

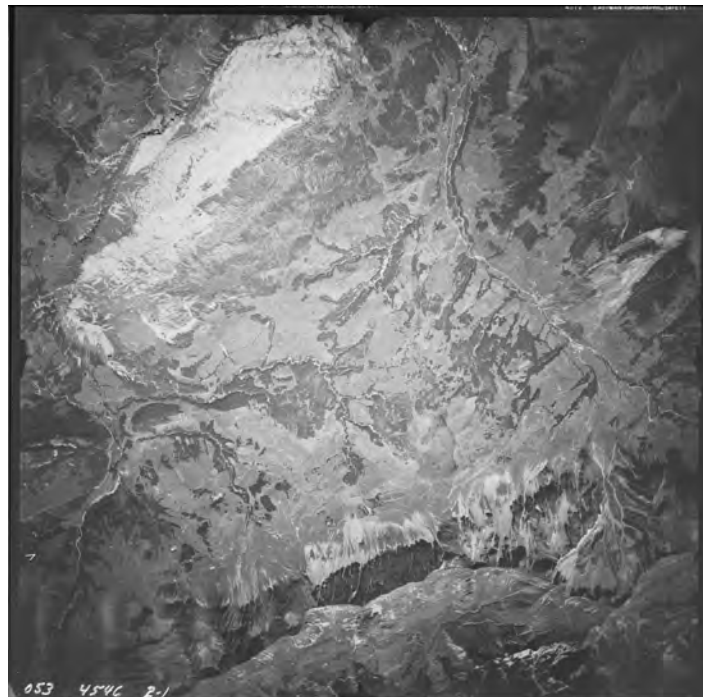


Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Bachelorarbeit im Studiengang Umweltnaturwissenschaften

Historische Luftbilder zur Analyse von Hochmooren

Studie anhand zweier Hochmoore in der UNESCO Biosphäre Entlebuch



Version vom: 5. September 2019

Autorin: Rea Felber <felberre@student.ethz.ch>
Legi-Nr. 14-924-484

Betreuer: Florian Knaus
Institut für Terristrische Ökosysteme
ETH Zürich

Zusammenfassung

Eine Kombination von aussergewöhnlichen Standortfaktoren machen Hochmoore zu Extremstandorten und Lebensraum von hochspezialisierten Pflanzen-, Moos-, Flechten- und davon abhängigen Tierarten. Viele Moore wurden jedoch im 19. und 20. Jahrhundert zerstört oder beeinträchtigt, deshalb zählen diese Lebensräume zu den am meisten bedrohten der Schweiz. Über die Entwicklung dieser Standorte im letzten Jahrhundert ist oftmals wenig bekannt. In dieser Arbeit wurde untersucht, ob sich historische Luftbildaufnahmen dazu eignen, den Zustand der Moore im letzten Jahrhundert zu erfassen. Dabei wurden zwei Hochmoore in der UNESCO Biosphäre Entlebuch (UBE) anhand von historischen Luftbildern aus den Jahren 1946, 1980, 1998 und 2012 in Einheitsflächen eingeteilt, um Veränderungen der Flächen festzustellen und somit auf die Qualität der Hochmoorstandorte zu schliessen. Das Balmoos wurde laut historischen Analysen für den Torfabbau genutzt, jedoch nicht intensiv. In der Mitte des 20. Jahrhunderts wurde der Torfabbau eingestellt und 1946 wurde ein grosser Teil des Balmooses vom Schweizer Bund für Naturschutz (SBN) gekauft. Daraus lässt sich schliessen, dass sich der Zustand konstant verbessert hat. Die Analyse der Luftbilder ergab, dass sich der Zustand bis ins Jahr 1998 verschlechtert, 2012 aber wieder verbessert hat. Beim Hochmoor Husegg-Gross Gfäl ergaben sowohl die historische als auch die Luftbildanalyse, dass sich das Hochmoor nicht stark verändert hat. Die Resultate müssen jedoch kritisch betrachtet werden, da die alten Luftaufnahmen eine geringe Qualität aufweisen und Luftbildanalysen grundsätzlich fehleranfällig sind. Die historischen Luftaufnahmen sind daher für eine quantitative Analyse nicht geeignet, die neueren Luftbilder ab 1998 sind auch für quantitative Analysen geeignet.

Abstract

A combination of exceptional location factors makes raised bogs extreme habitats and the only habitat for highly specialised plant, moss and lichen species and dependent animal species. Yet, many of these peatlands were destroyed or impaired in the 19th and 20th centuries, making these habitats one of the most threatened in Switzerland. Little is known about the development of these habitats in the last century. This study investigated whether historical aerial photographs are suitable for recording the condition of raised bogs in the last century. Two raised bogs in the UNESCO biosphere reserve in Entlebuch were divided into standard areas on the basis of historical aerial photographs taken in 1946, 1980, 1998 and 2012 in order to determine changes in the areas and thus to determine the quality of the raised bogs. According to historical analyses, the raised bog 'Balmoos' was used for peat extraction, but not intensively. In the middle of the 20th century peat extraction was stopped and in 1946 a large part of 'Balmoos' was bought by the swiss nature conservation federation. It can therefore be concluded that the condition has constantly improved. The analysis of the aerial photographs however, showed that the condition deteriorated until 1998, but improved again in 2012. In the case of the 'Husegg-Gross Gfäl' raised bog, both historical and aerial photo analysis showed that the raised bog had not changed much. However, the results must be viewed critically, as the old aerial photographs are of poor quality and aerial photo analyses are generally prone to errors. The historical aerial photographs are therefore not suitable for quantitative analysis, the more recent aerial photographs from 1998 onwards are also suitable for quantitative analysis.

Danksagung

Die Region Entlebuch mit ihrer schönen Landschaft, welche stark durch Moore geprägt ist, gefällt mir ausserordentlich gut und kenne ich aus meiner Kindheit. Daher lag es für mich Nahe, meine Arbeit in dieser Region zu schreiben. Ich möchte allen danken, die diese Bachelorarbeit ermöglicht haben: Zuerst meinem Betreuer Florian Knaus für die kompetente Betreuung und die Idee für das Thema der Arbeit, Richard Portmann und Matthias Bürgi für die aufschlussreichen Gespräche, Simon Gredig und Heidi Kempf für das Gegenlesen der Arbeit, Nelio für die letzte Motivation und allen Mitbewohner*Innen für die Kinderbetreuung in der Schlussphase.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
2	Methode/Vorgehen	11
2.1	Auswahl der Moore	11
2.2	Luftbildanalyse	12
2.2.1	Luftbildauswertung	12
2.2.2	Luftbildinterpretation	13
2.2.3	Verwendete Luftbilder	14
3	Analyse Balmoos	16
3.1	Luftbildanalyse	16
3.1.1	Zustand 1946	18
3.1.2	Zustand 1980	19
3.1.3	Zustand 1998	20
3.1.4	Zustand 2012	21
3.2	historische Analyse	21
4	Analyse Husegg-Gross Gfäl	24
4.1	Luftbildanalyse	24
4.1.1	Zustand 1946	26
4.1.2	Zustand 1980	27
4.1.3	Zustand 1998	28
4.1.4	Zustand 2012	29
4.2	Historische Analyse	29
5	Diskussion	32
5.1	Aussage über Zustand bzw. Veränderung der Moore anhand der Luftbilder	32
5.1.1	Balmoos	32
5.1.2	Husegg-Gross Gfäl	32
5.2	Abschätzen des Potentials von historischen Luftbildern	33
5.3	Diskussion der Methode	34
6	Schlussfolgerung	36
	Literaturverzeichnis	37
	Anhang	39
	Eidesstattliche Erklärung	50

Abkürzungsverzeichnis

GIS	Geoinformationssystem
HM	Hochmoor
LUBIS	Luftbildinformationssystem
SBN	Schweizer Bund für Naturschutz
swisstopo	Bundesamt für Landestopografie
UBE	UNESCO Biosphäre Entlebuch

1 Einleitung

Hochmoore gehören zu den sensibelsten Lebensräumen der Schweiz, die gegenüber antropogenen und anderen Eingriffen sehr empfindlich sind. Gleichzeitig bilden sie den Lebensraum für zahlreiche spezialisierte Pflanzen- sowie Tierarten und sind auch aus gesellschaftlicher und wissenschaftlicher Sicht von grosser Bedeutung (Grüning et al., 1986). Hochmoore können als ein wertvolles Archiv der Klima-, Vegetations- und Landnutzungsgeschichte dienen, indem sie Blütenstaub, Pflanzenreste und Überbleibsel von Tieren akkumulieren und daher Auskunft über die Vegetation und das Klima vor tausenden von Jahren geben können (Küttel, 1994).

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, den Begriff "Moor" zu definieren (Früh und Schröter, 1904; Küchler et al., 2018). In dieser Arbeit werden Moore als von Wasser geprägte Lebensräume angesehen, in welchen die Böden ständig oder zum überwiegenden Teil des Jahres mit Wasser gesättigt sind und somit einen Sauerstoffmangel aufweisen. Dies führt dazu, dass abgestorbene Pflanzenreste nur teilweise zersetzt werden und sich organisches Material in Form von Torf anhäuft (Graf et al., 2007). Innerhalb der Moore werden je nach Entstehungsgeschichte, Beziehungen zum Grundwasser, Oberflächenform, Nährstoffgehalt des Wassers und Vegetationstyp zwischen Hoch-, Übergangs- und Flachmooren unterschieden (Marti, 1992). In dieser Arbeit werden ausschliesslich Hochmoore behandelt.

Ein intaktes Hochmoor zeichnet sich vor allem dadurch aus, dass die Zufuhr von Wasser und Nährstoffen nicht über das Grundwasser sondern nur noch über Regenwasser und über die Luft erfolgt, was diesen Lebensraum zu einem der nährstoffärmsten in Mitteleuropa macht. Diese nassen, nährstoffarmen Bedingungen führen dazu, dass in den Zentren der Hochmoore keine Bäume wachsen können. Dafür entstehen unterschiedliche Kleinstlebensräume, wie beispielsweise Torfhügel, welche austrocknen können (Bulten) und dazwischenliegende ständig nasse Schlenken. Ausserdem befinden sich in Kernbereichen intakter Hochmoore oft grössere offene Wasserflächen und an den besser entwässerten Randbereichen liegen lichte Moorwälder (Graf et al., 2007; Marti, 1992). Solche baumfreien, intakten Hochmoore sind jedoch in der Schweiz selten geworden (BAFU, 2015).

Die Hochmoorflächen können in primäre und sekundäre Flächen eingeteilt werden. Die primären Hochmoorflächen sind wenig berührte, naturnahe Flächen, die sich selbst überlassen werden können. Sekundäre Hochmoorflächen sind vom Menschen beeinflusst und ein gewisser Schutz und Pflege sind notwendig, um sie zu erhalten. Die Hochmoore sind vom Hochmoorumfeld umgeben. Dieses übt eine entscheidende Rolle als Pufferzone aus und ist aus naturschützerischer Sicht wertvoll, da es sich oft um Flachmoore oder frühere Hochmoorflächen handelt. Deshalb sollte eine rein funktionale Bezeichnung als "Pufferzone" vermieden werden. (Grüning et al., 1986). Das Hochmoorumfeld kann aus

Sicht des Naturschutzes land- und forstwirtschaftlich genutzt werden, sofern dadurch der Lebensraum Hochmoor nicht beeinträchtigt wird (Gobat, 1984).

Seit der Annahme der Rothenturm-Initiative durch die Schweizer Stimmbevölkerung im Jahr 1987 stehen Moore und Moorlandschaften von besonderer Schönheit und nationaler Bedeutung unter speziellem Schutz (BUWAL, 2002). Neu wurde in der Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft (SR 101) in Art. 78, Abs. 5 festgelegt, dass in Mooren und Moorlandschaften von besonderer Schönheit und nationaler Bedeutung "[...] weder Anlagen gebaut noch Bodenveränderungen vorgenommen werden [dürfen]. Ausgenommen sind Einrichtungen, die dem Schutz oder der bisherigen landwirtschaftlichen Nutzung der Moore und Moorlandschaften dienen."

Die Erfolgskontrolle Moorschutz zeigt jedoch, dass sich der Zustand der Moore in der Schweiz trotz des zusätzlichen Schutzes verschlechtert hat. Dies drückt sich vor allem in einer Abnahme der Feuchtigkeit und des Humusgehalts und gleichzeitig in einer Zunahme der Nährstoffe und Anteil der Gehölzpflanzen aus. Diese Qualitätsabnahme wird grösstenteils durch anthropogene Einflüsse wie Drainagegräben, Düngereintrag oder den Bau von Infrastruktur begründet (Graf et al., 2007).

Der UNESCO Biosphäre Entlebuch (UBE) kommt im Bezug auf die national geschützten Moore eine besondere Stellung zu. Denn heute liegen rund 11.3% der Hoch- und 9.2% der Flachmoore von besonderer Schönheit und nationaler Bedeutung in der UBE, obwohl die UBE nur knapp ein Prozent der Fläche der Schweiz ausmacht (Hammer et al., 2011).

Verglichen mit anderen Regionen im Schweizer Mittelland ist die UBE eine eher junge Kulturlandschaft. Das Haupttal wurde wahrscheinlich erst gegen Ende des ersten Jahrtausends besiedelt, die Nebentäler, höheren Hügelgebiete und die unwirtlichen, da feuchten Täler und Senken wurden erst einige Zeit später besiedelt (Bühler, 1938; Hammer et al., 2011). Grossflächige Siedlungstätigkeiten ausserhalb des Haupttals fanden wahrscheinlich erst im 16. Jahrhundert statt, beschleunigte sich aber im 17. und 18. Jahrhundert als die Bevölkerungszahl stark anstieg (Bucher, 1976; Arbeitsgruppe Landschaftswandel, 1991). Aufgrund des Bevölkerungswachstums fanden bis weit ins 19. Jahrhundert hinein grossflächige Rodungen und Erschliessungen, auch von abgelegenen Gebieten satt (Hammer et al., 2011). Diese Entwicklung führte dazu, dass auch die vermoorten Teile des Waldes, die bis anhin eher vermieden wurden, gerodet wurden (Fischer und Looser, 1987). In dieser Zeit entstand die Grobstruktur der heutigen Moorlandschaften, auch wenn diese damals noch einiges nasser, sumpfiger, wilder, kahler und weniger grün erschienen (Hammer et al., 2011). Obwohl das Bevölkerungswachstum um die Mitte des 19. Jahrhunderts stagnierte, nahm der wirtschaftliche Druck auf die Moore weiter zu; vom 19. Jahrhundert an wurde versucht, Flachmoore durch Entwässerung in landwirtschaftlich nutzbare Flächen umzuwandeln (Fischer und Looser, 1987).

