese Tatsache nicht zu stark beeinflusste, setzten wir uns vorgängig intensiv mit der Sachlage auseinander, sodass wir eine vielseitige und fundierte eigene Meinung bezüglich Aufwertungsmassnahmen und Ökosystemleistungen, welche auch politischer Natur sein können, hatten. Dies zeichnete sich insbesondere bei den Interviewfragen ab, da wir nun Fragen gezielt formulieren und dadurch objektive Antworten erhalten konnten.

Das aus diesen zwei Teilen bestehende Modell ermöglichte es uns, qualitative Aussagen über die funktionsweise des Ökosystems Moor zu machen und wichtige Zusammenhänge mit den Auswirkungen des Klimawandels zu erkennen. Insbesondere liessen sich einige ökohydrologische Schlüsselfaktoren identifizieren, welche für das Fortbestehen eines Moors von Bedeutung sind. Die Anwendung der Systemtheorie hatte zusätzlich den Vorteil, dass wir trotz des stark eingeschränkten zeitlichen Rahmens unserer Arbeit und der damit verbundenen oberflächlichen Betrachtungsweise, immer noch Schlüsse über die Funktionsweise der Prozesse ziehen konnten.

In Anbetracht dessen, konnten auch verschiedene Themen vertiefter ausgearbeitet werden, während andere, aus unserer Sicht für den Zusammenhang mit dem Klimawandel nebensächliche Teile, getrost vernachlässigt werden konnten. So versuchten wir auch nicht uns auf einzelne Pflanzen oder auf die Einwirkung der grösseren Säugetiere auf die Moorhabitats zu konzentrieren, sondern legten den Schwerpunkt beispielsweise auf die hydrologischen Zusammenhänge und vertieften dieses Wissen.

Ein weiterer Vorteil unseres Modells besteht darin, dass es direkt in den Kontext der Auswirkungen des Klimawandels auf die Moorhabitats gebracht werden kann, um gewisse Trends festzuhalten. Es konnte dadurch eine qualitative Vorhersage gemacht werden, wonach der Klimawandel zunächst negative Auswirkungen auf die Moorhabitats in der UBE haben wird. Dies ist jedoch stark abhängig davon, in welchem Masse die Moore bereits vorbelastet und degradiert sind. Je stärker die Degradation, umso höher die Wahrscheinlichkeit, dass ein Moor für den Klimawandel anfällig ist. Genauere Aussagen liessen sich mit unserem Modell

jedoch nicht machen, da erstens spezifische Daten über den Zustand der einzelnen Moorhabitats entweder nicht vorhanden, oder nur von schlechter Qualität sind und zweitens, weil die Systemtheorie im interdisziplinären Umfeld nur einen qualitativen aber nicht quantitativen Überblick verschaffen kann.

Ein für die Zukunft wichtiger Teil unserer Arbeit war jedoch aufzuzeigen, dass grundsätzlich Methoden und Wege verfügbar sind, um die fehlenden quantitativen Daten zu erheben und anschliessend mithilfe der Exakten Wissenschaften ein Computermodell erstellen zu können um die Auswirkungen des Klimawandels zu simulieren. Diesbezüglich stellt unser Modell dar, welche Parameter als Indikatoren zum Monitoring genutzt werden könnten. So wurde beispielsweise gezeigt, dass der Säuregrad eines Hochmoors bereits eine Aussage über den Intaktheitszustand treffen lässt. Diese Information verwendeten wir dann, um einen Vorschlag für ein Monitoring auszuarbeiten.

Ausserdem liefert unsere Arbeit eine Art Wertemassstab, der zeigt, nach welchen Kriterien man Moore für Aufwertungsmassnahmen priorisieren könnte. Dies ermöglicht verschiedensten Stakeholdern, sich schnell einen Überblick über die Ökosystemleistungen der Moorhabitats der UBE zu verschaffen und dadurch kann dieses Dokument in Diskussionen bezüglich einzusetzender Geldmittel durchaus als Grundlage dienen.

Offensichtlich ist es jedoch schwierig, mittels des Quantifizierungsansatzes der Ökosystemleistungen eine allgemeingültige und objektive Aussage zu machen, da die Indikatoren für Ökosystemleistungen oft unterschiedlich interpretierbar sind (STAUB et al. 2011).

## 18. Ausblick

In einem weiterführenden Schritt, müssten exakte Daten über die Moorhabitats, sowie spezifische Klimamodelle für die UBE ermittelt werden, um noch präzisere Aussagen machen zu können. Des Weiteren müsste geprüft werden, ob die thematisierten Inventare der Moorhabitats auch in Zukunft noch gültig sind, oder ob eventuell Anpassungen vorgenommen werden müssten, damit auch veränderte Moorhabitats mit Neophytenbestand noch zu den Mooren zählen würden.

Zusätzlich zu den exakten Daten wären weitere Experteninterviews wünschenswert um Resultate zu bereits durchgeführten Aufwertungsmassnahmen zusammenzutragen und deren Anwendung auf die Moorhabitats der UBE zu prüfen.

Abschliessend lässt sich sagen, dass wenn wir die Moorhabitats in der UBE vernachlässigen und keine Aufwertungsmassnahmen ergreifen, wirkt sich dies kontraproduktiv auf den Klimawandel aus, weil zusätzliches CO<sub>2</sub> von den Mooren in die Atmosphäre übergehen wird. Jedoch darf man davon ausgehen, dass ein aufgewertetes und weitgehend intaktes Moor diese Problematik deutlich entschärfen und dem Klimawandel im Endeffekt sogar entgegen wirken kann, weshalb der Schutz der Moore zwingend verbessert und deren Fortbestand sichergestellt werden muss. Auch wenn die Moorhabitats der UBE auf die Welt gesehen, nur einen sehr geringen Beitrag ausmachen, so sollten wir mit gutem Beispiel vorangehen und jedwede Massnahme treffen um diese kleinen Paradiese so gut es geht zu erhalten, denn jede intakte Moorlandschaft birgt unzählige, wenn auch kaum für uns sichtbare Leistungen.