Der Kur- und Badetourismus setzte bereits im 16. Jahrhundert ein, endete mit dem zweiten Weltkrieg (Emmenegger 1986 in Hammer et al. 2011) und ebnete den Weg für den Wintertourismus, welcher wiederum starken Einfluss auf die Moorlandschaften hatte. In der Boomphase von 1947-1971 wurden 10 Skilifte und Gondelbahnen in Betrieb genommen und auch die restliche Infrastruktur wie Stassen, Ferien- und Gasthäuser stark ausgebaut. Nach 1971 folgten neue Skilift-Doppelführungen, ein Wasserbecken für die Beschneeanlagen im Winter (2002) und einzelne Sommer-Tourismus-Infrastrukturen. Diese touristische Infrastruktur stand in den 1980er in Konkurrenz mit dem einsetzenden Moor- und Moorlandschaftsschutz, sodass beispielsweise die Moorlandschaft Salwiden um ein Drittel kleiner als ursprünglich geplant ausgezeichnet wurde (Hammer et al., 2011). Beschneeanlagen haben eine Veränderung der Vegetationsdecke und Bodenbeschaffenheit zur Folge, da sie den Wasserhaushalt bzw. das Speichervermögen des Untergrunds beeinträchtigen (Hahn, 2011). Ausserdem stellen Fischer und Looser (1987) eine Abnahme des Moorcharakters auf Skipistenrodungsflächen fest. Von der Langlaufloipe von Salwidli, welche unter anderem durch das Mooregebiet Husegg-Ochsenweid führt, konnten jedoch keine negativen Auswirkungen auf die Moorvegetation festgestellt werden (Fischer und Looser, 1987).

Wie bereits erwähnt, wurden im 19. Jahrhundert kleinflächig Entwässerungen angelegt, seit Anfang des 20. Jahrhundert kam es aber vermehrt zu Forderungen zur Entsumpfung, welche auch umgesetzt wurde (Strüby, 1905). Alleine in der Gemeinde Flühli, wurden 1904-36 auf 88,8 ha 30 Entwässerungsprojekte durchgeführt, 1937-84 waren es 42 Projekte auf 242,7 ha (Schnider FB89 in Fischer und Looser 1987). Die Torfausbeutung der tiefergelegenen Moore begann in der Region Entlebuch erst um 1850 und wurde nur im kleinen Massstab betrieben. Mit den Weltkriegen im 20. Jahrhundert änderte dies, der Torfabbau wurde industriell von externen Unternehmen und Gesellschaften betrieben. Im Zweiten Weltkrieg soll sogar in den höher gelegenen Sörenberger Mooren Torf gestochen worden sein (Aregger, 1950). Dies deckt sich mit dem schweizweiten Trend des Torfabbaus: in Notzeiten wurde der Abbau intensiviert, sodass während des Zweiten Weltkriegs in der Schweiz 2.5 Millionen Tonnen Torf verbrannt wurde. Dafür mussten ungefähr 1'000 Hektare der Hochmooren abgetorft werden (BU-WAL, 2002). Eine detaillierte Aufstellung, in welchen Entlebucher Mooren wie viel Torf gestochen wurde, gibt es bislang jedoch nicht.

Nicht nur die Siedlungstätigkeit, Tourismus und Torfabbau beeinflussten die Landschaft der UBE massgeblich in den vergangenen Jahrhundert. Auch weitere Faktoren wie die Glaserei, die im 18. und 19. Jahrhundert betrieben wurde, Landwirtschaftliche Intensivierung, militärische Nutzung und Infrastrukturaufrüstung prägten die Landschaft (Hahn, 2011; Hammer et al., 2011; Humbel, 2013).

Der Zustand von Mooren kann auf unterschiedliche Weisen erfasst werden. Meist erfolgt dies über die Vegetation bzw. die Pflanzengesellschaften. Diesen können dann spezifische ökologische Verhältnisse zugeordnet werden. Die Vegetationsaufnahmen er-

folgen traditionellerweise als Felderhebungen (Küchler et al., 2018). Seit Ende der 30er Jahren wird jedoch auch das Luftbild im Natur- und Umweltschutz eingesetzt, einerseits als grobe Orientierungshilfe, andererseits auch mittels photogrammetrischen Auswertungen für Vegetationskartierungen. Für die Vegetationskartierungen werden meist Farbinfrarot-Filme verwendet, da diese im Bereich der chlorophyllhaltigen Biomasse wesentlich besser differenzieren als die herkömmlichen Farb- oder schwarz-weiss-Filme (Wortmann, 1997). Beispielsweise wurde bei der Erfolgskontrolle Moorschutzes die Vegetation der Moore nationaler Bedeutung mittels Infrarot-Luftbildern und Referenzobjekten flächendeckend in sogenannte Einheitsflächen eingeteilt und diese dann stichprobenartig im Feld kartiert (Küchler et al., 2018).

Luftbilder sind insofern besonders nützlich, da sie die sichtbaren Elemente einer Landschaft sehr detailliert wiedergeben können und diese so zeigen, wie sie im Augenblick der Aufnahme waren. Das Luftbild stellt so ein Zeugnis der Vergangenheit dar, welches frei von Generalisierung und Wertigkeit ist. Luftbilder sind anerkannte Dokumente, welche sogar bei Gerichtsverhandlungen eingesetzt werden. Jedoch können sie auch im Bereich des Moorschutzes genutzt werden, indem Eingriffe und (ökologische) Veränderungen im Moor durch Zustandsvergleiche unterschiedlicher Luftbildjahrgänge aufgezeigt werden (Wortmann, 1997).

Seit neuerem werden historische Luftbilder der Schweiz vom Bundesamt für Landestopografie (swisstopo) als gescannte, digitale Aufnahmen zur Verfügung gestellt und können über das Luftbildinformationssystem (LUBIS) abgerufen werden. Die Bildsammlung umfasst die Jahre ab 1926 und diente in erster Linie der Erstellung und Nachführung der Landeskarten und des Orthofotomosaiks SWISSIMAGE (swisstopo, 2018).

In dieser Arbeit soll nun herausgefunden werden, ob die historischen Luftbilder geeignet sind, um den früheren Zustand der Hochmoore in der UNESCO Biosphäre Entlebuch zu erfassen. Dafür soll eine an die historischen Luftbilder angepasste Methode entwickelt werden, mit welcher Aussagen über die Zustandsveränderung der Moore getroffen werden können. Anschliessend soll die zeitliche Entwicklung zweier Hochmoorstandorte in der UBE aufgezeigt werden, zum einen anhand der erarbeiteten Methode, zum anderen basierend auf schriftlichen Dokumenten und Publikationen.

2 Methode/Vorgehen

2.1 Auswahl der Moore

Die Anzahl und Vielfalt der Moore in der UBE ist sehr gross. Über 40 Hochmoore nationaler Bedeutung liegen im Gebiet der UBE. Wie bereits in der Einleitung beschrieben, standen die Moore immer wieder stark unter anthropogenem Einfluss, sodass einige Moore eine spannende Entstehungs-, sowie Nutzungsgeschichte aufweisen. Aus dieser Vielfalt wurden zwei der Hochmoore für die Analyse ausgewählt.

Für die Auswahl wurde zuerst eine Übersicht über die Moore erstellt (*siehe Tabelle 2 im Anhang*). Mit Hilfe dieser Übersicht, wurde eine grobe Auswahl von interessanten Mooren getroffen und durch Gespräche mit Richard Portmann und Florian Knaus stark eingegrenzt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Moore eine unterschiedliche Nutzung im letzten Jahrhundert aufwiesen, verschieden gross und unterschiedlich hoch gelegen sind. Diese Kriterien waren insofern wichtig, um eine Methode zu entwickeln, die auf verschiedene Hochmoore angewendet werden kann und nicht nur für beispielsweise die stark genutzten und somit anthropogen geprägten Hochmoore funktioniert. Weitere Kriterien waren, ob Luftbilder in guter Qualität und historische Quellen verfügbar sind. Moore, die eine kleinere Fläche als 10 ha (inkl. Hochmoorumfeld) aufwiesen, wurden nicht verwendet, da vor allem auf den ältesten Luftbildern der Massstab relativ klein ist und deshalb feine Veränderungen in der Landschaft nur schwer zu erkennen sind.

Zwei Moore, die den Kriterien gut entsprechen sind das Balmoos in der Gemeinde Hasle (LU) und das Gross Gfäl in der Gemeinde Flühli (LU). Aus ersten Recherchen ergab sich, dass im Balmoos bereits relativ früh Torf gestochen wurde und es durch landwirtschaftliche Nutzung und Entwässerung an vielen Stellen stark beeinträchtigt ist (Grüning et al., 1984). 1946 wurde das Balmoos dann vom SBN gekauft und unter Schutz gestellt. Das Balmoos weist somit eine interessante und abwechslungsreiche Nutzungsgeschichte auf. Das ungefähr 500 Meter höher gelegene und einiges grössere Gross Gfäl wurde anscheinend nie intensiv genutzt und es wurde kein Torf gestochen. Jedoch stehen Teile des Gross Gfäl in Konflikt mit der Infrastruktur des Wintertourismus (Skilift, Strassen, Gebäude) (Grüning et al., 1984). Im angrenzenden Gebiet Husegg wurde die Skiliftendstation mitten in die Hochmoorfläche gebaut. Um zu sehen, ob dies einen Einfluss auf die Hochmoore hat, wurde das Moor Husegg auch in die Luftbildanalyse des Gross Gfäls miteinbezogen, bei der historischen Analyse liegt der Fokus auf dem Gross Gfäl. Von beiden Mooren sind gute Luftbilder, sowie historische Dokumente verfügbar.

2.2 Luftbildanalyse

Die Analyse der Luftbilder erfolgte mit einem Geoinformationssystem (GIS) mit der Software QGIS 3.4. Die historischen schwarz-weissen Luftbilder sind nicht fein genug aufgelöst, um einzelne Pflanzengesellschaften abzugrenzen und zu bestimmen. Jedoch entsprechen gleiche Ausprägungen im Luftbild oftmals gleicher Vegetationsausprägungen. Dadurch ist es möglich, eine Einheitsflächenkartierung zu erstellen. Dabei werden Bereiche mit gleicher Ausprägung zusammengefasst, um somit durch Analogieschlüsse grossflächige Kartierungen von Vegetationsflächen zu erstellen, wobei keine pflanzensoziologischen Kriterien einfließen (Scherrer Ingenieurbüro, 2015).

2.2.1 Luftbildauswertung

Die grobe Einteilung der Einheitsflächen wurde bereits vor der Luftbildanalyse in Anlehnung an den Bericht "Goldenes Tor" vom Scherrer Ingenieurbüro (2015) erarbeitet, angepasst an die vorliegende Fragenstellung und die verfügbaren Luftbilder. Weitere Anpassungen und Differenzierungen ergaben sich während der Luftbildanalyse. Dabei wurde jeweils darauf geachtet, dass die Differenzierung nur so fein war, dass sie im ältesten bzw. am schlechtesten aufgelösten Luftbild noch erkennbar war. Dies resultierte in folgender Interpretationssystematik:

Wald Hierunter fallen alle Flächen, die von Gehölzvegetation dominiert werden. Dabei wurde zwischen geschlossenem Bestand (d.h. geschätztem Deckungsgrad $> 80\%$), lockerem Bestand (d.h. geschätzter Deckungsgrad $< 80\%$), Baumgruppen/Einzelbäume (Baumgruppen sind Zusammenschlüsse von ungefähr 10 oder weniger Bäumen) und Gebüsch unterschieden. Beim Gebüsch wurde aufgrund der limitierenden Auflösung keine Unterscheidung zwischen Gebüschwald, Gebüschgruppen und einzelnen Gebüschern gemacht. Zwergstäuche wie Heidelbeeren wurden zur offenen Moorvegetation gezählt.

Offene Flächen Als offene Flächen wurden alle Flächen zusammengefasst, die nicht von Gehölzen dominiert sind. Innerhalb der offenen Flächen wurde zwischen unruhigen Flächen, die eine offene Moorvegetation widerspiegeln, feuchten Wiesen, welche eine grösstenteils ruhige Oberfläche, jedoch mit Vernässungszeichen aufwiesen, Wiesen/Weiden, die zum Zeitpunkt der Luftbildaufnahme (noch) nicht geschnitten waren und grundsätzlich heller als die feuchten Flächen sind und gemähten Flächen unterschieden. Wenn möglich wurden Bult-Schlenken Komplexe separat aufgeführt.

Offene Wasserflächen Dies sind alle Flächen, welche eine offene Wasserfläche aufweisen. Darunter fallen Seen, Teiche, Flüsse und Bäche.

Eingriffe Unter Eingriffe fallen Gräben und Torfstichkanten bzw. -gruben.

Verkehrsflächen Dies sind alle Flächen, die dem Verkehr dienen: Fahrwege, Strassen, Wanderwege, Pfade. Verkehrsflächen wurden differenziert, ob sie befestigt oder unbefestigt waren. Dies meint, ob klare Fahrspuren oder gar Hartbelag erkennbar ist, oder es sich mehr um einen Wanderweg/Trampelpfad ohne befestigte Oberfläche handelt.

Bauten/Anlagen Darunter fallen alle Gebäude, touristische Infrastruktur wie Skilift, Langlaufloipe und Stromleitungen.

Ausgewertet wurden sowohl die primären und sekundären Hochmoore, als auch das Hochmoorumfeld. Wird im folgenden von Hochmoorfläche gesprochen, ist jeweils das Hochmoor inklusive Hochmoorumfeld gemeint.

2.2.2 Luftbildinterpretation

Natürliche Hochmoore weisen keine einheitlichen Lebensbedingungen auf, daher ist es schwierig, einen gemeingültigen Interpretationsschlüssel zu erstellen. Laut Grüning et al. (1986) gibt es jedoch einige Strukturelemente, die charakteristisch sind für intakte, natürliche Hochmoore. Darunter befinden sich folgende Elemente:

Hochmoorbult Erhöhung, die zeitweise oberflächlich austrocknet und daher auch von Bergföhren besiedelt werden können.

Hochmoorschlenke Senke, welche gleich gross oder grösser wie ein Bult und fast ständig vernässt ist, deshalb Baumfrei.

Moorsee Grössere offene Wasserfläche, meist im Zentrum des Hochmoors.

Rülle Natürliche Entwässerungsrinne, welche überschüssiges Wasser zum Rand hin abführt.

Moorwald Bergföhren, Fichten oder Birken dominieren, zusammen mit Bultpflanzen sowie Zergsträucher, Schlenkenpflanzen sind eher selten. Gegen das Zentrum der Hochmoore lichtet sich der Bestand. In grösseren Mooren löst er sich ganz auf.

Ausserdem sind folgende Entwicklungen in einem Hochmoor wünschenswert: Zunahme der Feuchtezahl, Huuszahl und Lichtzahl, sowie eine Abnahme der Nährstoffzahl und dem Anteil an Gehölzpflanzen (Küchler et al., 2018). In den Luftbildern sind diese Zeigerwerte nicht direkt abzulesen, jedoch können sie indirekt erschlossen werden.

Die Zustände bzw. Veränderungen der Einheitsflächen wurden wie nachfolgend bewertet.

Wald Moorwälder und gehölzdominierte Flächen können natürliche Elemente eines Hochmoors sein (Grüning et al., 1986). Jedoch wird meistens die Zunahme von Gehölzpflanzen als eine unerwünschte Entwicklung in Hochmooren angesehen. Denn diese deutet darauf hin, dass die Feuchtigkeit im Gebiet abgenommen hat, während eine Zunahme der Feuchtigkeit wünschenswert wäre. Ausserdem geht eine Zunahme von Gehölzpflanzen mit einer Abnahme der bodennahen Lichtverfügbarkeit einher. Diese Entwicklung ist für viele typische, hochmoorspezialisierte Pflanzen nicht wünschenswert (Küchler et al., 2018). Daher wurde eine Zunahme der Gehölzvegetation als negative Entwicklungen im Hochmoor gewertet.

Offene Flächen Eine Zunahme der offenen Moorvegetation und feuchten Wiesen und eine Abnahme von Wiesen/Weiden und gemähten Flächen weisen auf eine Zunahme der Feuchtigkeit hin. Das Vorkommen bzw. die Zunahme von Hochmoorbulten und -schlenken sind positiv zu deuten, einerseits als charakteristisches Strukturelement, andererseits als Indikator für Feuchtigkeit. Die Nährstoffzahl ist aus den historischen Luftbildern nur schwer herauszulesen, da die Pflanzengesellschaften nicht identifiziert werden können. Eine Zunahme von bewirtschafteten Flächen ((gemähte) Wiesen/Weiden) im und um die Hochmoorfläche geht aber sehr wahrscheinlich mit einem Nährstoffeintrag ins Hochmoor einher.

Offene Wasserflächen Das Vorhandensein von stehenden Wasserflächen ist nach Grüning et al. (1986) positiv zu werten. Da auf den vorhandenen Luftbildaufnahmen nicht zwischen gewünschten Rüllen und entwässernden Bächen oder Gräben unterschieden werden kann, wurden die fliessenden Wasserflächen nicht beurteilt.

Eingriffe, Verkehrsflächen und Bauten/Anlagen Eingriffe, Verkehrsflächen und Bauten/Anlagen aller Art werden negativ gewertet, da sie alle mit einer Störung des Hochmoors einhergehen.

2.2.3 Verwendete Luftbilder

Für die Luftbildanalyse wurden Aufnahmen aus den Jahren 1946, 1980, 1998 und 2012 verwendet. Dies liegt einerseits an der Verfügbarkeit der Luftbilder, andererseits erschienen diese Zeitabstände im Bezug auf die Geschichte der UBE sinnvoll. Das Luftbild aus dem Jahr 1946 widerspiegelt den Zustand der Moore kurz nach dem zweiten Weltkrieg, eine Periode, in welcher die Moore stark unter Druck standen. Mit dem Luftbild aus 1980 soll der Zustand vor Annahme der Rothenturminitiative 1987 erfasst werden, das Luftbild von 1998 soll den Zustand nach der Annahme der Initiative aufzeigen. Das Luftbild von 2012 wurde verwendet, um den aktuellen Zustand der Moore aufzuzeigen.

Für die Luftbilder von 1946 und 1980 wurden gescannte analoge Aufnahmen vom swisstopo verwendet (*siehe Tabelle 1*). Die Luftbilder aus den Jahren 1998 und 2012

sind Ausschnitte aus dem Orthofotomosaik SWISSIMAGE. Dies ist eine Zusammensetzung digitaler Farbluftbilder, welche die ganze Schweiz in einem einheitlichen Masstab abbildet und ebenfalls vom Bundesamt für Landschaftstopografie swisstopo bereitgestellt werden (swisstopo, 2010). SWISSIMAGE ist für Studierende der Schweizer Universitäten (geodata4edu.ethz.ch) frei zugänglich und die verwendeten Ausschnitte wurden darüber bezogen.

Bei allen Aufnahmen wurde zum einen darauf geachtet, dass der Masstab möglichst gross, bzw. die Auflösung möglichst hoch ist und die Belichtung bzw. der Kontrast der Bilder die Moorflächen möglichst gut differenzieren lassen. Zum anderen war bei der Auswahl entscheidend, dass sie als Orthofotos verfügbar sind. Ein Orthofoto ist ein Luftbild, bei welchem die Neigungseinflüsse der Kamera und des Geländes korrigiert wurden und somit eine verzerrungsfreie, massstabsgetreue Abbildung der Erdoberfläche bildet (swisstopo, 2010). Ausserdem wurde wenn möglich darauf geachtet, dass die Bilder in der selben Jahreszeit aufgenommen wurden.

Tabelle 1: Verwendete gescannte analoge Luftbilder

Jahr	Flugdatum	Bild-Nr.	Filmart	Massstab	Für Moor
1946	26.07.46	19461280010005	sw	1:50'000	Balmoos
1980	25.07.80	19802000012182	sw	1:22'900	Balmoos
1946	04.08.46	19461580030053	sw	1:50'000	Gross Gfäl
1980	12.09.80	19801840025075	sw	1:24'200	Gross Gfäl

3 Analyse Balmoos

Das Balmoos befindet sich in der Gemeinde Hasle (LU) auf 970m und hat heute eine Fläche von 12.44 ha. Davon 2.31 ha sekundäre Hochmoorfläche und 10.13 ha Hochmoorumfeld. Primäre Hochmoorflächen sind keine vorhanden (BAFU, 1991).

3.1 Luftbildanalyse

Die detaillierten Ergebnisse der Luftbildanalyse des Balmoos sind im Anhang dargestellt. Abbildung 1 zeigt beispielhaft den Zustand 2012.

Luftbildauswertung Balmoos, Hasle LU

Zustand 2012

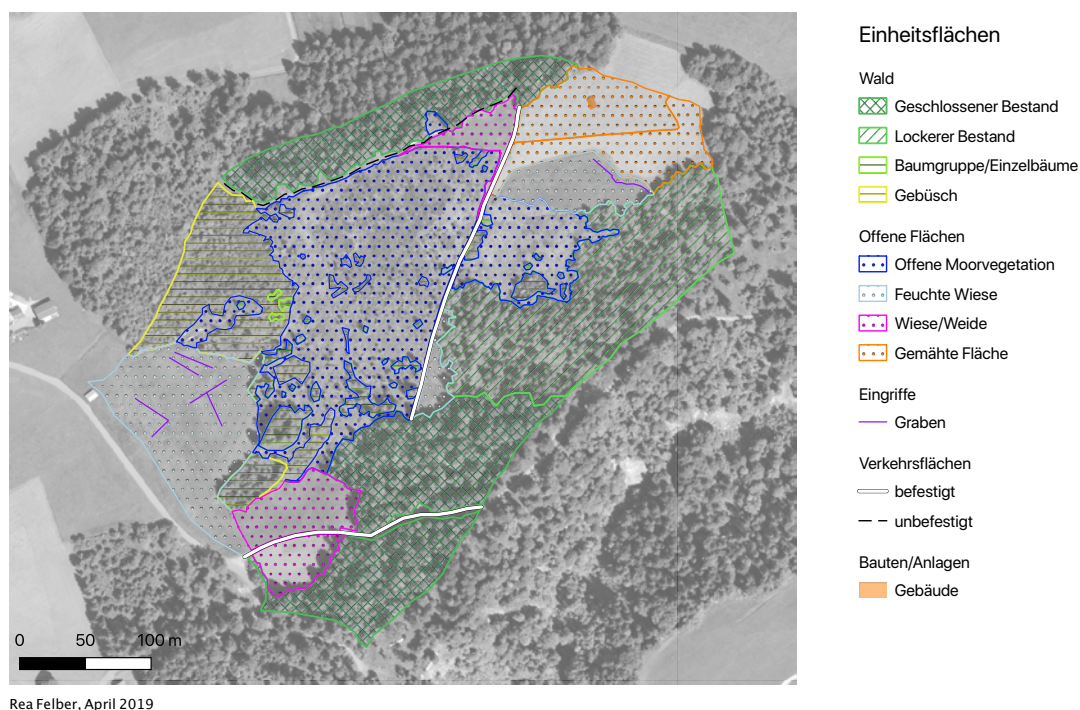


Abbildung 1: Beispiel Einheitsflächenkartierung Zustand 2012

Die Auswertung der Einheitsflächen des Balmooses ergab, dass die Waldfläche von 1946 bis 1998 kontinuierlich zugenommen und die offenen Flächen dementsprechend abgenommen haben. Von 1998 bis 2012 fand eine starke Abnahme der Waldfläche statt, sodass 2012 die Waldfläche sogar kleiner ist als im Jahr 1946 (*siehe Abbildung 2a*).

Wird die Waldfläche in die Einheitsflächen ausdifferenziert, erkennt man, dass die einzelnen Einheitsflächen nicht konstant zu- bzw. abgenommen haben (*siehe Abbildung 2b*). In den Jahren 1946 und 1980 bleibt das Verhältnis der Einheitsflächen grösstenteils konstant, während im Jahr 1998 der geschlossene und der lockere Bestand auf Kosten von Gebüsch zugenommen haben. Im Jahr 2012 ist der Anteil an geschlossenem Bestand gering, die anderen Einheitsflächen sind dafür relativ gesehen stärker vertreten.

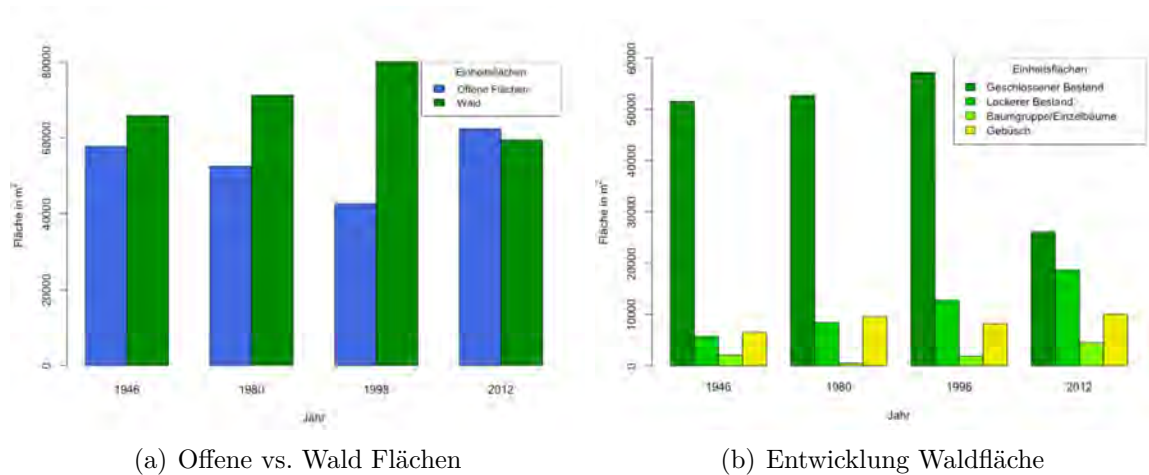


Abbildung 2: Entwicklung Flächen Balmoos

Die Analyse der Einheitsflächen der offenen Flächen ist weniger aussagekräftig, da im Jahr 1946 aufgrund der Bildqualität nur zwischen offener Moorvegetation und Wiese/Weide unterschieden werden konnte. Bei den folgenden Jahrgängen zeichnet sich ab, dass von 1980 nach 1998 der Anteil an offener Moorvegetation gesunken, dafür der Anteil an feuchten Wiesen gestiegen ist. 2012 ist jedoch wiederum eine deutliche Zunahme der offenen Moorvegetation zu erkennen, die feuchten Wiesen, Wiese/Weide und gemähte Flächen bleiben ungefähr auf dem selben Niveau wie 1998. Somit ist die Zunahme der offenen Flächen im Jahr 2012 grösstenteils durch die Zunahme der offenen Moorvegetation zu begründen.

Torfstiche sind in keinem der Luftbilder zu erkennen. Die Anzahl und Länge der Gräben ist bis 1998 grösstenteils konstant geblieben, im Jahr 2012 ist eine Zunahme der Anzahl und Länge zu sehen. Die Anzahl der Gebäude auf der Moorfläche blieb konstant. Der Weg, der durch das Balmoos führte, war 1946 noch unbefestigt, jedoch bereits im 1980 befestigt. In den Jahren 1998 und 2012 sind zusätzliche unbefestigte Wege zu erkennen.

Nachfolgend werden pro Jahrgang die wesentlichen Merkmale, Veränderungen und Besonderheiten der Interpretation des Hochmoors Balmoos beschrieben.

3.1.1 Zustand 1946

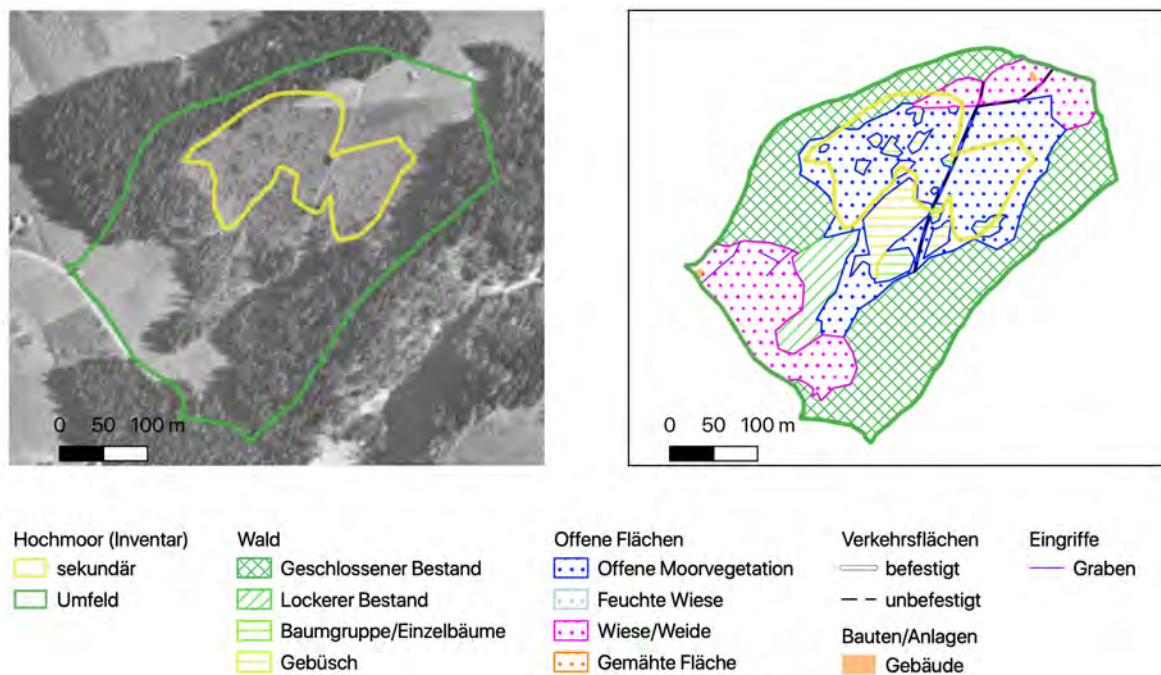


Abbildung 3: Ausschnitt Luftbild / Vegetationkartierung Balmoos 1946

Flugzeitpunkt 26.07.1946

Massstab 1:50'000

Besonderheiten Das Luftbild wurde in einem kleinen Massstab aufgenommen und daher ist die Auflösung mangelhaft. Das Unterscheiden zwischen Einzelbäumen/Gebüsch und offener, unruhiger Moorvegetation ist daher schwierig und wird weiter erschwert durch starken Schattenwurf nach Westen. Trotzdem lässt sich erkennen, dass die sekundäre Hochmoorfläche grösstenteils baumfrei ist. Im Hochmoorumfeld hat es sowohl offene Flächen, als auch geschlossenen Waldbestand. Bei den offenen Flächen lässt sich schwer erkennen, ob die Flächen feucht oder trocken sind. Einzig die baumfreie Fläche im Zentrum weist eine unruhige Struktur auf, welche auf eine offene bzw. feuchte Moorvegetation hinweist. Im Südwesten der Fläche sind einige kurze Gräben erkennbar, von Torfabbau sind keine Zeichen ersichtlich. Ein unbefestigter Weg zerschneidet fast die komplette Moorfläche. Offene Wasserflächen und Bult-Schlenken-Komplexe sind keine erkennbar.