## 19. Literaturverzeichnis

- ALEXANDER, J. M., J. M. DIEZ UND J. M. LEVINE (2015): NOVEL COMPETITORS SHAPE SPECIES' RESPONSES TO CLIMATE CHANGE. IN: NATURE 525 (7570): 515–518.
- BAFU (2012): SYNTHESBERICHT ZUM PROJEKT «KLIMAÄNDERUNG UND HYDROLOGIE IN DER SCHWEIZ» (CCHYDRO). UMWELT-WISSEN.
- BERTALANFFY, L. V. (1968): GENERAL SYSTEM THEORY.
- BEY, I., M. CROCI-MASPOLI, J. FUHRER, C. KULL, C. APPENZELLER, R. KNUTTI UND C. J. SCHÄR (2011): SWISS CLIMATE CHANGE SCENARIOS CH2011.
- VAN BREEMEN, N. (1995): HOW SPHAGNUM BOGS DOWN OTHER PLANTS. IN: TRENDS IN ECOLOGY & EVOLUTION 10 (7): 270–275.
- BUWAL (1992): HANDBUCH MOORSCHUTZ IN DER SCHWEIZ.
- COCH, T. (2008): DIE UNESCO-BIOSPHÄRE ENTLEBUCH UND IHRE NACHHALTIGKEITSSTRATEGIE | THE UNESCO BIOSPHERE ENTLEBUCH AND ITS STRATEGY OF SUSTAINABILITY. IN: SCHWEIZERISCHE ZEITSCHRIFT FÜR FORSTWESEN 159 (7): 191–197.
- COHN, R. C. UND A. FARAU (2001): GELEBTE GESCHICHTE DER PSYCHOTHERAPIE: ZWEI PERSPEKTIVEN.
- DUSSEX, N. UND T. HELD (1990): ATMOSPHERISCHER NÄHRSTOFFEINTARG IN VORALPINE HOCHMOORE. BERN.
- EIGNER, J. (2003): MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DER RENATURIERUNG VON HOCHMOOREN. INTERNET: [HTTP://WWW.ANL.BAYERN.DE/PUBLIKATIONEN/SPEZIALBEITRAEGE/DOC/LSB2003\\_01\\_003\\_EIGNER\\_HOCHMOORRENATURIERUNG.PDF](http://www.anl.bayern.de/publikationen/spezialbeitraege/doc/lsb2003_01_003_eigner_hochmoorrenaturierung.pdf) (15.08.2016).
- GRABHER, M. (1992): AUSTROCKNUNG VON FLACHMOOREN. IN: BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL) (HRSG.) (1992): HANDBUCH MOORSCHUTZ IN DER SCHWEIZ. BERN.
- GRÜNIG, A. (1994): MIRES AND MAN: MIRE CONSERVATION IN A DENSELY POPULATED COUNTRY - THE SWISS EXPERIENCE : EXCURSION GUIDE AND SYMPOSIUM PROCEEDINGS OF THE 5TH FIELD SYMPOSIUM OF THE INTERNATIONAL MIRE CONSERVATION GROUP (IMCG) TO SWITZERLAND 1992.
- GRÜNIG, A., L. VETTERLI UND O. WILDI (1986): DIE HOCH- UND ÜBERGANSMOORE DER SCHWEIZ.
- HADDAD, N. M., G. M. CRUTSINGER, K. GROSS, J. HAARSTAD, J. M. H. KNOPS UND D. TILMAN (2009): PLANT SPECIES LOSS DECREASES ARTHROPOD DIVERSITY AND SHIFTS TROPHIC STRUCTURE. IN: ECOLOGY LETTERS 12 (10): 1029–1039.
- HADDAD, N. M., G. M. CRUTSINGER, K. GROSS, J. HAARSTAD UND D. TILMAN (2011): PLANT DIVERSITY AND THE STABILITY OF FOODWEBS. IN: ECOLOGY LETTERS 14 (1): 42–46.
- HAUTIER, Y., P. A. NIKLAUS UND A. HECTOR (2009): COMPETITION FOR LIGHT CAUSES PLANT BIODIVERSITY LOSS AFTER EUTROPHICATION. IN: SCIENCE 324 (5927): 636–638.
- INGRAM, H. P. A. (<sup>4</sup>1983): HYDROLOGY. IN: GORE, A. J. P. (HRSG.) (<sup>4</sup>1983): MIRES: SWAMPS, BOG, FEN AND MOOR. AMSTERDAM.

- ISBELL, F., D. CRAVEN, J. CONNOLLY, M. LOREAU, B. SCHMID, C. BEIERKUHNEIN, T. M. BEZEMER, C. BONIN, H. BRUELHEIDE, E. DE LUCA, A. EBELING, J. N. GRIFFIN, Q. GUO, Y. HAUTIER, A. HECTOR, A. JENTSCH, J. KREYLING, V. LANTA, P. MANNING, S. T. MEYER, A. S. MORI, S. NAEEM, P. A. NIKLAUS, H. W. POLLEY, P. B. REICH, C. ROSCHER, E. W. SEABLOOM, M. D. SMITH, M. P. THAKUR, D. TILMAN, B. F. TRACY, W. H. VAN DER PUTTEN, J. VAN RUIJVEN, A. WEIGELT, W. W. WEISSER, B. WILSEY UND N. EISENHAEUER (2015): BIODIVERSITY INCREASES THE RESISTANCE OF ECOSYSTEM PRODUCTIVITY TO CLIMATE EXTREMES. IN: NATURE 526 (7574): 574–577.
- JOHNSON, R. B. UND A. J. ONWUEGBUZIE (2004): MIXED METHODS RESEARCH: A RESEARCH PARADIGM WHOSE TIME HAS COME. IN: EDUCATIONAL RESEARCHER 33 (7): 14–26.
- KLAUS, G., M. KÜCHLER, K. ECKER, E. FELDMEYER-CHRISTE, C. KÖNITZER, U. KÄNZIG, P. GROSVERNIER, F. BERCHTEN, A. LUGON, R. DAVID, F. MARTI UND U. GRAF (2007): ZUSTAND UND ENTWICKLUNG DER MOORE IN DER SCHWEIZ. ERGEBNISSE DER ERFOLGSKONTROLLE MOORSCHUTZ. UMWELT-ZUSTAND. INTERNET:  
[HTTP://WWW.BAFU.ADMIN.CH/PUBLIKATIONEN/PUBLIKATION/00067/INDEX.HTML?LANG=DE](http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00067/index.html?lang=de)  
 (15.08.2016).
- KUUSSAARI, M., R. BOMMARCO, R. K. HEIKKINEN, A. HELM, J. KRAUSS, R. LINDBORG, E. ÖCKINGER, M. PÄRTEL, J. PINO, F. RODÀ, C. STEFANESCU, T. TEDER, M. ZOBEL UND I. STEFFAN-DEWENTER (2009): EXTINCTION DEBT: A CHALLENGE FOR BIODIVERSITY CONSERVATION. IN: TRENDS IN ECOLOGY & EVOLUTION 24 (10): 564–571.
- LIEBIG, J. VON (1840): DIE ORGANISCHE CHEMIE IN IHRER ANWENDUNG AUF AGRICULTUR UND PHYSIOLOGIE. BRAUNSCHWEIG.
- MALMER, N., B. M. SVENSSON UND B. WALLÉN (1994): INTERACTIONS BETWEEN SPHAGNUM MOSSES AND FIELD LAYER VASCULAR PLANTS IN THE DEVELOPMENT OF PEAT-FORMING SYSTEMS. IN: FOLIA GEOBOTANICA ET PHYTOTAXONOMICA 29 (4): 483–496.
- MARTI, K. (1992): ZU DEN BEGRIFFEN HOCHMOOR, FLACHMOOR UND MOORLANDSCHAFT. IN: (1992): HANDBUCH MOORSCHUTZ IN DER SCHWEIZ. BERN, CH.
- MAYER, H. O. (2002): INTERVIEW UND SCHRIFTLICHE BEFRAGUNG: ENTWICKLUNG, DURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG. MÜNCHEN U.A.
- MEIER, R. UND F. RUDMANN (2002): ENTFLECHTUNG AUSGEWÄHLTER NUTZUNGSKONFLIKTE - FALLBEISPIEL MOORLANDSCHAFT SCHWÄGALP. IN: (2002): HANDBUCH MOORSCHUTZ IN DER SCHWEIZ: FALLBEISPIELE, UMWELT-VOLLZUG. BERN: 512.
- METEOSCHWEIZ (2013): KLIMASZENARIEN SCHWEIZ – EINE REGIONALE ÜBERSICHT.
- NIEDERMAIR, M., G. PLATTNER, G. EGGER, F. ESSL, B. KOHLER UND M. ZIKA (2011): MOORE IM KLIMAWANDEL. ÖSTERREICH.
- PHALAN, B., M. ONIAL, A. BALMFORD UND R. E. GREEN (2011): RECONCILING FOOD PRODUCTION AND BIODIVERSITY CONSERVATION: LAND SHARING AND LAND SPARING COMPARED. IN: SCIENCE 333 (6047): 1289–1291.