3.1.2 Zustand 1980

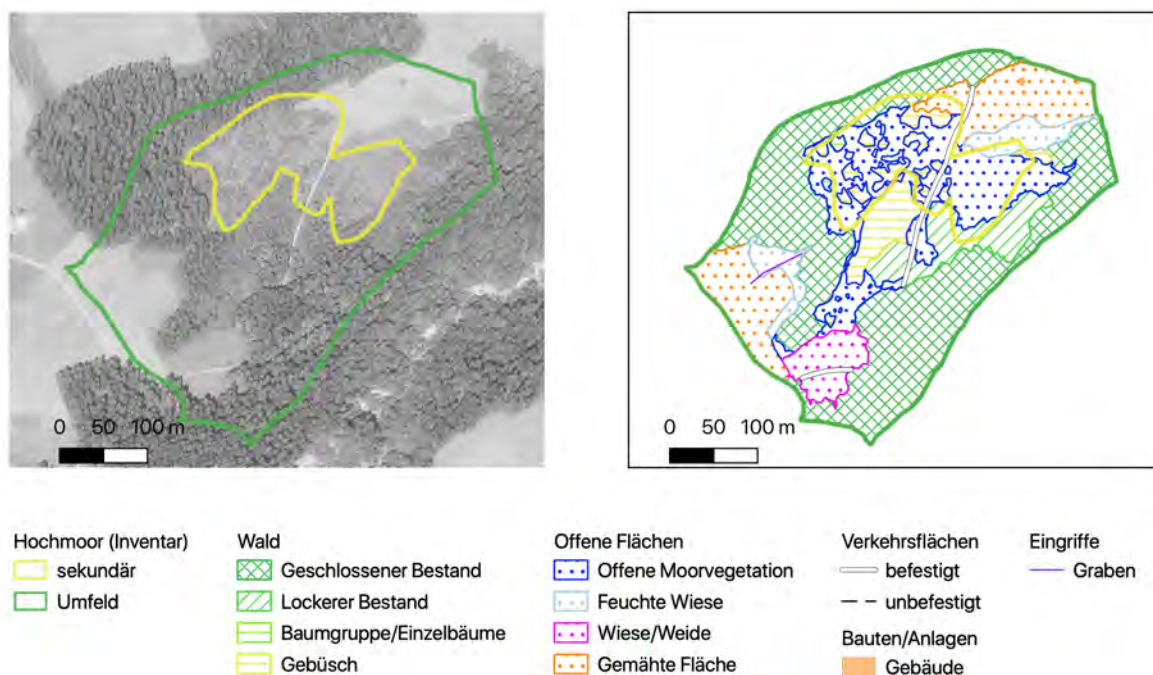


Abbildung 4: Ausschnitt Luftbild / Vegetationkartierung Balmoos 1980

Flugzeitpunkt 25.07.80

Massstab 1:22'900

Besonderheiten Dank dem grösseren Massstab konnten Flächen, die in den Bildern von 1946 noch als eine Einheitsfläche angesehen wurden, feiner unterteilt werden. Trotzdem bleibt die Grundstruktur des Moores identisch. Die sekundäre Hochmoorfläche ist grösstenteils offen, zeigt aber leichte Verbuschungstendenzen. Im Hochmoorumfeld scheint sich im Vergleich zu 1946 nicht viel verändert zu haben, einzig einige Flächen, die zuvor als lockerer Waldbestand klassifiziert wurden, sind nun als geschlossener Bestand gekennzeichnet, das selbe gilt für einige Flächen, die zuvor Gebüsch waren und nun lockerer Waldbestand sind. Die Strasse, welche quer durch das Hochmoor führt, scheint nun befestigt zu sein, hat deutliche Fahrspuren. Gräben sind nur noch in der Wiese, südöstlich im Hochmoorumfeld zu erkennen. Offene Wasserflächen und Bult-Schlenken-Komplexe sind keine erkennbar.

3.1.3 Zustand 1998

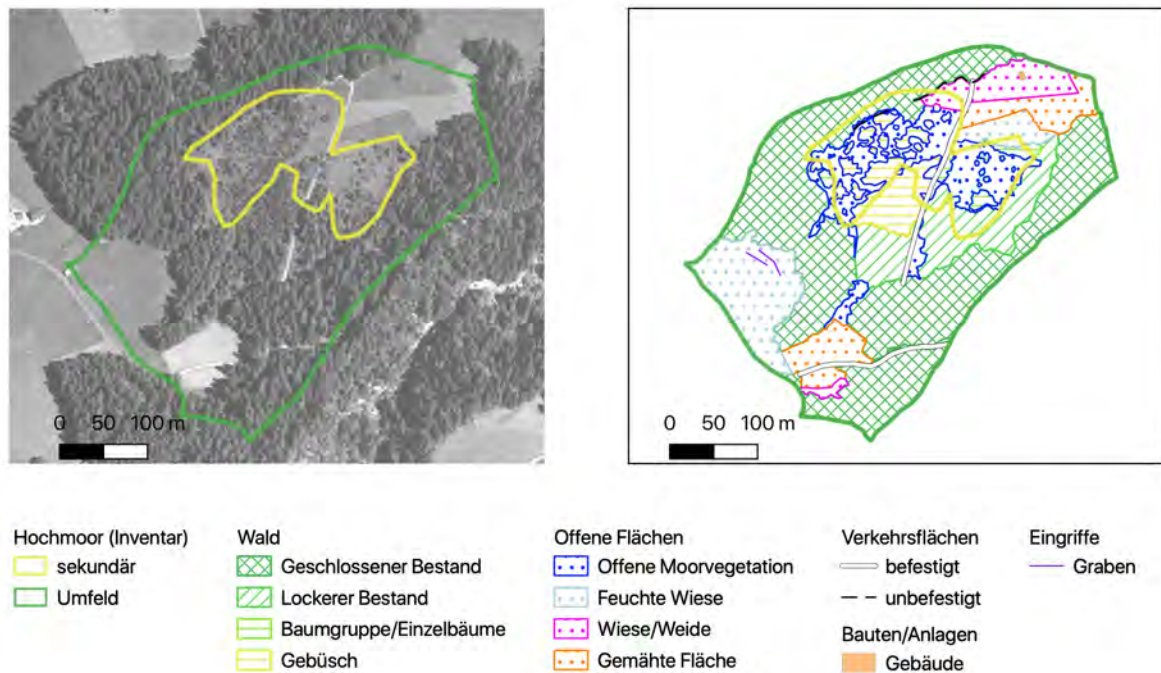


Abbildung 5: Ausschnitt Luftbild / Vegetationkartierung Balmoos 1998

Flugzeitpunkt 1998, genaues Datum unbekannt (SWISSIMAGE)

Massstab unbekannt

Besonderheiten Das Luftbild weist eine gute Auflösung auf, daher ist eine feine Differenzierung möglich. Die Gebüschflächen im sekundären Hochmoor haben deutlich zugenommen. Auch im Hochmoorumfeld hat der Gebüsch- und vor allem Waldbestand zugenommen. Die offenen Flächen im Hochmoorumfeld haben sich im Vergleich zum Jahr 1980 verändert. Mehr bzw. grössere Flächen wurden als feuchte Wiese eingestuft, während einige Flächen, die 1980 gemäht waren, zu diesem Flugzeitpunkt noch nicht geschnitten sind und umgekehrt. Gräben befinden sich wiederum in der selben Fläche wie im Jahr 1980, jedoch sind nicht die selben Gräben zu sehen. Offene Wasserflächen und Bult-Schlenken-Komplexe sind keine erkennbar.

3.1.4 Zustand 2012

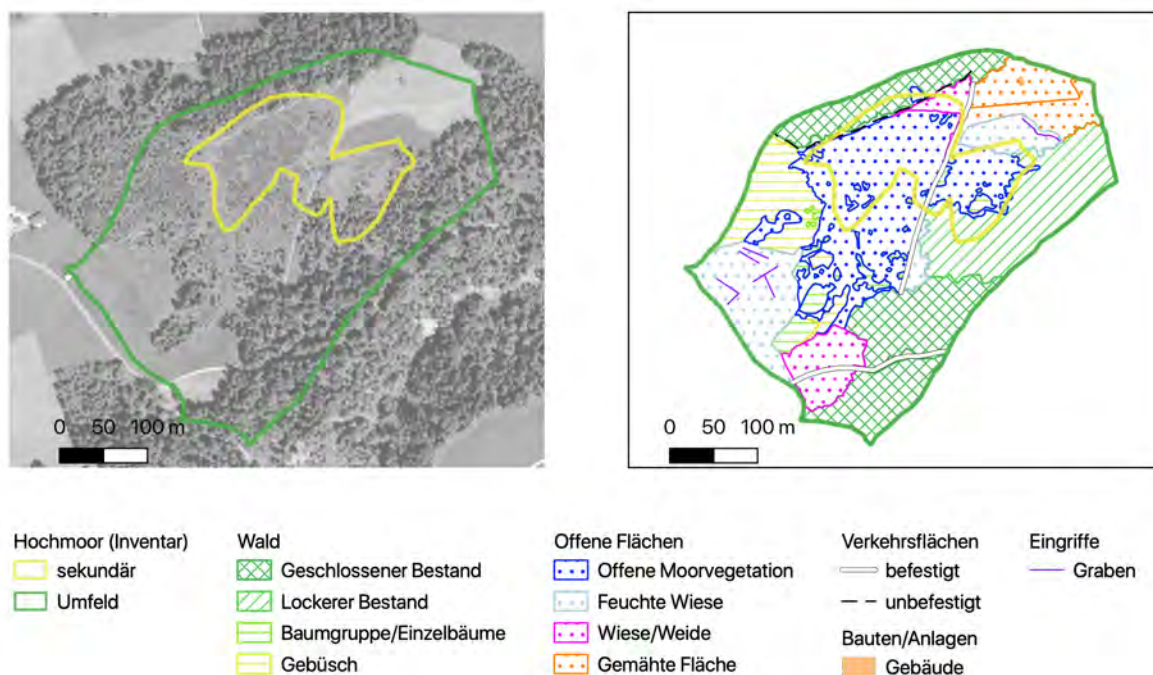


Abbildung 6: Ausschnitt Luftbild / Vegetationkartierung Balmoos 2012

Flugzeitpunkt 2012, genaues Datum unbekannt (SWISSIMAGE)

Massstab unbekannt

Besonderheiten Die Auflösung ist gleich wie im vorhergehenden Jahrgang. Es fällt auf, dass im Vergleich zum Jahr 1998 die Gebüsch- und Waldfläche im sekundären Hochmoor, sowie im Umfeld abgenommen hat. Dazu kommt, dass Flächen, die zuvor als geschlossener Waldbestand angesehen wurden, nun nur noch als lockerer Bestand oder Gebüsch klassifiziert sind. Die offenen Flächen wurden grösstenteils identisch wie die offenen Flächen aus dem Jahr 1998 ausgeschieden. Wiederum gibt es Flächen, die 1998 bereits gemäht waren, 2012 jedoch noch nicht. Gräben hat es wie in den letzten Luftbildern im südöstlichen Teil des Hochmoorumfelds, die Anzahl der Gräben hat zugenommen. Ausserdem ist ein neuer Graben in der Feuchten Wiese im Nordwesten des Hochmoors erkennbar. Offene Wasserflächen und Bult-Schlenken-Komplexe sind keine vorhanden.

3.2 historische Analyse

Bereits im Topographischer Atlas der Schweiz 1:25'000 (Siegfriedkarte, TA25, Blattnr. 373) vom Jahr 1892 sind im östlichen Teil des Balmooses Torfstichkanten eingezeichnet. Auch Früh und Schröter (1904) erwähnen einige kleine, flache Torfstiche, welche wohl Überreste eines ehemaligen Torfabbaus sind und als mit mehr oder weniger Wasser

gefüllte Kolken erhalten geblieben sind. Bis auf der letzten verfügbaren Siegfriedkarte (1941) für das Gebiet sind Torfstichkanten eingezeichnet. In der Landeskarte der Schweiz 1:25'000 (LK25, Blattnr. 1169), welche die Siegfriedkarte 1954 ablöste, sind Torfstichkanten nicht mehr eingezeichnet. Lüdi (1945) in (Dussex und Held, 1990) erwähnt jedoch eine Torfstichgrube, welche 1944 westlich des Weges eröffnet, aber auch bald wieder aufgegeben wurde. Diese sich zwar renaturierende Torfstichgrube wird bis in die 1990er Jahre immer wieder erwähnt, als Grund für die Entwässerung und darauf folgende Verbuschung des angrenzenden Bergföhrenhochmoors (Grüning et al., 1984; Schneebeili, 1983; Dussex und Held, 1990). Dussex und Held (1990) vermuten, dass die Fläche östlich der Strasse nach 1945 noch abgetorft wurde, da dieser sehr stark degeneriert ist. Obwohl der Torfabbau für das Hochmoor langjährige Konsequenzen hatte, wurde wohl nie intensiv Torf gestochen. Früh und Schröter (1904) bezeichnen den Torfabbau sogar als irrational und launenhaft.

Früh und Schröter (1904) beschreiben das Balmoos als ein 400m langer und höchstens 150m breiter Streifen zwischen den Wäldern Haslihohwald im Nordwesten und Kirchenwald im Südosten. Die Hochmoorlandschaft charakterisieren sie als eigentümlich, bestehend aus flachen Bulten und Vertiefungen, welche von Hackföhren (*Pinus uncinata*) und einigen Sträuchern, wie der Heidelbeere, umgeben sind. Lüdi (1973) bezeichnet nach seinen Besuchen in den Jahren 1942 und 1943 das Balmoos als das am besten erhaltene Hochmoor zwischen Emme und Entle.

Dies ist eventuell einer der Gründe, warum der SBN 1946 (Nutzen- und Schadensanfang auf den 1. Juni 1946) einen Teil des Balmoos erwarb (Gemeinderat Hasle (LU), 1946). Dabei handelt es sich um die Parzelle 474, welche den grössten Teil der sekundären Hochmoorfläche, sowie einen Teil des Hochmoorumfelds umfasst (siehe Abbildung 7). Laut Grüning et al. (1984) war das Balmoos bereits 1946, als es vom SBN

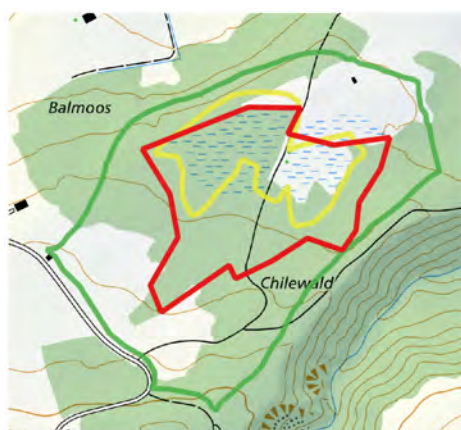


Abbildung 7: Ausschnitt aus aktueller Landeskarte. rot: Fläche SBN, grün: Hochmoorumfeld, gelb: sekundäre Hochmoorfläche

gekauft wurde, in einem desolaten Zustand, welcher durch Abtorfung, landwirtschaftlicher Nutzung und Entwässerung entstand. Der SBN versuchte nach dem Kauf, diesen

Schaden einzuschränken, indem die aufgeworfenen Gräben und Löcher nach Möglichkeit wieder gedeckt wurden (Aregger, 1952). Im Kaufbrief sind als Grundlasten der Karrweg mit Duchfahrtsrecht und eine Brunnstube mit Leitung zugunsten der Liegenschaft "Schlund" aufgeführt. Wo diese Brunnstube und Leitung verläuft ist im Kaufbrief nicht ersichtlich. Im anschliessenden Nutzungsvertrag von 1947 bekommt Herr Johann Unernährer von Hasle das Recht, Teile des Balmooses zu mähen. Dabei handelt es sich um das nordöstliche Gebiet zwischen der Strasse und dem Kirchenwald, sowie einen nicht klar definierten Bereich an der westlichen Reservatsgrenze. Ansonsten wird die Nutzung des dem SBN gehörenden Teil des Balmooses ausgeschlossen. Dieser Nutzungsvertrag wurde im Jahre 1980 durch einen Vertrag mit Herrn Franz Wermelinger aus Hasle abgelöst. Neu werden die zu mähenden Gebiete jährlich neu bestimmt und die Streue darf nicht vor Mitte September gemäht werden. Es wird ausserdem vermerkt, dass die Äste austreibender Weiden- und Faulbaumstöcke geschnitten werden sollen. Dies könnte darauf hinweisen, dass der Verbuschungs- bzw. Verwaldungsgrad der Fläche seit dem letzten Nutzungsvertrag zugenommen hat.

Eine deutliche Zunahme der Waldfläche zeichnet sich auch auf den historischen Landkarten ab. Von 1892 bis 1975 weist die Waldfläche eine ähnliche Ausprägung auf; rund um die feuchte, mit Einzelbäumen besetzte Fläche bleibt die Waldfläche mehr oder weniger konstant. Auf dem Kartenblatt von 1980 wird der östliche Teil der Strasse grösstenteils als geschlossener Wald eingezeichnet, was auch auf den folgenden Kartenblättern so bleibt.

Schneebeli (1983) beschreibt in einem Gutachten des Balmooses als bestehende Störungen die Zufuhr von eutrophiertem Oberflächenwasser über die Gräben in der Parzelle 540 im Südosten des Hochmoorumfelds. Als Gründe für die Entwässerung werden die bereits oben erwähnte Torfstichgrube und der Flurweg genannt. Dieser wurde zwischen 1975 und 1986 ausgebaut und danach neue Entwässerungsgräben entlang der Strasse errichtet, was die Entwässerung verstärkt (Dussex und Held, 1990).

Beim Vergleich der Karten von 1892 bis heute fällt ausserdem auf, dass die Anzahl, Grösse oder Verteilung der Gebäude, abgesehen von den drei bereits erwähnten, in und um die Moorfläche gleich geblieben ist. Einige Wege und Strassen wurde neu angelegt, ausgebaut oder verschwanden im Laufe der Zeit, aber die grobe Infrastruktur, welche auf den Karten ersichtlich ist, bleibt konstant.

4 Analyse Husegg-Gross Gfäl

Das Hochmoor Gross Gfäl liegt auf 1470 m.ü.M. in der Gemeinde Flühli (LU) und ist 27.29 ha gross, wobei davon 10.13 ha primäre und sekundäre Hochmoorfläche und 17.15 ha Hochmoorumfeld ist. Das angrenzende Hochmoor Husegg liegt auf 1460 m.ü.M. und ist wesentlich kleiner mit einer Fläche von 1.62 ha, davon 0.47 sekundäre Hochmoorfläche und 1.15 ha Hochmoorumfeld (BAFU, 1991). Der Moorfläche Husegg-Gross Gfäl ist somit mehr als doppelt so gross wie das Balmoos und ungefähr 500 Meter höher gelegen.

4.1 Luftbildanalyse

Die detaillierten Ergebnisse der Luftbildanalyse von Husegg-Gross Gfäl sind im Anhang dargestellt. Abbildung 8 zeigt eine Übersicht über die Einheitsflächenkartierung der einzelnen Jahrgänge. Auf den ersten Blick erkennt man, dass die grobe Struktur ähnlich geblieben ist.

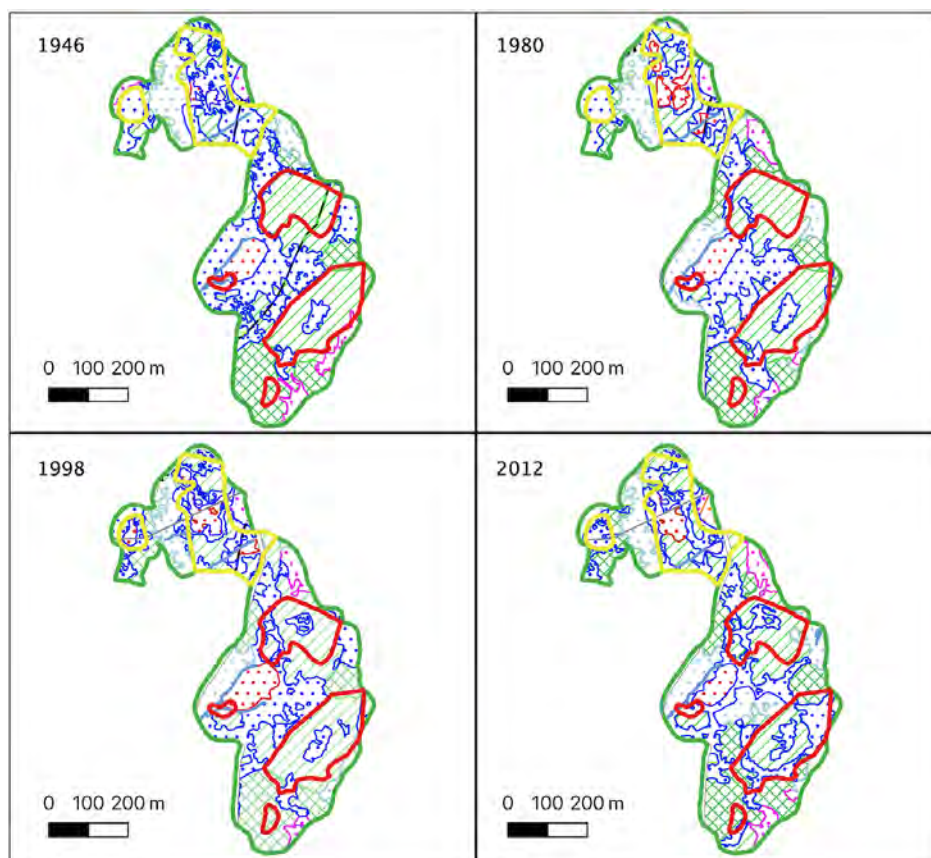


Abbildung 8: Luftbildanalyse Gross Gfäl

Die Auswertung der Einheitsflächen von den Hochmooren Husegg-Gross Gfäl ergab, dass die Grösse der Wald- und der offenen Flächen ziemlich konstant geblieben sind.

Bei den offenen Flächen nimmt die Fläche der Bult-Schlenken-Komplexe bis 1998 zu, danach wieder ab, die unruhige Moorvegetation nimmt konstant ab und die feuchten

Flächen haben einen leichten Aufwärtstrend. Die Fläche der Wiesen und Weiden bleibt sehr konstant und im Jahr 2012 ist zum ersten Mal eine gemähte Fläche zu erkennen (siehe Abbildung 9a).

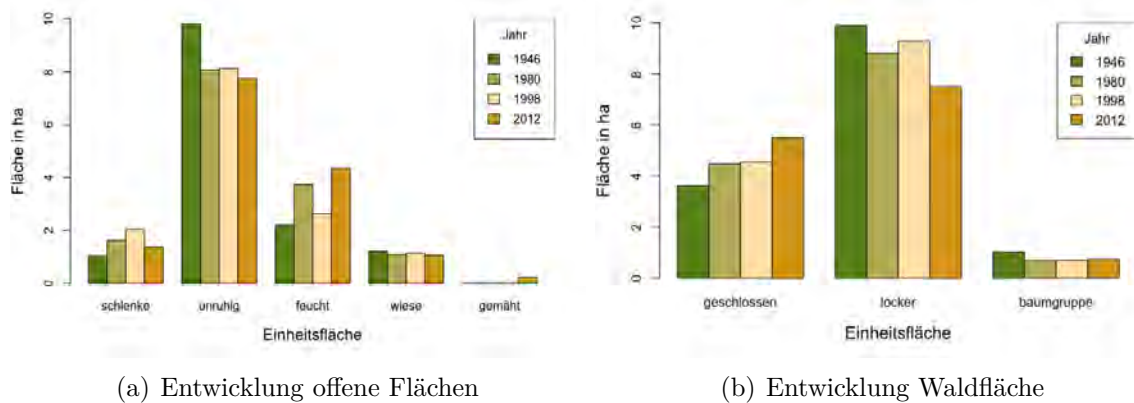


Abbildung 9: Entwicklung Flächen Gross Gfäl

Bei den Waldflächen nimmt der geschlossene Bestand konstant leicht zu, der lockere Bestand dagegen ab, die Fläche der Baumgruppen/Einzelbäume bleibt über die Jahre erhalten (siehe Abbildung 9b). Die leichte Zunahme des geschlossenen Bestandes findet im Hochmoorumfeld statt. In den primären Hochmoorflächen im Süden des Gross Gfäl nimmt der Anteil an gehölzdominierten Flächen ab. Das neu vorhandene Totholz im Jahr 2012 deutet darauf hin, dass die Fläche für Bäume unwirtlich geworden ist, was an einer Zunahme der Feuchtigkeit liegen könnte.

Eingriffe, Verkehrsflächen und Bauten/Anlagen haben über die Jahre konstant zugenommen, was auf eine leichte Verschlechterung des Zustands hinweist.

Nachfolgend werden pro Jahrgang die wesentlichen Merkmale, Einschränkungen und Besonderheiten bei der Auswertung exemplarisch am nördlichen Teil des Gross Gfäl (inkl. Husegg) beschrieben.

4.1.1 Zustand 1946

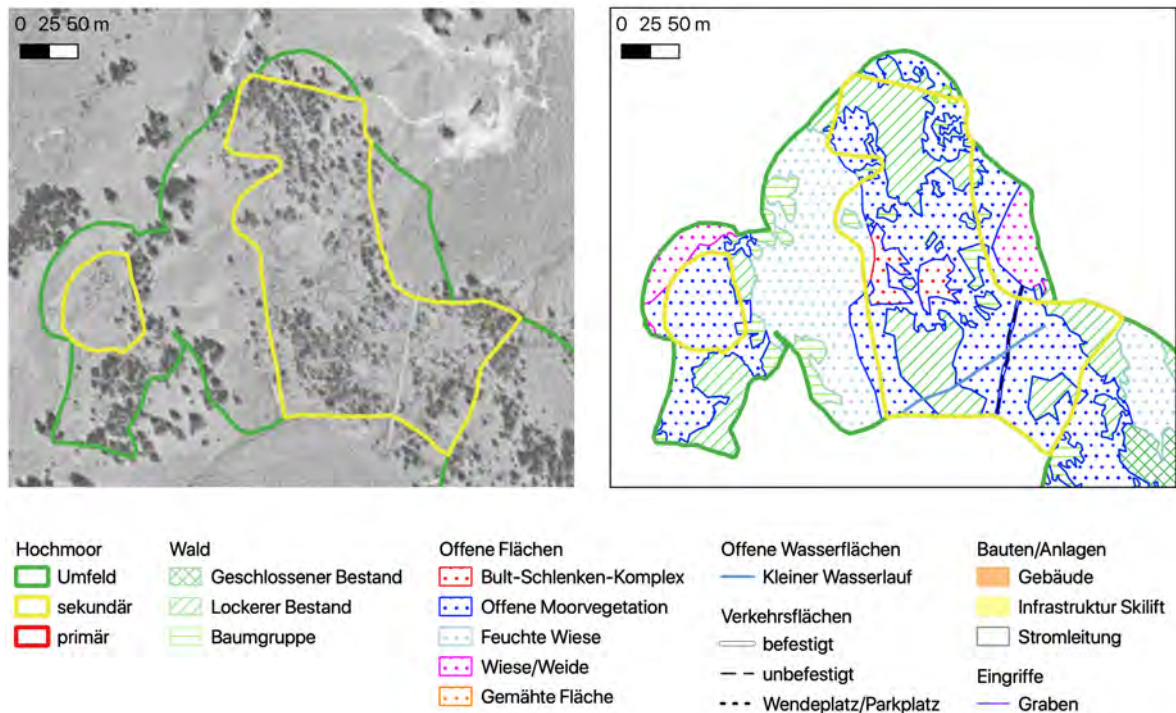


Abbildung 10: Ausschnitt Luftbild / Luftbildauswertung Gross Gfäl 1946

Flugzeitpunkt 04.08.1946

Masstab 1:50'000

Besonderheiten Trotz der geringen Auflösung lässt es sich gut zwischen Wald- und offenen Flächen unterscheiden. Der Schattenwurf, welcher nach Nordwesten zeigt, hilft dabei und macht das Bild kontrastreicher. Es fällt auf, dass das Hochmoor sehr divers ist und auf kleinem Raum viele verschiedene Einheitsflächen enthält. Dies gilt sowohl für den dargestellten nördlichen Teil, als auch für das ganze Hochmoor. Bei der Auswertung fiel auf, dass dieses Bild stärker verzogen ist als die Bilder der nachfolgenden Jahrgängen.