- RAWORTH, K. (2012): A SAFE AND JUST SPACE FOR HUMANITY: CAN WE LIVE WITHIN THE DOUGHNUT. IN: OXFAM POLICY AND PRACTICE: CLIMATE CHANGE AND RESILIENCE 8 (1): 1–26.
- ROPOHL, G. (2012): ALLGEMEINE SYSTEMTHEORIE: EINFÜHRUNG IN TRANSDISZIPLINÄRES DENKEN. BERLIN.
- SCHULTHEIS, E. H., K. N. HOPFENSPERGER UND J. C. BRENNER (2010): POTENTIAL IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON SPHAGNUM BOGS OF THE SOUTHERN APPALACHIAN MOUNTAINS. IN: NATURAL AREAS JOURNAL 30 (4): 417–424.
- SILVERTOWN, J. (2004): PLANT COEXISTENCE AND THE NICHE. IN: TRENDS IN ECOLOGY & EVOLUTION 19 (11): 605–611.
- SPAFFORD, R. D. UND C. J. LORTIE (2013): SWEEPING BEAUTY: IS GRASSLAND ARTHROPOD COMMUNITY COMPOSITION EFFECTIVELY ESTIMATED BY SWEEP NETTING? IN: ECOLOGY AND EVOLUTION 3 (10): 3347–3358.
- STAUB, C., W. OTT, F. HEUSI, G. KINGLER, A. JENNY, M. HÄCKI UND A. HAUSER (2011): INDIKATOREN FÜR ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN: SYSTEMATIK, METHODIK UND UMSETZUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR EINE WOHLFAHRTSBEZOGENE UMWELTBERICHTERSTATTUNG. UMWELT-WISSEN. BERN.
- STAUBLI, P. (2016): EXPERTENINTERVIEW.
- STEINER, M. G. (2005): ZUM VERSTÄNDNIS DER ÖKOHYDROLOGIE VON HOCHMOOREN. AUSTRIA.
- STEINER, M. G. UND A. GRÜNIG (1992A): MOORHYDROLOGIE. IN: BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL) (HRSG.) (1992A): HANDBUCH MOORSCHUTZ IN DER SCHWEIZ. BERN, CH.
- STEINER, M. G. UND A. GRÜNIG (1992B): DIE HYDROLOGISCHEN MOORTYPEN DER SCHWEIZ. IN: BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL) (HRSG.) (1992B): HANDBUCH MOORSCHUTZ IN DER SCHWEIZ. BERN.
- TILMAN, D. UND J. A. DOWNING (1994): BIODIVERSITY AND STABILITY IN GRASSLANDS. IN: NATURE 367 (6461): 363–365.
- UBE (2016): MOORE IM ENTLEBUCH - UNESCO BIOSPHÄRE ENTLEBUCH. INTERNET: [HTTP://WWW.BIOSPHAERE.CH/DE/NATUR-LANDSCHAFT/MOORE/MOORE-IM-ENTLEBUCH](http://www.biosphaere.ch/de/natur-landschaft/moore/moore-im-entlebuch) (17.08.2016).
- WACHTER, D. (2012): NACHHALTIGE ENTWICKLUNG: DAS KONZEPT UND SEINE UMSETZUNG IN DER SCHWEIZ. ZÜRICH.
- WALENTOWSKI, H., H. LOTSCH UND R. MEIER-UHLHERR (2008): MOORE UND KLIMAWANDEL : VIELE MOORE SITZEN BEREITS HEUTE AUF DEM TROCKENEN - STEIGENDE TEMPERATUREN SIND IHR HAUPTFEIND. LWF AKTUELL, NR. 67. FREISING.
- WEISS, M. UND F. KIENAST (2011): AUSWERTUNGSPROTOKOLL FÜR PARAMETER 32B: ANLAGEARME GEBIETE FÜR DIE ERHOLUNG. BIRMENSDORF.
- WHITTAKER, R. H. (1972): EVOLUTION AND MEASUREMENT OF SPECIES DIVERSITY. IN: TAXON 21 (2/3): 213–251.

WIEDERMANN, M. M., A. NORDIN, U. GUNNARSSON, M. B. NILSSON UND L. ERICSON (2007): GLOBAL CHANGE SHIFTS VEGETATION AND PLANT–PARASITE INTERACTIONS IN A BOREAL MIRE. IN: ECOLOGY 88 (2): 454–464.

## 20. Abbildungsquellenverzeichnis

- Abb. 1: Moorlandschaft klein Entlen (Fuchserenmoos)  
Foto von Chantal Schmidt.
- Abb. 2: alte Torfstichkante in der Moorlandschaft klein Entlen  
Foto von Chantal Schmidt.
- Abb. 3: Karte UNESCO Biosphäre Entlebuch  
<[https://map.geo.admin.ch/?topic=ech&lang=de&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-farbe&layers=ch.swisstopo.zeitreihen,ch.bfs.gebaeude\\_wohnungs\\_register,ch.bav.haltstellen-oev,ch.swisstopo.swisstm3d-wanderwege,ch.bafu.schutzgebiete-biosphaerenreservate&layers\\_visibility=false,false,false,true&layers\\_timestamp=18641231,,,,&X=201200.00&Y=639800.00&zoom=3](https://map.geo.admin.ch/?topic=ech&lang=de&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-farbe&layers=ch.swisstopo.zeitreihen,ch.bfs.gebaeude_wohnungs_register,ch.bav.haltstellen-oev,ch.swisstopo.swisstm3d-wanderwege,ch.bafu.schutzgebiete-biosphaerenreservate&layers_visibility=false,false,false,true&layers_timestamp=18641231,,,,&X=201200.00&Y=639800.00&zoom=3)> (Zugriff: 16.08.16).
- Abb. 4: Moorlandschaft klein Entlen (Fuchserenmoos)  
Foto von Chantal Schmidt.
- Abb. 5: Hochmoor Mettilimoos  
Foto von Chantal Schmidt.
- Abb. 6: Eriophorum Vaginatum  
Foto von Chantal Schmidt.
- Abb. 7: Drosera rotundifolia  
Foto von Chantal Schmidt.
- Abb. 8: Vaccinium Oxycoccus  
Foto von Chantal Schmidt.
- Abb. 9: Schema Hochmooraufbau  
<<http://moorverein-wolfgangsee.at/blinklingmoos/hochmoor.php>> (Zugriff: 12.08.16).
- Abb. 10: Vegetationstypen und Entstehung von Flachmooren  
BUWAL 1992, Handbuch Moorschutz, Kapitel 3, s.4. Zonation der Pflanzengesellschaften.
- Abb. 11: Hochmoorperlmutterfalter  
Foto von Chantal Schmidt.
- Abb. 12: Landwirtschaftlich extensiv genutzte Flächen – Flachmoor Nesslenbrunnen Boden  
Foto von Chantal Schmidt.
- Abb. 13: Treibhausgasemissionen und Temperaturänderungen bis zum Ende des Jahrhunderts für die drei Emissionsszenarien A2, A1B und RCP3PD  
BEY et al. (2011): Swiss climate change scenarios CH2011. Zürich.
- Abb. 14: Sommerniederschlagsänderungen in der Schweiz  
BAFU (2012): Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro). Umwelt-Wissen.
- Abb. 15: Abnahme des Sommerniederschlags in der UBE  
Eigene Illustration.
- Abb. 16: Modell Hochmoor mit Auswirkungen des Klimawandels  
Eigene Illustration.

Abb. 17: Modell Flachmoor mit Auswirkungen des Klimawandels

Eigene Illustration.

Abb. 18: Das Doughnutmodell nach Raworth (2012)

RAWORTH, K. (2012): A safe and just space for humanity: can we live within the doughnut. In: *Oxfam Policy and Practice: Climate Change and Resilience* 8 (1): 1–26.

Abb. 19: Vergleich der ÖSL zweier Moore

Eigene Illustration.

## 21. Anhang A: Liste der Gefäßpflanzen der Hochmoore

Quelle: (GRÜNIG et al. 1986)

Andromeda polifolia *)	1
Betula nana	1
Calluna vulgaris	2
Carex limosa	2
Carex magellanica	
Carex pauciflora	2
Drosera anglica	
Drosera intermedia/obovata	
Drosera rotundifolia *)	1
Empetrum nigrum/hermaphroditum	
Eriophorum vaginatum *)	2
Lepidotis inundata	
Melampyrum pratense	2
Pinus montana	2
Rhynchospora alba	1
Scheuchzeria palustris	
Scirpus cespitosus	2
Vaccinium myrtillus	2
Vaccinium oxycoccos/microcarpum *)	2
Vaccinium uliginosum	2
Vaccinium vitis-idaea	2

1 = selten

2 = häufig

\*) = typische Hochmoorart

## 22. Anhang B: Liste der Sporen- und Blütenpflanzen der Flachmoore

(Flachmoor-Zeigerpflanzen; Nomenklatur nach Flora europaea)

Quelle: (BUWAL 1992)

Vegetationseinheiten:

P = Phragmition

M = Magnocaricion

C = Calthion + Filipendulion

Mo = Molinion

D = Caricion davallianae

N = Caricion nigrae

S = Scheuchzerietalia

X: Charakter- und Differentialart

x: Begleitart der Vegetationseinheit

Arten	Vegetationseinheiten						
	P	M	C	Mo	D	N	S
<i>Achillea ptarmica</i>			C	Mo			
<i>Aconitum napellus</i>	P	M					
<i>Acorus calamus</i>	P	M		Mo			
<i>Alisma lanceolatum</i>	P	M					
<i>Allium suaveolens</i>	p	m		Mo			
<i>Angelica sylvestris</i>			C	mo			
<i>Aster bellidiastrum</i>					D		
<i>Bartsia alpina</i>					D	n	
<i>Bromus racemosus</i>			C				
<i>Butomus umbellatus</i>	P						
<i>Calamagrostis stricta</i>		m					S
<i>Caltha palustris</i>	p	m	C		d	N	
<i>Calycocorsus stipitatus</i>			c		D	N	
<i>Cardamine palustris</i>	P	M					
<i>Carex acuta</i>		M	c				
<i>Carex acutiformis</i>		M	c				
<i>Carex appropinquata</i>		M					
<i>Carex atrofusca</i>					D		
<i>Carex bicolor</i>					D		
<i>Carex buxbaumii</i>		m	C	Mo			
<i>Carex capillaris</i>					D		
<i>Carex chordorrhiza</i>							S
<i>Carex curta</i>						N	s
<i>Carex davalliana</i>			c	mo	D		
<i>Carex diandra</i>						n	S
<i>Carex dioica</i>					D	N	s
<i>Carex disticha</i>		M					

Carex echinata			c			N	
Carex elata	p	M	c	mo			
Carex flava			c		D	N	
Carex hartmanii			C	Mo			
Carex heleonastes							S
Carex hostiana				mo	D		
Carex lasiocarpa		m					S
Carex limosa							S
Carex magellanica						N	
Carex maritima					D		
Carex microglochin					D		
Carex nigra			c	mo	d	N	S
Carex panicea			c	mo	D	n	s
Carex paniculata		M	C				
Carex pseudocyperus	P						
Carex pulicaris				mo	D	N	
Carex riparia		M					
Carex rostrata		M			d	n	S
Carex tementosa			C	Mo			
Carex vesicaria		M					
Carex vulpina	P	M					
Cicuta virosa	P	M					
Cirsium helenioides			C	Mo			
Cirsium palustre			C	Mo	d	n	
Cirsium rivulare			C				
Cirsium tuberosum				Mo			
Cladium mariscus	p	M		mo	d		s
Colchicum autumnale			C	Mo			
Crepis paludosa			C				
Dactylorhiza incarnata			c	mo	D	n	
Dactylorhiza majalis			C	Mo	d	n	
Dactylorhiza traunsteineri			c	mo	D	N	
Dianthus superbus				Mo			
Dorsera anglica							S
Dorsera intermedia							S
Dorsera x obovata							S
Eleocharis mamillata		m					S
Eleocharis palustris	P	M	c				
Eleocharis quinqueflora					D		
Eleocharis uniglumis		M					
Epilobium hirsutum			C				
Epipactis palustris		m	c	mo	D		
Equisetum fluviatile	P	m				n	s
Equisetum palustre			C	Mo	d	n	s
Eriophorum angustifolium					d	N	s
Eriophorum gracile							S
Eriophorum latifolium					D	n	