4.1.2 Zustand 1980

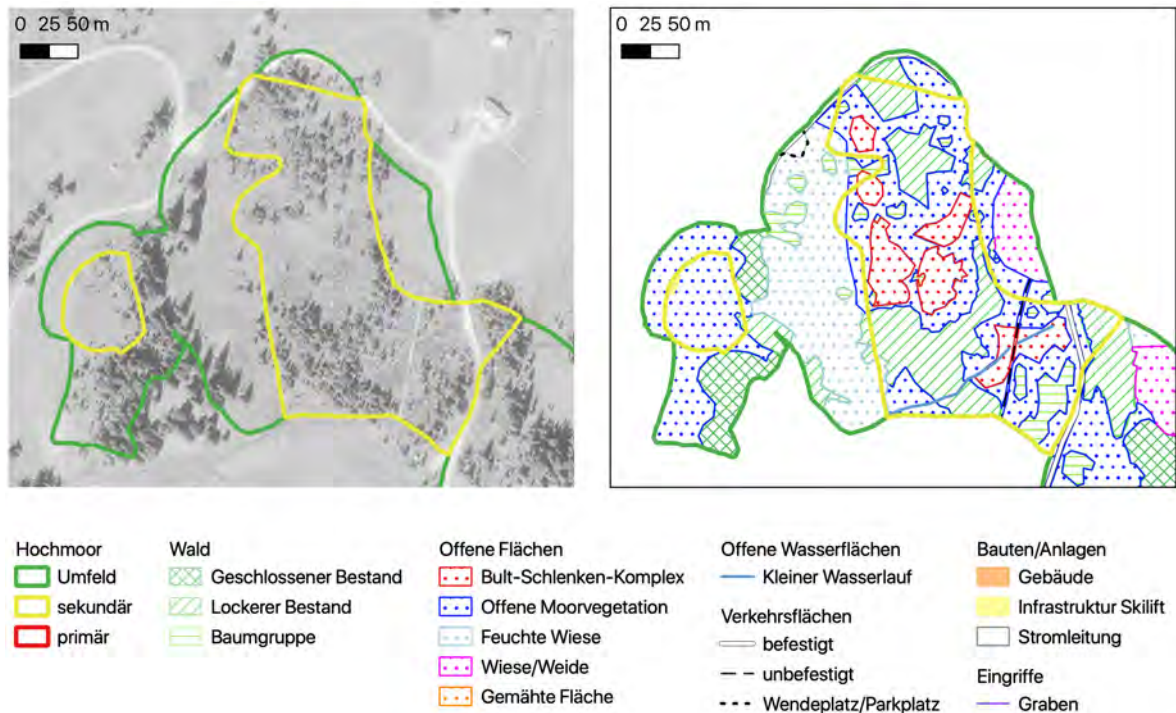


Abbildung 11: Ausschnitt Luftbild / Luftbildauswertung Gross Gfäl 1980

Flugzeitpunkt 12.09.1980

Masstab 1:24'200

Besonderheiten Die Luftbildaufnahme ist weniger kontrastreich, da sie etwas überbelichtet ist. Die Grobstruktur der Einheitsflächen ist ähnlich wie im Jahr 1946. Im Zentrum der sekundären Hochmoorfläche sind einige neue Bult-Schlenken-Komplexe zu erkennen. Diese auf Flächen, die im vorhergehenden Jahrgang als offene Moorvegetation ausgeschieden wurden. Die Verteilung und Differenzierung der Waldflächen bleibt ähnlich, da jedoch der Schattenwurf in diesem Luftbild Richtung Nordosten und nicht mehr nach Südwesten liegt, wurden die Flächen teils unterschiedlich abgetrennt. Neu ist die Endstation des Skilifts im westlichen Zipfel des Hochmoors (durch Umrandung der Sekundären Hochmoorfläche verdeckt). Diese scheint jedoch keine negativen Auswirkungen auf das Hochmoor zu haben. Die Strasse, welche am Rande des Hochmoors verläuft und es an einer Stelle kreuzt, ist neu.

4.1.3 Zustand 1998

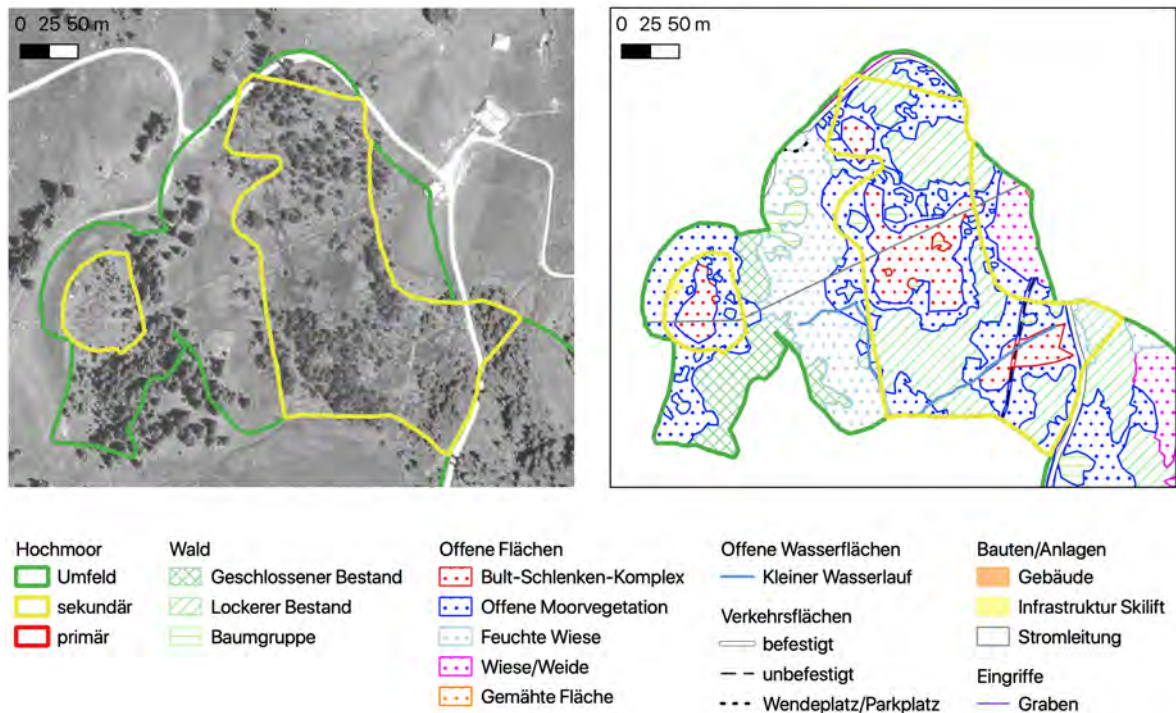


Abbildung 12: Ausschnitt Luftbild / Luftbildauswertung Gross Gfäl 1998

Flugzeitpunkt 1998, genauer Zeitpunkt unbekannt (SWISSIMAGE)

Masstab unbekannt

Besonderheiten Im Vergleich zum letzten Jahrgang ist die Qualität des Luftbilds einiges besser, da kontrastreicher und besser belichtet. Die Verteilung der Waldflächen bleibt grösstenteils identisch mit der aus dem Jahr 1980. In der östlichen sekundären Hochmoorfläche ist ein neue Bult-Schlenken-Komplex zu erkennen. Auch die Bult-Schlenken-Komplexe, welche 1980 neu waren, sind 1998 noch vorhanden und haben sich zu einem grossen Komplex zusammengeschlossen. Neuerdings überquert eine Stromleitung diesen Ausschnitt des Hochmoors.

4.1.4 Zustand 2012

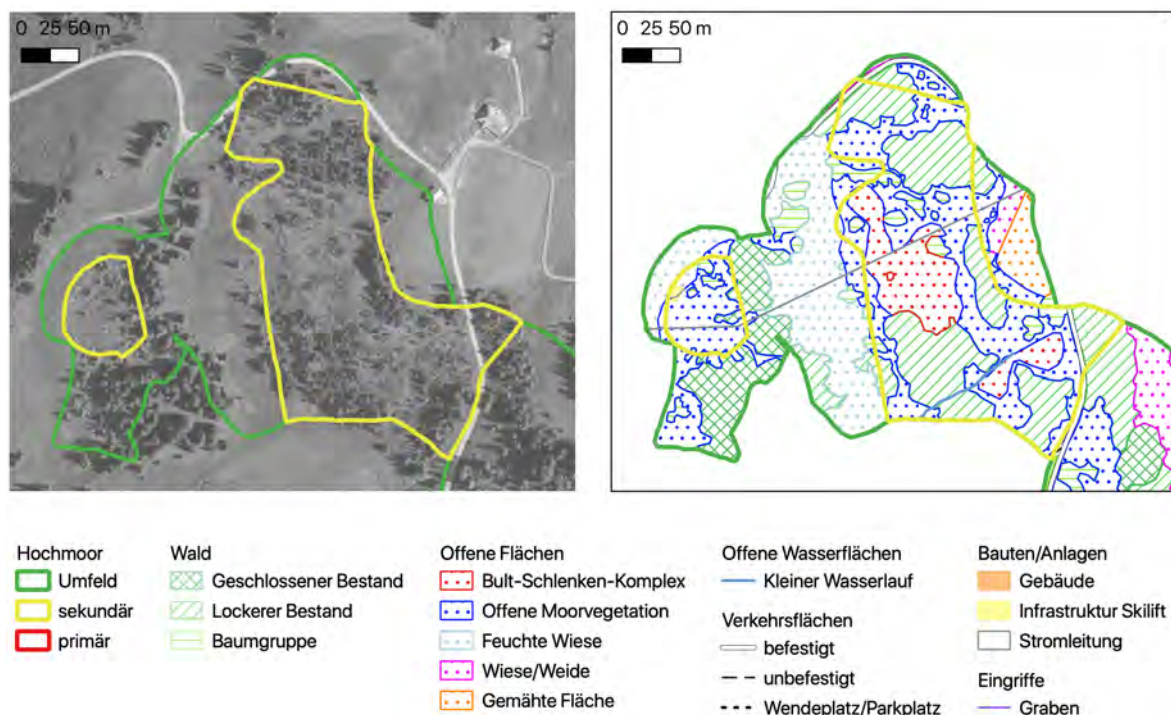


Abbildung 13: Ausschnitt Luftbild / Luftbildauswertung Gross Gfäl 2012

Flugzeitpunkt 2012, genauer Zeitpunkt unbekannt (SWISSIMAGE)

Masstab unbekannt

Besonderheiten Die Qualität des Luftbildes ist analog zur Qualität des Luftbildes des vorhergehenden Jahrgangs. Die Verteilung des Einheitsflächen ist ebenfalls sehr ähnlich. Die Schlenke im westlichen sekundären Hochmoor ist wieder verschwunden und ein Teil der umliegenden, ursprünglich als offene Moorvegetation ausgeschiedenen Fläche, ist nun als feucht kartiert. Was ausserdem auffällt: In der gesamten Hochmoorfläche sind einige abgestorbene Bäume zu erkennen. Die meisten noch stehend, andere liegend. Auch ausserhalb der Hochmoorfläche ist einiges an Totholz, stehend und liegend, vorhanden.

4.2 Historische Analyse

Die Hochmoore Husegg-Gross Gfäl liegen bzw. lagen auf dem Gebiet der Genossenschaftsalp Rischli-Salwiden. Die Alp ist ein Beispiel für die gemeinschaftliche Nutzung von Mooregebieten, die wegen des geringen Ertrags nicht privatisiert wurden. Gegründet wurde die Genossenschaft 1807 (Portmann FB36 in Fischer und Looser 1987). Bereits im 15. Jahrhundert soll laut Portmann FB36 in Fischer und Looser 1987 Perdezucht auf Rischli-Salwiden betrieben worden sein. Aregger (1961) nimmt an, dass gegen Ende des 17. Jahrhunderts Rindersömmerung betrieben und die Pferdezucht beibehalten wurde.

Die Pferdesömmerung wurde nach dem Zweiten Weltkrieg zugunsten der Rindersömmerung aufgegeben. Im 19. und 20. Jahrhundert nahm die Intensität der Beweidung waldfreier Flächen zu. Dies führte zu einer grösseren Trittbelastung der Hochmoor- und Schlenkengesellschaften (Fischer und Looser, 1987).

Auf den Siegfriedkarten (Topographischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Blattnummer 387) von 1894 bis 1941, welche für dieses Gebiet existieren, sind keine grossen Veränderungen der Landschaft oder Infrastruktur ersichtlich. Sowohl Gebäude, Strassen als auch Waldflächen blieben grösstenteils konstant. Auch auf den Landeskarten der Schweiz (1:25'000, Blattnummer 1189) von 1957 bis 2012 blieben grosse Veränderungen aus. Die Verläufe der Wege ändern regelmässig, jedoch ist im grossen kein klarer Trend zu erkennen. Einzig der Weg, welcher östlich des Hochmoors verläuft, scheint kontinuierlich ausgebaut worden zu sein.

Auf der Landeskarte der Schweiz aus dem Jahre 1970 (1:25'000, Blattnummer 1189) ist zum ersten Mal der Skilift nach Husegg eingezeichnet. Für den Bau von Skiliften und -pisten wurden Torfkörper angeschnitten und Moorwald gerodet. Die Moore Gross Gfäl und Husegg seien laut Fischer und Looser (1987) von diesen Eingriffen betroffen. Auch die Langlaufloipe, welche durch das Hochmoorgebiet des Gross Gfäls führt, erfreue sich in den 70er/80er Jahren wachsender Beliebtheit. Jedoch konnte keine Beeinträchtigung der Hochmoorvegetation durch die Lope festgestellt werden.

Fischer und Looser (1987) erwähnen neuere Entwässerungsrohre, die im Gross Gfäl gegen das Türnliwaldmoor hinunter verlegt worden sind und im südwestlichen Teil des Gross Gfäl seien Spuren alter Entwässerungen ersichtlich. Aufzeichnungen über Torfabbau im Gross Gfäl sind keine aufzufinden.

Aregger (1950) beschreibt das Gross Gfäl in seiner Dissertation als gut erhalten, er bezeichnet es gar als bemerkenswert und schutzwürdig, da einige seltene, typische Hochmoorpflanzen im Gebiet des Gross Gfäl vorkommen. Auch in den Blättern für Heimatkunde aus dem Entlebuch erwähnt Aregger (1952) das Gross Gfäl als eines der Moore, "[...] die der Nachwelt unbedingt als Reservate unversehrt erhalten bleiben sollten [...] mit seiner interessanten Pflanzenwelt". Knaus (2009) klassifiziert das Gross Gfäl als beeinträchtigt, jedoch gehört es zu den besser erhaltenen Moore dieser Klasse.

Gemäss Richard Portmann (mündliche Mitteilung) wurde das Gross Gfäl teilweise aufgewertet, als Kompensation für den Bau der Gasleitung im Entlebuch im 20. Jahrhundert, welcher einen grossen Teil der Hochmoore beeinträchtigte. Laut Florian Knaus (mündliche Mitteilung) wurden im nördlichen Teil des Gross Gfäls in den 90er Jahren einige Dämme gebaut, welche das Wasser zurückstauen sollen. Richard Portmann und Florian Knaus bezeichnen diese Renaturierung als gelungen, unter anderem da sich neue, teils mit Wasser gefüllte Schlenken gebildet haben.

Das Gross Gfäl hatte wohl dank seiner höher gelegenen Lage das Glück, nie intensiv bewirtschaftet oder ausgebeutet worden zu sein. Abgesehen von kleinräumigen Entwässerungen und den Beeinträchtigungen durch den Wintertourismus ist es gut er-

halten geblieben und durch die Aufwertungen Ende des 20. Jahrhunderts hat sich der Zustand sogar verbessert.

5 Diskussion

5.1 Aussage über Zustand bzw. Veränderung der Moore anhand der Luftbilder

5.1.1 Balmoos

Die im Abschnitt 3 beschriebene Entwicklung der Waldfläche deutet darauf hin, dass sich der Zustand des Balmooses von 1946 bis 1998 konstant verschlechtert hat. Die deutliche Abnahme der Waldfläche und des geschlossenen Bestandes im Jahr 2012 zeigt jedoch, dass sich der Zustand wieder verbessert hat. Die Entwicklung der offenen Flächen weisen darauf hin, dass das Balmoos im Jahre 2012 feuchter ist, als in den vorhergehenden Jahrgängen. Eine Aussage über den Nährstoffeintrag ist schwierig zu treffen, da sich die Bewirtschaftung um das Balmoos nicht verändert zu haben scheint. Anhand der Verkehrsflächen, Bauten/Anlagen und Eingriffe ist ein konstanter, jedoch sehr schwacher negativer Trend zu erkennen. Der Zustand des Balmooses hat sich also in den Jahren von 1946 bis 1998 konstant verschlechtert, jedoch sind 2012 einige positive Entwicklungen zu erkennen.

Die Verbesserung des Zustandes von 1998 bis 2012 ist erstaunlich, verglichen mit der allgemeinen Entwicklung der Moore in der Schweiz. Die Wirkungskontrolle Moorschutz zeigt nämlich überwiegend eine Verschlechterung der Schweizer Moore zwischen der Erst- und Zweiterhebung, welche in den Jahren 1997 bis 2002 respektive 2003 bis 2010 stattfanden (Graf et al., 2007). Im untersuchten Zeitraum sind 30 % der Hochmoore erheblich trockener und 21 % tendenziell trockener geworden, während nur 11 % der Hochmoore erheblich feuchter geworden sind (Küchler et al., 2018).

Da das Balmoos seit 1946 im Besitz des SBN ist, kann angenommen werden, dass es seither strengerem Schutz unterliegt, womit sich eine Verbesserung erklären lässt. Warum die Verbesserung jedoch erst nach 1998 stattfindet ist unklar. Möglicherweise wurden erst nach 1998 vermehrt forstliche Eingriffe und freiwilligen Einsätze getätigt oder die vorhergehenden Eingriffe wurden erst nach einer gewissen Zeit ersichtlich.

5.1.2 Husegg-Gross Gfäl

Die Grösse der Wald- und offenen Flächen im Balmoos ist über die Jahre 1946 bis 2012 konstant geblieben. Innerhalb der einzelnen Flächen gab es Veränderungen, die darauf hinweisen, dass vor allem die primären Hochmoorflächen des Husegg-Gross Gfäls über die Jahre eine leichte Verbesserung des Zustandes aufweisen, was auch mit der Zunahme des Totholzes im Jahr 2012 übereinstimmt. Aus den Luftbildern lässt sich daher schliessen, dass der Zustand des Gross Gfäl inkl. Husegg über die Jahre 1946 bis 2012 konstant geblieben bis besser geworden ist.

Auch diese eher positive Entwicklung ist verwunderlich im schweizweiten Kontext. Im 19. und 20. Jahrhundert wurden viele Moore abgetorft, trockengelegt oder durch Nährstoffeintrag zerstört (Graf et al., 2007). Gerade bei den höher gelegenen Hochmooren, wozu das Husegg-Gross Gfäl zu zählen ist, stellt die Wirkungskontrolle Moorschutz zwischen den Erhebungen einen Trend zu trockeneren Verhältnissen hin fest (Graf et al., 2007).

Dieser positive Trend im Gross Gfäl lässt sich einerseits dadurch erklären, dass es, wie bereits im Unterabschnitt 4.2 beschrieben, nie intensiv genutzt wurde und in den 90er Jahren sogar einige Eingriffe zur Aufwertung vorgenommen wurden.

5.2 Abschätzen des Potentials von historischen Luftbildern

Die historischen Luftbilder, vor allem die aus den Jahren 1946 und 1980, liegen in geringer Qualität vor, sodass die Luftbildinterpretation sehr anfällig für verschiedenste Fehler ist (Prost, 2014). Beispielsweise können gewisse Objekte gesehen werden, obwohl sie nicht da sind, während andere vollkommen übersehen werden.

Auch wenn richtigerweise Objekte gesehen werden, können sie falsch identifiziert werden. Bei der historischen Luftbildanalyse liegen hier viel mögliche Fehlerquellen, da es teilweise nur schon schwierig ist zu entscheiden, ob es sich um Sträucher oder Bäume, einen kleinen Strauch oder einen Hochmoorbult oder um eine natürliche Entwässerungsrille oder einen künstlich angelegten Graben handelt. Der Schattenwurf vereinfacht die Identifikation teils, da er Informationen über die Dreidimensionalität gibt. Gleichzeitig überdeckt er jedoch andere Strukturen, die so nicht identifiziert werden können und verfälscht Umrisse, wie die Abgrenzung des Waldrandes.

Selbst wenn Objekte gesehen und richtig identifiziert werden, kann die Interpretation falsch sein (Prost, 2014). Bei der durchgeführten Luftbildanalyse - bzw. interpretation ist auch da die Fehlerquelle hoch. Zum Beispiel wurde eine Abnahme der Waldflächen als positiv gewertet, da davon ausgegangen wurde, dass dies mit einer Zunahme der Feuchtigkeit einhergeht. Jedoch kann dies unter anderem auch aufgrund von erhöhtem Schädlingsdruck, forstlichen Eingriffen oder Sturmschäden der Fall sein.

Luftbilder selbst sind objektive Aufnahmen der Landschaft, die Analyse der Luftbilder ist jedoch stark subjektiv. Gewisse Formen und Strukturen sind nicht eindeutig und die interpretierende Person sieht, was sie bereits kennt oder erwartet (Prost, 2014). Wurde beispielsweise bei der Analyse eines Luftbildbildes ein Baum oder eine Baumgruppe an einer Stelle markiert, so wurde beim darauffolgenden Luftbild darauf geschlossen, dass das Objekt an selber Stelle ein Baum bzw. eine Baumgruppe ist, obwohl dies nicht immer klar erkennbar war. Auch die Annahme über den Zustand der Moore beeinflusst die Luftbilanalyse. Gewisse Objekte wurden gesehen oder übersehen, so wie es in die bereits bestehende Vorstellung des Zustandes passt.

Was weiter zu beachten ist: Luftbilder sind Momentaufnahmen. Es lässt sich jeweils nur eine Aussage über den Zustand der Moore zum Zeitpunkt der Aufnahme treffen. Ob die Wiesen bereits gemäht sind oder zu einem späteren Zeitpunkt gemäht werden, verändert das Gesamtbild. Auch das Wetter während und vor der Aufnahme beeinflusst das Bild der Landschaft. Eine regnerische oder extrem trockene Periode verändert die Landschaft kurzfristig und lässt falsche Schlüsse über die Vernässung des Hochmoors ziehen. Auch die Jahreszeit, zu welcher das Luftbild aufgenommen wurde, spielt eine grosse Rolle. Beispielsweise können Laubbäume, welche Ende Herbst ihre Blätter verlieren, ohne Laub leicht übersehen werden. Ausserdem ist nicht bekannt, was in der Zeit zwischen den Luftbildern war und folglich kann dies auch nicht in die Luftbildanalyse miteinbezogen werden.

Die verwendeten Luftbilder der Jahre 1946 und 1980 standen ausschliesslich schwarz-weiss zur Verfügung, daher wurden die Bilder der Jahre 1998 und 2012 auch in schwarz-weiss analysiert. Dies schränkt die Analyse der Luftbilder jedoch ein, da aus Farbfotos 10-20% mehr Informationen gelesen werden können. Vor allem für ungeübte BetrachterInnen ist die Interpretation von Farbfotos einiges einfacher (Prost, 2014). Für die Luftbildanalyse von Hochmooren eignen sich Infrarotbilder besonders gut, da sie genauere Informationen über die Vegetation liefern, wie beispielsweise ob die Vegetation gesund oder gestresst ist und Aussagen über die Biomasse, Pflanzengrösse, Bodendeckung oder Vernässung des Bodens machen können (Prost, 2014).

5.3 Diskussion der Methode

Historische Luftbilder in Einheitsflächen zu kartieren ist keine neue Idee, sondern wird von Ingenieurbüros bereits seit längerem angewandt (Wortmann, 1997). Die gewählte Methode zeigt auf, welche Flächen sich wie entwickelt haben, was auf die zeitliche Entwicklung der Hochmoore schliessen lässt. Jedoch ist fraglich, ob dies für meine Arbeit die richtige Methode war. Durch die geringe Qualität der frühen Luftbilder konnten die Einheitsflächen nur sehr grob differenziert werden, was oberflächliche Resultate zur Folge hat. Kleinflächige Eingriffe wie beispielsweise Torfstichgruben im Balmoos, die laut Dussex und Held (1990) 1946 noch vorhanden sein sollten und die beschriebenen Entwässerungsgräben im Gross Gfäl, wurden bei der Luftbildanalyse nicht gefunden.

Mit den historischen Luftbildern lässt sich der frühere Zustand der Moore nur erahnen, dafür ist die verwendete Methode ziemlich aufwendig. Ausserdem sind die im Kapitel *Abschätzen des Potentials von historischen Luftbildern* beschriebenen Probleme alle in der Analyse aufgetreten, weshalb die Resultate hinterfragt werden müssen.

Wie bereits erwähnt, könnte die Verwendung von Farb- oder Infrarotbildern diese Fehlerquellen verkleinern. Daher wäre es empfehlenswert, für die quantitative Auswertung Farb- oder Infrarotbilder zu verwenden. Die historischen schwarz-weiss Bilder können als Orientierung und für rein qualitative Auswertungen dienen. Mit den Bildern

könnte vermehrt gespielt werden, indem Kontraste, Belichtung und weiteres verändert und somit eventuell neue Sichtweisen eröffnet werden.

Bei der Auswertung könnte zwischen primären, sekundären Hochmoorflächen und dem Hochmoorumfeld unterschieden werden, um aussagekräftigere Resultate zu erhalten. Zudem könnte ein System sinnvoll sein, bei welchem die verschiedene Veränderungen unterschiedlich stark gewichtet werden. Beispielsweise sind Bult-Schlenken Komplexe sehr typisch für Hochmoore (Grüning et al., 1986). Verschwindet diese Struktur nun aus dem Hochmoor, könnte dies stärker negativ bewertet werden, als wenn eine Fläche von einer fechten Wiese zu einer trockeneren Wiese/Weide übergeht. Ausserdem müsste eine Möglichkeit gefunden werden, Beobachtungen, welche sich nicht in Einheitsflächen ausdrücken lassen, in die Analyse einfließen zu lassen. Mit der angewandten Methode werden beispielsweise zunehmendes liegendes Totholz oder stärkere Vernässung der bereits vernässten Flächen nicht erfasst.

6 Schlussfolgerung

Anhand der Luftbilder scheinen sich die zwei betrachteten Hochmoore nicht stark verändert zu haben. Die historische Analyse ergab beim Balmoos ein etwas genaueres Bild mit Eingriffen, die in den Luftbildern nicht zu sehen sind, beim Husegg-Gross Gfäl scheint in den letzten 70 Jahren abgesehen von zusätzlicher Infrastruktur nicht viel passiert zu sein. Die Hoffnung, dass aus Luftbildern zusätzliche Informationen über den historischen Zustand gewonnen werden können hat sich nicht bestätigt. Dies liegt grösstenteils an der Qualität der Luftbildern. Da es jedoch schwierig ist, historische Luftaufnahmen in besserer Qualität zu finden, ist es fraglich, ob diese für Zustandsanalysen von Hochmooren verwendet werden können. Mit den neueren Luftbildern aus den 90er Jahren liesse sich eine aussagekräftigere Analyse in einer jedoch viel kürzeren Zeitspanne durchführen.

Literaturverzeichnis

- Arbeitsgruppe Landschaftswandel (1991). *Landschaftswandel im Entlebuch: der Wald als Lebensgrundlage*. [s.n.].
- Aregger, J. (1950). Florenelemente und Pflanzenverbreitung im Entlebuch und in den angrenzenden Gebieten von Obwalden. *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern*.
- Aregger, J. (1952). *Naturschutz im Entlebuch*. Blätter für Heimatkunde aus dem Entlebuch.
- Aregger, J. (1961). *Beitrag zur Geschichte des Alpwesens im Entlebuch*. Blätter für Heimatkunde aus dem Entlebuch, 34.
- BAFU (1991). *Bundesinventar der Hoch- und Übergangsmoore von nationaler Bedeutung (Hochmoorinventar). Stand 2017*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- BAFU (2015). Biotopinventare und Moorlandschaften im Portrait. Eine Übersicht anlässlich der Revision 2014/15, Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Bucher, S. (1976). La population de la vallée d'Entlebuch au XVIIIe siècle. *Annales de Démographie Historique*, 1976(1):458–461.
- Bühler, J. (1938). *Veränderungen in Landschaft, Wirtschaft und Siedlung des Entlebuch*. Dissertation, Universität Zürich, Philosophische Fakultät II, Zürich.
- BUWAL (2002). *Moore und Moorschutz in der Schweiz*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- Dussex, N. und Held, T. (1990). *Atmosphärischer Nährstoffeintrag in vorapline Hochmoore*. Lizentiatsarbeit, Syst.-Geobot. Institut, Universität Bern.
- Fischer, J. und Looser, E. (1987). *Moore in der Gemeinde Flühli (Kt. Luzern)*. [s.n.], Bern.
- Früh, J. J. und Schröter, C. (1904). *Die Moore der Schweiz mit Berücksichtigung der gesamten Moorfrage*, Band Lfg. 3 in *Beiträge zur Geologie der Schweiz. Geotechnische Serie*. Francke, Bern.
- Gemeinderat Hasle (LU) (1946). Kaufbrief. unveröffentlicht.
- Gobat, J. (1984). *Ecologie des contacts entre tourbières acides et marais alcalins dans le Haut-Jura suisse*. Dissertation, Universität Neuchâtel, Neuchâtel.
- Graf, U., Kuchler, M., Ecker, K., Feldmeyer-Christie, E., Könitzer, C., Känzig, U., Grosvernier, P., Berchten, F., Lugon, A., David, R., und Marti, F. (2007). *Zustand und Entwicklung der Moore in der Schweiz : Ergebnisse der Erfolgskontrolle Moorschutz. Stand: Juni 2007*, Band 30/07 in *Umwelt-Zustand Lebensräume*. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.
- Grüning, A., Vetterli, L., und Wildi, O. (1984). Inventar der Hoch- und Übergangsmoore der Schweiz. Unveröffentlicht.