Eriophorum scheuchzeri						N	
Euphorbia palustris		m	C	mo			
Filipendula ulmaria		m	C	mo	d	n	
Fritillaria meleagris			C				
Galium boreale			c	Mo			
Galium palustre		M	c	mo		n	s
Galium uliginosum			C	Mo		n	s
Genista tinctoria			c	Mo			
Gentiana asclepiadea				Mo			
Genitania pneumonanthe				Mo			
Genitania utriculosa			c		D		
Geranium palustre			C				
Geum rivale			C	mo		n	
Gladiolus palustris				Mo			
Glyceria maxima	P						
Gymnadenia conopsea			C	Mo	d		
Hammarbya paludosa							S
Hippuris vulgaris	P	M					
Hydrocotyle vulgaris		m	c	mo	D	N	
Hypericum tetrapterum	p	m	C				
Inula salicina				Mo			
Iris pseudacorus	P	M					
Iris sibirica			C	Mo			
Juncus alpinus					D	n	s
Juncus arcticus					D	n	
Juncus conglomeratus			C	Mo			
Juncus effusus			C	Mo			
Juncus filiformis			C			N	
Juncus stygius							S
Juncus subnodulosus		m	C				
Juncus triglumis					D	N	
Kobresia simpliciuscula					D		
Laserpitium pratense				Mo			
Lathyrus palustris		M					
Lepidotis inundata							S
Linum catharticum			C	Mo	d		
Liparis loeselii					D		S
Lotus uliginosus			C	mo			
Lychnis flos-cuculi			C	mo		n	
Lycopus europaeus	P	M					
Lysimachia thyrsoflora	P	M					
Lysimachia vulgaris		M	C	Mo			
Lythrum salicaria	p	m	C	mo			
Mentha aquatica	P	M	c				
Menyanthes trifoliata		m					
Minuartia stricta							S
Molinia caerulea				Mo	D	N	S

Myosotis laxa s. caespitosa	P	M					
Myosotis scorpioides	p	m	C				
Oenanthe aquitica	P						
Oenanthe fistulosa		M					
Ophioglossum vulgatum				Mo			
Parnassia palustris				mo	D	N	
Pedicularis palustris					d	n	s
Peucedanum palustre		M					
Phalaris arundinacea	p	M	c				
Phragmites australis	P	m	c	mo	d		
Pinguicula alpina					D		
Pinguicula vulgaris					D		
Poa palustris	P	M	c				
Polemonium caeruleum			C				
Polygala amarella				Mo	d		
Polygonum bistorta			C	mo		n	
Potentilla palustris						n	S
Primula farinosa				mo	D		
Ranunculus aconitifolius			C				
Ranunculus flammula			c		d		
Ranunculus lingua	P	M					
Rhynchospora alba							S
Rhynchospora fusca							S
Rorippa amphibia	P						
Rumex aquaticus	p	M	C				
Rumex hydrolapathum	P	M					
Sagittaria sagittifolia	P	m					
Salix repens				Mo	d	n	
Sanguisorba officinalis			C	Mo	d	n	
Scheuchzeria palustris							S
Schoenus ferrugineus					D		
Schoenus nigricans				mo	D		
Scirpus cespitosus					D	N	S
Scirpus hudsonianus					d	n	S
Scirpus lacustris		P					
Scirpus pumilus					D		
Scirpus sylvaticus			C				
Scirpus triqueter	P						
Scorzonera humilis				Mo			
Scutellaria galericulata		M					
Selaginella selaginoides					D		
Selinum carvifolia			c	Mo			
Senecio aquaticus			C				
Senecio helenitis				Mo			
Senecio paludosus		M					
Serratula tinctoria				Mo			
Silaum silaus			C	Mo	d		

<i>Sium latifolium</i>	P	m					
<i>Sparganium emersum</i>	P						
<i>Sparganium erectum</i>	P						
<i>Spiranthes aestivalis</i>					D		
<i>Stachys officinalis</i>			c	Mo			
<i>Stachys palustris</i>			C	mo			
<i>Stellaria palustris</i>		m	c		D	N	
<i>Succisa pratensis</i>			c	Mo	d	n	
<i>Swertia perennis</i>			c	mo	D	n	
<i>Tetragonolobus maritimus</i>				Mo	d		
<i>Teucrium scordium</i>		M					
<i>Thalictrum flavum</i>			C	mo			
<i>Thalictrum simplex</i>				Mo			
<i>Tofieldia calyculata</i>			c		D		
<i>Tofieldia pusilla</i>					D		
<i>Trifolium spadiceum</i>			C	mo	d		
<i>Triglochin palustris</i>					D	N	S
<i>Trollius europaeus</i>			C	mo	d		
<i>Typha angustifolia</i>	P						
<i>Typha latifolia</i>	P						
<i>Valeriana dioica</i>			C	Mo	d	N	
<i>Valeriana officinalis</i>			C	mo			
<i>Viola palustris</i>						N	s

## 23. Anhang C: Tabelle zu den ÖSL nach Staub et al. (2011: 82-85) mit dazugehörigen Indikatoren plus Kommentar

Ökosystemleistung	Passender Indikator	Kommentar
A) Erholungsleistung	<p>Indikator 3: Erreichbarkeit anlegearmer Gebiete für die Schweizer Wohnbevölkerung</p> <p>Datengrundlage: LABES Parameter 32</p>	<p>Indikator sowie Datengrundlage können vom Inventar direkt übernommen werden. Fokus auf anlegearme Gebiete für Erholung und nicht komplett anlagefreie Gebiete.</p>
B) Identifikationsermöglichung	<p>Indikator 1: Identifikation der Schweizer Bevölkerung mit der Natur</p> <p>Datengrundlage: In Entwicklung</p> <p>Empfehlung an die UBE: Eigene Datengrundlage betreffend Identifikation mit typischen Moorlandschaften wäre zielführender.</p>	<p>Aufgrund der fehlenden Datengrundlage kann die ÖSL momentan nicht quantifiziert werden. Es wird empfohlen, dass die UBE einen eigenen, zielführenderen Indikator erstellt.</p>
C) CO <sub>2</sub> -Speicherkapazität	<p>Indikator 2: Veränderung in der Treibhausgasspeicherung</p> <p>Datengrundlage: Schweizer Treibhausgasinventar LULUCF</p>	<p>Indikator sowie Datengrundlage können vom Inventar direkt übernommen werden</p>
D) Natürliche Vielfalt	<p>Indikator 1-3: BDM Indikatoren Z3 (Artenvielfalt in der Schweiz und in den Regionen) , Z7 (Artenvielfalt in Landschaften) und Z9 (Artenvielfalt in Lebensräumen)</p> <p>Datengrundlage:</p>	<p>Indikatoren sowie Datengrundlage können vom Inventar direkt übernommen werden</p>

	Biodiversitätsmonitoring Schweiz (BDM)	
E) Kommerzielle Nutzung	<p>Indikator 1 (Personentransporte Bergbahnen) sowie Indikator 2 (Personentransporte Postautos und Schiffe) werden als nicht genug aussagekräftig für die Moorhabitats eingeschätzt</p>	<p>Ein neuer Indikator „touristische Zugänglichkeit“ wird empfohlen, um festzustellen, ob das Moor kommerziell genutzt werden kann. Ein aufwändigerer Indikator „Personenfrequenz pro touristisch nutzbarem Moor“ kann zusätzlich geprüft werden</p>

## 24. Anhang D: Inhaltsgerechte Zusammenfassung zum Experteninterview mit Herrn Peter Staubli Thema: Moorhabitats der UNESCO Biosphäre Entlebuch im Wandel des Klimas

Das Originaldokument mit unterschriebener Einverständniserklärung zum Interview kann im separaten Dokument „Inhaltsgerechte Zusammenfassung Interview PS.pdf“ gefunden werden.

### Einleitung: Eisbrecherfrage

*Während der Einarbeitung in das Thema unserer Projektarbeit wurde uns von Zeit zu Zeit bewusster, wie komplex die Welt der Moorhabitats ist. Nicht nur gibt es eine Vielzahl verschiedener Arten von Mooren, die den meisten von uns noch gänzlich unbekannt waren, auch sehen wir das Ökosystem Moor mit seiner komplexen Funktionsweise und seiner Fähigkeit, sich selbst zu regulieren, mittlerweile immer mehr als ein selbstständiges Lebewesen. Was ist es, sei es beruflich oder persönlich, das Sie an der Welt der Moore am meisten fasziniert?*

Peter Staubli: Moore sind komplexe, faszinierende Systeme. Jedes einzelne Moor kann als Individuum betrachtet werden, da jeweils verschiedene Einflüsse zu dessen Bildung beigetragen haben. Dies oftmals auch unter dem Einfluss des Menschen. Das ist eine Faszination, weil man immer wieder neue Dinge und neue Wirkungszusammenhänge im einzelnen Moor feststellen kann. Diese Erfahrung ziehe ich aus den rund 70 Renaturierungsprojekten, welche ich bearbeitet habe. Hierbei kommt selbstverständlich auch der Aspekt der Schönheit und nicht nur der reinen Wissenschaft hinzu.

### Teil 1: Moorhabitats und klimabedingte Schlüsselparameter

*1. Betreffend den klimabedingten Schlüsselparametern intakter Moorhabitats sind wir bei unserer Literaturrecherche praktisch ausschliesslich auf den Niederschlag und die Temperatur (sowie das Verhältnis Niederschlag-Verdunstung) gestossen. Innerhalb der Gruppe und auch mit unserem Projektbetreuer Professor Thomas Hammer haben wir über weitere Klimaindikatoren gesprochen, die für das Funktionieren von Moorhabitats potenziell wichtig sein könnten. Leider konnten wir aber in der vorhandenen Literatur keine konkreten Informationen zur Relevanz dieser Indikatoren für Moorhabitats finden.*

Peter Staubli: Es gibt noch weitere Aspekte, die direkt oder indirekt die Moorhydrologie beeinflussen. Der wesentliche Punkt ist, dass das Moor durch Wasser geprägt ist. Das klassische Verlandungsmoor, beispielsweise ein Teich, der verlandet, aufwächst und sich zum Hochmoor entwickelt, ist jedoch nur die halbe wenn nicht sogar die Viertelwahrheit. Schaut man sich die hydrologischen Moortypen nach Steiner und Grünig an, erkennt man, dass in den Voralpen und somit in der UBE extrem viele Moorhabitats von Hangwasser geprägt sind. Dieser Faktor hängt indirekt natürlich auch von den Niederschlägen ab. Oftmals tritt die Auswirkung jedoch verzögert oder sogar ausgleichend zu Tage. Dieser Umstand ist somit wichtig für die Massnahmenplanung. Rein ombrogene Moore sind in der Schweiz selten.

*a) Inwiefern ist beispielsweise die Luftfeuchtigkeit für das Ökosystem Moor von Bedeutung, insbesondere im Zusammenhang mit dem Klimawandel?*

Peter Staubli: Hierzu möchte ich ein kleines Beispiel anfügen, um das Problem zu verdeutlichen. Es gibt eine Untersuchung, im Rahmen welcher Bäume rund um die Kernzone entfernt worden sind. Dies sollte sich in der Theorie „moorfördernd“ auswirken, da die Bäume danach dem Moor kein Wasser mehr entziehen können. Der Effekt war danach aber, dass Bäume die Austrocknung des Moores durch den Wind verhindert haben und es in gewissen Fällen sogar besser sein kann Bäume stehen zu lassen. Grundsätzlich ist es mit der Luftfeuchtigkeit ähnlich, das Moor trocknet schneller aus, wenn die Luftfeuchtigkeit gering ist und Wind und Sonneneinstrahlung vorherrschen. Das sich Beschränken auf rein monokausale Zusammenhänge birgt jedoch auch Gefahren, wie das soeben eingeführte Beispiel mit den Bäumen zeigt.

*b) Wie verhält es sich mit der Anzahl Frosttage bzw. Vegetationstage pro Jahr und deren Veränderung aufgrund des Klimawandels?*

Peter Staubli: Dies sieht man gut an der Verteilung der Moore auf verschiedene Höhenlagen. Moore auf 1900 m.ü.M. sind von den Torfzuwachsrate her gesehen kleiner. Die Pflanzenproduktivität ist durch die kurze Vegetationszeit geringer und die Pflanzen sind ja dann auch die Grundlage des gebildeten Torfs. Eine Abnahme der Frosttage durch den Klimawandel kann sich also auf höhergelegene Moore unter gewissen Umständen auch positiv auswirken.

*c) Wie relevant könnte die Schneebedeckung in diesem Zusammenhang sein?*

Peter Staubli: Ein erster Zusammenhang besteht natürlich wieder mit der Verkürzung der Vegetationszeit. Wenn die Schneedecke liegt, dann findet ja kein Pflanzenwachstum statt. Der zweite zentrale Zusammenhang wird die Verteilung der Niederschläge sein. Wenn beispielsweise der Schnee früher ausapert und das Wasser abfließt und danach eine lange trockene klimatische Phase anschliesst, so wirkt sich dies negativ auf das Moor aus.

*d) Gibt es noch weitere Ihrer Meinung nach zentrale Faktoren?*

Peter Staubli:

Die Zu- und -abflüsse sind ebenfalls zentral. Das Wasser muss immer irgendwie ins Moor rein, es sollte drin bleiben, danach muss es auch irgendwie wieder raus. Der Abfluss ist bei den Aufwertungsmassnahmen wegen der Erosionsproblematik meist schwieriger zu handhaben als der Zufluss.

Wesentlicher Faktor in der Schweiz und der UNESCO Biosphäre Entlebuch ist der anthropogene Einfluss, welcher zu einer Kulturlandschaft geführt hat. Diese Gebiete wurden abgeholzt, über Wasser wurde Holz geflösst, es wurde geweidet und überweidet, aufgeforstet, Torf abgebaut, Strassen reingebaut und so weiter. Der grösste Teil ist vom Menschen beeinflusst. Im Hochmoorinventar wurde zwischen primären und sekundären Hochmooren unterschieden. Primäre Hochmoore wurden folgendermassen definiert: Der Mensch hat die Torfe in diesen Mooren nicht abgebaut. Der anthropogene Einfluss ist oft ein sehr wichtiger meist sogar der dominante Parameter, der bei Aufwertungsmassnahmen zu berücksichtigen ist. Auch wenn wir das Klima betrachten und Aufwertungsmassnahmen

hierzu berücksichtigen wollen, ist eine Ausblendung des anthropogenen Einflusses schlichtweg unmöglich. Der Flachmoortyp Streuwiese beispielsweise ist in seinem Zustand und seiner Pflanzenvielfalt rein anthropogen bedingt. Wenn man auf die Mahd verzichtet, wäre bereits im Folgejahr eine Verbuschung nachweisbar. In vielen Gebieten, in denen sich die Bewirtschaftung nicht mehr lohnte, konnte man diesen Effekt beobachten. Von daher sind die Flachmoore gegenüber den Hochmooren ein anderes Thema was die Nutzung betrifft. Trockene Verhältnisse durch den Klimawandel können aber beispielsweise den Schnittzeitpunkt beeinflussen oder zur Austrocknung von Torf an gewissen Stellen führen. Wenn hingegen mehr Wasser durch den Klimawandel zugeführt würde, dann gibt es stets die Diskussion des Grabenunterhalts oder der Erstellung neuer Entwässerungsgräben bei den Flachmooren.

Der Schwerpunkt der Moorregeneration liegt in der Folge eindeutig bei den Hochmooren. Flachmoore werden oftmals von den Bauern genutzt und diese möchten nicht, dass die Moore vernässt werden. Das Vernässen steht oft im Widerspruch mit einer Nutzung der Flachmoore, besonders wenn grosse Landwirtschaftsmaschinen zum Zug kommen (die durch höheres Gewicht einsinken könnten). Mit der Sense war dies klar noch anders.

*e) Wenn wir bereits bei der Moorregeneration sind - wie weit werden prognostizierte Klimawandelndaten miteinbezogen?*

Peter Staubli: Bei der Moorregeneration soll man eine gewisse Toleranz gegen mögliche negative Änderungen einkalkulieren. Jeder Schritt zu einer Hydrologie, die dem Moor entspricht und dieses erhalten kann oder sogar zum Wachsen bringt, führt dazu, dass bei trockneren Bedingungen auch eine gewisse Toleranz ermöglicht wird. Wenn wir gar nichts machen, also keine Moore regenerieren, so trocknen sie nur noch schneller aus. Betreffend dem Klima verhindern Regenerationsmassnahmen zusätzlich noch, dass noch mehr CO<sub>2</sub> durch die Zersetzung des Torfs freigesetzt wird.

## Teil 2: Klima und Änderungen klimabedingter Schlüsselparameter aufgrund des Klimawandels

*2. Bezüglich der Fragestellung, wie sich allfällige Klimaänderungen auf die Moorhabitats der UBE auswirken könnten, stützen wir uns auf die CH2011- Klimaszenarien A2, A1B und RCP3PD, die sich auf den Alpennordhang beschränken (dies sind die höchstmöglich aufgelösten Daten, die uns zur Verfügung stehen). Wie aussagekräftig sind Prognosen auf der Basis dieser Daten Ihrer Meinung nach für das Gebiet der UBE?*

Peter Staubli: Hierzu kann ich leider nichts sagen. Wie auch immer eine Prognose sich entwickelt, ist der pragmatische Ansatz meiner Meinung nach vorzuziehen. Der Lebensraum Moor stellt gewisse Anforderungen an seine Existenzfähigkeit, man muss heute schauen, was man überhaupt machen kann und sich überlegen, was dies im Fall von Klimaszenario „xy“ heissen kann. Gute Bedingungen schaffen ist wichtig. Gewisse Dinge sind jedoch schlichtweg nicht beeinflussbar oder genau kalkulierbar. Dies soll aber kein Hinderungsgrund sein, Moore aufzuwerten.

Was eine extrem hohe Auflösung der Daten für einzelne Moore betrifft, so wird dies wahrscheinlich nicht möglich sein. Jedoch sollte man auch wie gesagt nicht einen der vielen Faktoren, die das individuelle Moor ausmachen, zu stark gewichten.

Auch der Begriff Regeneration kann hier irreführend sein, der steht aber so im Verordnungstext. Eigentlich ist es vielmehr eine Reparatur oder Operation, ein „wieder in Stand setzen“, welches in einem ersten Schritt vorausgeht. Die Regeneration ist erst die Genesung danach, welche auf den „operativen Eingriff“ folgt und hängt wiederum von etlichen Faktoren ab. Der Westhang im Norden der UBE und der Südhang im Süden werden nicht ganz genau gleich reagieren, eine allfällige Berechnung wird somit immer Modellcharakter besitzen.

*3. Aus dem „Handbuch Moorschutz in der Schweiz“ ist uns bekannt, dass das Ökosystem Hochmoor nicht nur auf kurzfristige Klimaschwankungen flexibel reagiert, sondern sich auch auf mittelfristige (Jahrzehnte) Veränderungen in der Netto- Wasserversorgung einstellen kann, indem sich der Wasserspiegel ins Catotelm verlagert und der nicht mehr wassergesättigte Teil des Catotelms wieder Teil des Acrotelms wird. Wir nehmen natürlich an, dass es einen gewissen Punkt gibt, an dem das Moor nicht mehr fähig ist, einen Verlust in der Wasserversorgung auszugleichen, da die Wasserversorgung schlicht und einfach zu gering ist. Gab es bereits Versuche, solche „Schwellenwerte“ zu berechnen oder würde dies Ihrer Meinung nach keinen Sinn machen?*

Peter Staubli: Wiederum fällt es schwer, hier eine allgemeingültige Antwort zu geben. Es kommt beispielsweise auch auf die Niederschlagsverteilung an. Schottland hat viel weniger Niederschlag als die Schweiz, etwa ein Drittel von Rothenthurm, jedoch an 350 Tagen 1-2mm Regen, so entstehen Deckenmoore. Das reicht dann für das Überleben. Diese Deckenmoore sind aber natürlich auch viel fragiler.

*4. Wir haben noch einige prognostizierte Klimadaten und wären interessiert an deren Auswirkungen auf die Moorhabitats.*

*a) Bestenfalls 8-10% weniger Niederschlag im Sommer, im schlimmsten Fall 28%.*

Peter Staubli: Eine wissenschaftliche genaue Antwort scheint mir wieder nicht möglich. Ich vermute jedoch, dass die Auswirkungen auf die Gesamtheit der Moore negativ sein wird.

Wenn wir jedoch von etwa gleichbleibenden Niederschlägen übers ganze Jahr hinweg ausgehen, so kommt ein weiterer Faktor hinzu. Häufig gibt es Gräben in Mooren, das Wasser wird dort zusammengeführt und es kann sich eine Erosionsproblematik im Moor ergeben. Wenn nun im Herbst und Winter viel Wasser kommt, wo die Vegetation auch nicht so stark ist wie im Sommer und dadurch weniger Wasser zurückhalten kann, erodiert das Moor mehr. Diese zu grosse Nässe ist auch ein Problem, wenn sie nicht in ursprünglicher Weise abgeführt werden kann, nämlich laminar und nicht turbulent. Normalerweise hat das Moor ein Selbstregulierungssystem wenn keine Gräben angelegt wurden.

Das Selbstregulierungssystem sähe in etwa so aus: Oben haben wir eine grosse Porengrösse wie etwa Sträucher, dann Bulten, dann Torfmoose und gegen unten finden wir immer eine kleinere Porengrösse vor, lockereren Torf bis immer dichteren Torf. Bei wenig Wasser ist nun die Oberfläche etwa schon ausgetrocknet, aber die kleinen Poren halten noch Wasser zurück. Wenn mehr Wasser vorhanden ist, dann gelangt es in immer grössere Poren. Die Wiederherstellung bewachsener Oberflächen führt also im Kontext des Selbstregulierungssystems des Wasserhaushalts auch zur Klimawandelvorbeugung.

*b) Die Durchschnittstemperatur wird um bis zu 4.8 Grad Celsius zunehmen.*

Moorpflanzen sind sich recht daran gewöhnt, dass es ab und zu Wüstenklima gibt, sind aber auch Frost und Nebel gewohnt. Die Pflanzen vertragen von der Hitze her gesehen also einiges. Die Hauptauswirkungen des Klimawandels erfolgen eher über den Niederschlag. Grundsätzlich ist alles jedoch zu spekulativ, man muss wissen, was sich sonst noch alles verändert, eine reine Temperaturangabe genügt nicht.

Die Auswirkungen auf einzelne Pflanzen sind sowieso ziemlich unabsehbar. Gewisse werden Änderungen aushalten, gewisse allerdings nicht. Unser Denken ist geprägt vom Schutzgedanken, man will den Jetzt-Zustand schützen. Aber in der Zeitachse gesehen gab es stets Wandel in den Gebieten. Die „schützenswerte Vegetation“ ändert sich aber, v.a. Flachmoore haben heute viel mehr Landschilf, welcher eine Konkurrenzpflanze für lichtliebende Arten ist. Durch kleine Steuerungsmassnahmen können wir solch komplexe Prozesse in der Vegetation niemals beeinflussen.

### Teil 3: Aufwertungsmassnahmen von Moorhabitaten in der UBE

*5. Eine Möglichkeit, diejenigen Moore auszuwählen, welche für Aufwertungsmassnahmen priorisiert werden sollten, könnte aus der Perspektive Nachhaltige Entwicklung über die Quantifizierung der Ökosystemleistungen nach Staubli et al. (2011) geschehen. Dadurch stünden den Stakeholdern zusätzlich zur Information wie hoch ihr Budget für Moorregenerationen ist auch noch Daten aus den 3 Nachhaltigkeitsdimensionen, wie etwa die Speicherkapazität von CO<sub>2</sub> der Moorhabitats oder die touristische Erreichbarkeit über Wege in physischen Einheiten zur Verfügung. Auf dieser Grundlage könnten die Moore aufgrund der verschiedenen ÖSL, welche sie erbringen, in einer gesamtgesellschaftlichen Perspektive verglichen werden. Die Priorisierung, welche Moore als erstes aufgewertet werden sollen, könnten dann aufgrund der Daten durch soziale, ökonomische und ökologische Überlegungen erfolgen. Welche Vor- und Nachteile erkennen Sie in diesem Ansatz?*

Peter Staubli: Eine Inwertsetzung wird immer wieder kontrovers diskutiert. Hierzu gibt es verschiedenste Ansätze. Momentan ist beispielsweise eine Arbeit an der WSL im Laufen, ob man die CO<sub>2</sub>-Fixierung in Wert setzen kann. Dabei ist eine Frage, ob sich allein schon das Vernässen eines trockenen Torfkörpers und dadurch die Verhinderung der CO<sub>2</sub>-Emission aus der Zersetzung des trockenen Torfs als monetären Wert ausdrücken lässt?

*Input: In der Frage geht es theoretisch eher um physische Einheiten und nicht um mit methodischen Schwierigkeiten belasteten Inwertsetzungen.*

Peter Staubli: Vorrangig ist für mich persönlich das System Moor, das funktionieren soll. Andere Punkte kann man natürlich auch einfließen lassen, dies variiert wohl je nach Stakeholder. Beispielsweise Moorpfade können Zusatzfaktoren sein, die ein Projekt anreissen. In der Praxis ist es jedoch sehr unterschiedlich, welche Moorhabitats sich für Aufwertungsmassnahmen qualifizieren. Dies kommt auch aus der Verordnung, „bei jeder sich bietenden Gelegenheit“ sollen Moore regeneriert werden. Der Vollzug liegt jedoch bei den Kantonen. Je nach Kanton läuft die Sache deswegen anders. Bei gewissen Kantonen mit vielen Mooren ist eventuell mehr Interesse vorhanden und man schaut, ob überhaupt was gemacht werden kann. So soll zum Beispiel auch Besitztum geklärt werden. Bei Hochmooren ist es oft so, dass diese meist nicht landwirtschaftlich genutzt werden. Wenn sie nicht „landwirtschaftliche Nutzfläche“ sind, so werden Initiativen zur Regeneration meist positiv aufgenommen. Früher war dies oft auch anders, es wurde ja melioriert durch die

Entwässerung, also ist eine Vernässung ja wohl wieder eine Verschlechterung. Oftmals hat man den Bauern dann „Arbeit“ angeboten im Sinne von „eure Arbeit ist bezahlt und wir holen euch noch Holz aus dem Moor, das ihr verkaufen könnt“. Die Moorflächen bringen ja sonst keinen Ertrag. Diese Faktoren spielen stets mit. Viele Hochmoore gehören beispielsweise auch Pro Natura, was sicher nicht schlecht ist für allfällige Aufwertungsprojekte. Es sind allerdings nicht immer die höchsten Prioritäten, die als erstes für eine Aufwertung gewählt werden. Eventuell gibt es einen Besitzer, mit dem es nicht klappen will oder der entsprechende Kanton hat das Budget nicht. Die tatsächliche „Machbarkeit“ ist für die Prioritätensetzung, ob man ein Projekt durchführt, sehr bedeutend.

*Input: Wenn ein Moor stark, eins mittel und eins leicht degradiert ist, bei welchem sollte man ansetzen, wenn man nur eins auswählen kann?*

Peter Staubli: Wie es die Kantone handhaben kann ich nicht sagen. Meine Philosophie wäre es, dasjenige Moor aufzuwerten, welches noch vollständig regenerierbar ist, um den noch enthaltenen „Wert“ an Tieren und Pflanzen zu schützen. Wenn man beim schon stark degradierten Moor noch halbwegs was hinkriegt, aber das nur leicht degradierte mit typischen Artenspektrum weiter degradieren lässt, so wäre dies weniger zielführend.

*6. Da wir zu den genauen Aufwertungsmassnahmen noch wenig geforscht haben, wollten wir wissen, welche allgemeinen Möglichkeiten es gibt.*

Peter Staubli: Auch bei den Massnahmen gibt es keine allgemeingültige Standardlösung, sondern eine Fülle von technischen Möglichkeiten, die man je nach Situation wählt oder kombiniert. Bei grossen Gefällen sind Treppen beispielsweise problematisch, das ist dann eher eine Grabenvernässung als eine Moorvernässung, da dies zu turbulenten Strömungen führen kann. Man muss hier situativ entscheiden, ein Hang- und ein Kesselmoor sind so unterschiedlich, dass man sicherlich verschiedene Ansätze wählen wird.