- Grüning, A., Vetterli, L., und Wildi, O. (1986). *Die Hoch- und Übergangsmoore der Schweiz - eine Inventarauswertung*, Band 281. Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf.
- Hahn, P. (2011). *Zeitspuren im Entlebuch: Waldentwicklung und Landschaftswandel im 20. Jahrhundert*. Haupt, Bern.
- Hammer, T., Leng, M., und Raemy, D. (2011). *Moorlandschaften erhalten durch Gestalten : Nutzen und Schützen naturnaher Kulturlandschaften am Beispiel der UNESCO Biosphäre Entlebuch (UBE)*, Band 11 in *Allgemeine Ökologie zur Diskussion gestellt*. Interfakultäre Koordinationsstelle für Allgemeine Ökologie, Bern.
- Humbel, A. (2013). Veränderung der Nutzungsintensität der Moorlandschaft im Raum Sörenberg von 1800 bis heute. Masterarbeit, ETH Zürich, Departement der Umwelt-systemwissenschaften, Zürich.
- Knaus, F. (2009). Beurteilung der Hochmoore Beurteilung der Hochmoore in der UNESCO Biosphäre Entlebuch. Interner Bericht, UNESCO Biosphäre Entlebuch.
- Küchler, M., Küchler, H., Bergamini, A., Bedolla, A., Ecker, K., Feldmeyer-Christe, E., Graf, U., und Holderegger, R. (2018). *Moore der Schweiz: Zustand, Entwicklung, Regeneration*. Zürich, Bristol-Stiftung; Bern, Haupt., 1. Auflage.
- Küttel, M. (1994). *Handbuch Moorschutz in der Schweiz, Band 1*, Kapitel 3.2.1 Die Moore als Datenquellen für die Umweltgeschichte. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- Lüdi, W. (1973). *Moore der Schweiz : Gutachten von W. Lüdi aus den Jahren 1943-1951*. Schweizerischer Bund für Naturschutz, Basel.
- Marti, K. (1992). *Handbuch Moorschutz in der Schweiz, Band 1.*, Kapitel 2.1.1 Zu den Begriffen "Hochmoor", "Flachmoor" und "Moorlandschaft". Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- Prost, G. L. (2014). *Remote sensing for geoscientists : image analysis and integration*. CRC Press, Boca Raton, 3rd ed.. Auflage.
- Scherrer Ingenieurbüro (2015). Vegetationsentwicklung Goldenes Tor, Kloten ZH. Technischer Kurzbericht, Amt für Landschaft und Natur, Fachstelle Naturschutz Zürich, Nesslerau.
- Schneebeli, M. (1983). Kurzgutachten zur Drainierung der Parzelle 30.540 westlich Balmoos. unveröffentlicht.
- Strüby, A. (1905). *Die Alpwirtschaft im Kanton Luzern*, Band Lfg. 15. Schweizerische Alpstatistik, Solothurn.
- swisstopo (2018). Die Bildsammlung des Bundesamtes für Landestopografie swisstopo - Kennwerte und Merkmale. Datenblatt, Bundesamt für Landestopografie, Wabern.
- swisstopo (2010). SWISSIMAGE - Das digitale Farbornthophotomosaik der Schweiz. Produktinformation, Bundesamt für Landestopografie, Wabern.
- Wortmann, M. (1997). Luftbildanwendung im Moorschutz. *Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft*, 88:55–65.

Anhang

HM -Nr.	HM-Name	Fläche [ha]	Höhe [m.ü.M.]	Besonderes
257	Zwischen Glaubenberg und Rossalb	14.52	1520	liegt teilweise in der UBE, Aufwertung geplant.
259	Gürmschwald	9.03	1460	Zustand uneinheitlich (Vetterli).
294	Ober Lauenberg	15.5	1500	-
295	Riedboden	2.16	1530	wurde aufgewertet, liegt teilweise in der UBE.
296	Balmoos	12.44	970	deutliche Zeichen des Torfstichs (Vetterli), Strasse durch Moor, 1964 vom SBN gekauft.
297	Rosswängenwald	2.05	1400	-
298	Unter Wasserfallen	12.28	1565	Laut Vetterli eher desola- ter Zustand.
299	Zwischen Schwand und Guermeschbach	0.73	1350	Laut Vetterli Grenzfall zur Aufnahme ins HM- Inventar, wurde aufgewer- tet, heute in besserem Zu- stand.
301	Hagleren	65.86	1745	Rel. guter Zusand, Talkes- sel jedoch von vielen Drai- nagegräben (aus 2. WK durchzogen.
312	Stächelegg/Ghack	33.74	1300	Teile wurden vom SBN ge- kauft.
313	Salwidili	5.15	1330	Telefonie- und Gasleitung quer durchs Gebiet.
314	Zopf/Salwiden	19.34	1360	-
315	Laubersmadghack	71.21	1345	Teilweise heute noch sehr gut erhalten, gehört z.T. Pro Natura, wurde aufge- wertet.
316	Türnliwald	55.32	1460	Teils heute noch sehr gut erhalten, wurde aufgewer- tet.
317	Gross Gfäl	27.29	1470	In Konflikt mit Leitun- gen, Skipiste und Stras- sen, wurde aufgewertet (schönes Beispiel).
318	Husegg-Hurnischwand	18.81	1395	In Konflikt mit Skipiste.
319	Husegg-Ochsenweid	34.65	1385	In Konflikt mit Skipiste, wurde aufgewertet.

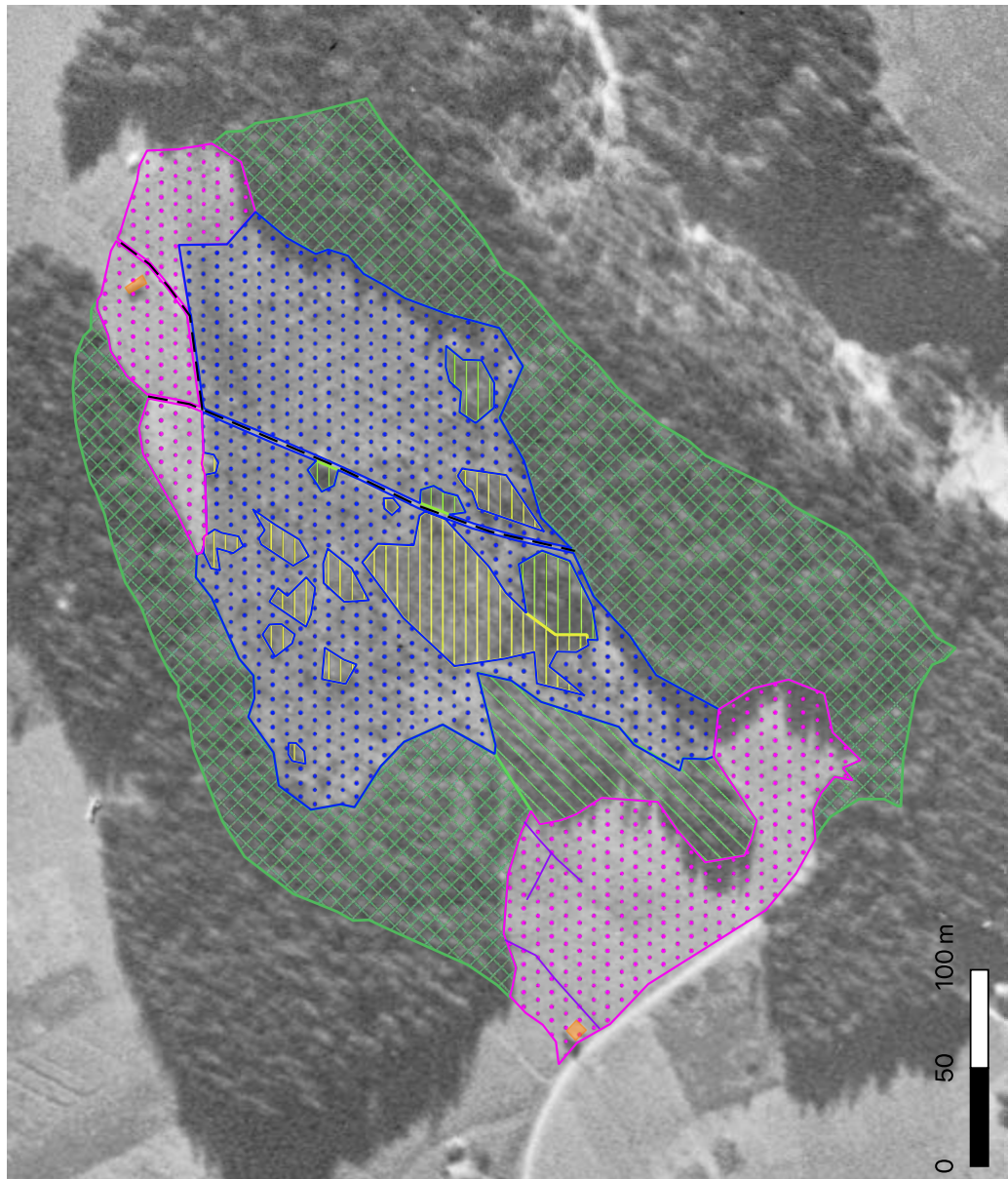
HM -Nr.	HM-Name	Fläche [ha]	Höhe [m.ü.M.]	Besonderes
320	Rossweid	6.89	1440	Wird von Skilift zerschnitten.
322	Mittelschwarzenegg	3.62	1485	-
362	Zopf	5.37	1340	-
400	Juchmoos	7.8	1040	Wurde früher (?) stark drainiert.
401	Müllerenmösli	15.38	1035	Wurde aufgewertet.
402	Stächtenmösli	5.11	1030	1980: offene Torfstichgruben, Grenzfall zur Aufnahme ins HM-Inventar, teilweise aufgewertet.
403	Zwischen Guggenen und Unter Änggenlauenen	7.1	1440	Heute noch gut erhalten.
404	Rüchiwlad	5.19	1640	heute noch gut erhalten.
405	Zwischen Fürsteinwald und Blattli	3.4	1435	-
407	Fuchserenmoos/ Geugelhusenmoos	23.57	1095	Muss sehr grosse Torfmächtigkeit gehabt haben. Wurde bereits vor und bis nach dem 2. WK genutzt.
408	Mettlimoos	26.40	1020	1894 bereits abgetorft, 1944 vollständig zerstört, abgesehen des nördlichen Teils, welcher auch heute am besten erhalten ist, wurde aufgewertet.
409	Östlich Brandchnubel	2.78	1225	Strasse entlang Moor, wurde aufgewertet.
410	Tällenmoos	13.97	840	Teilobjekte unterschiedlich erhalten, teils abgetorft.
411	Wagliseichnubel	26.45	1385	Schiessplatz und Strasse durch Moor, wurde aufgewertet.
432	Zwischen Wagliseichnubel und Ghack	3.26	1415	-
435	Fuchseren	12.4	1090	-
443	Vorderes Steinetti	2.67	1380	alte Drainagegräben erhalten, Strasse stört Moor.
448	Husegg	1.62	1460	-

HM -Nr.	HM-Name	Fläche [ha]	Höhe [m.ü.M.]	Besonderes
449	Bärsel	0.68	1395	-
450	Südlich Ober Saffertberg	0.35	1330	-
451	Wagliseiboden	2.05	1280	Torfstich im 2. WK, wurde aufgewertet.
452	Cheiserschwand	0.56	1300	-
453	Zwischen Schlund und Änzihütten	0.85	1385	-
457	Rischli	0.59	1205	Gasleitung und Drainage, Skiflift, wurde aufgewertet.
471	Äbnistetten	1.98	1215	-
473	Guntlishütten	11.01	1320	Teilweise aufgewertet.
938	Südlich Grön	1.9	1500	1980: beeinträchtigt, 2009: leicht gestört.
939	Tällenmoos im Hilferental	2.51	1255	-

Tabelle 2: Moore in der UBE

Luftbildauswertung Balmoos, Hasle LU

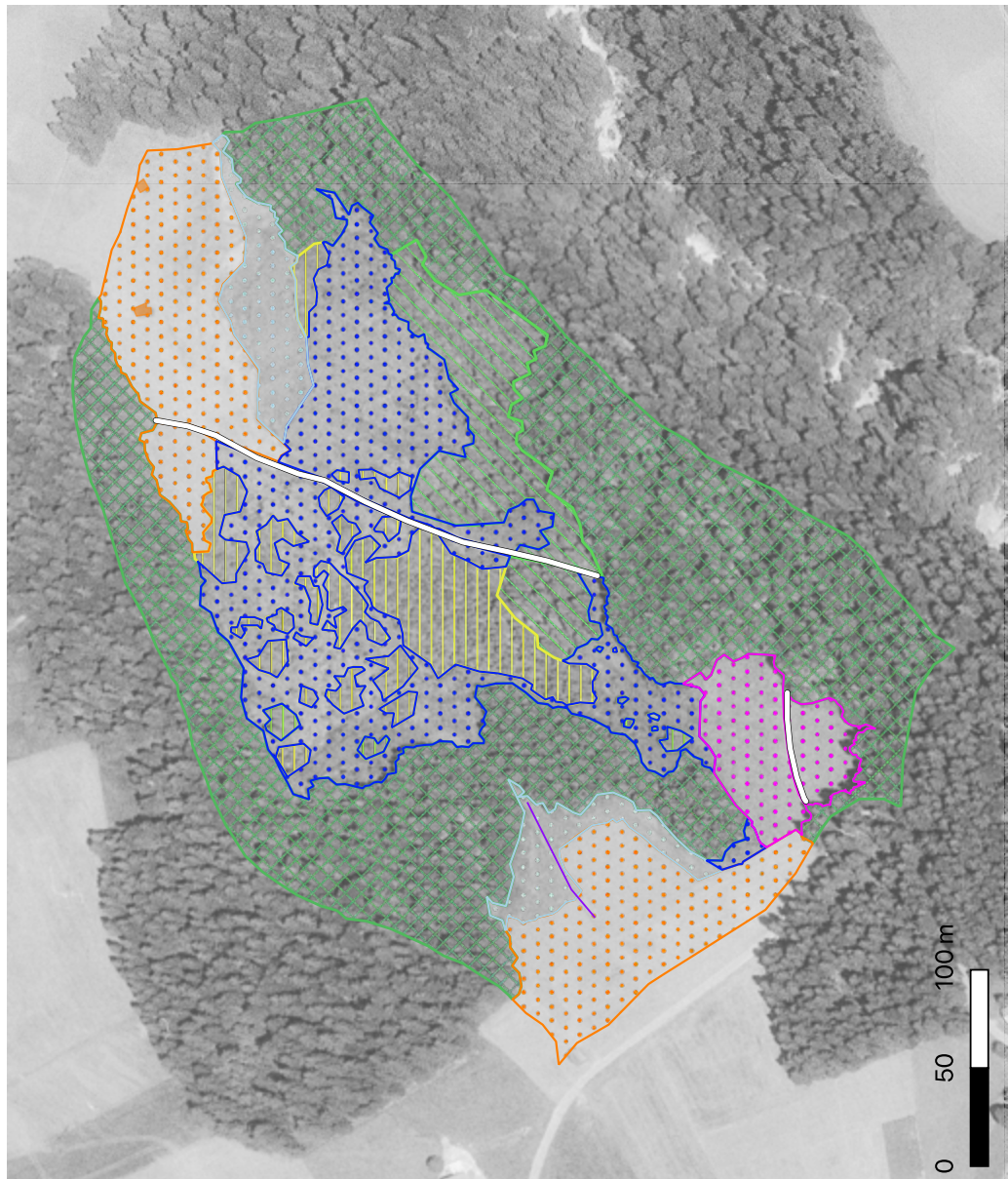
Zustand 1946



Rea Felber, April 2019

Luftbildauswertung Balmoos, Hasle LU

Zustand 1980



Einheitsflächen

Wald

- Geschlossener Bestand
- Lockerer Bestand
- Baumgruppe/Einzelbäume
- Gebüsch

Offene Flächen

- Offene Moorvegetation
- Feuchte Wiese
- Wiese/Weide
- Gemähte Fläche

Eingriffe

- Graben

Verkehrsflächen

- befestigt
- unbefestigt

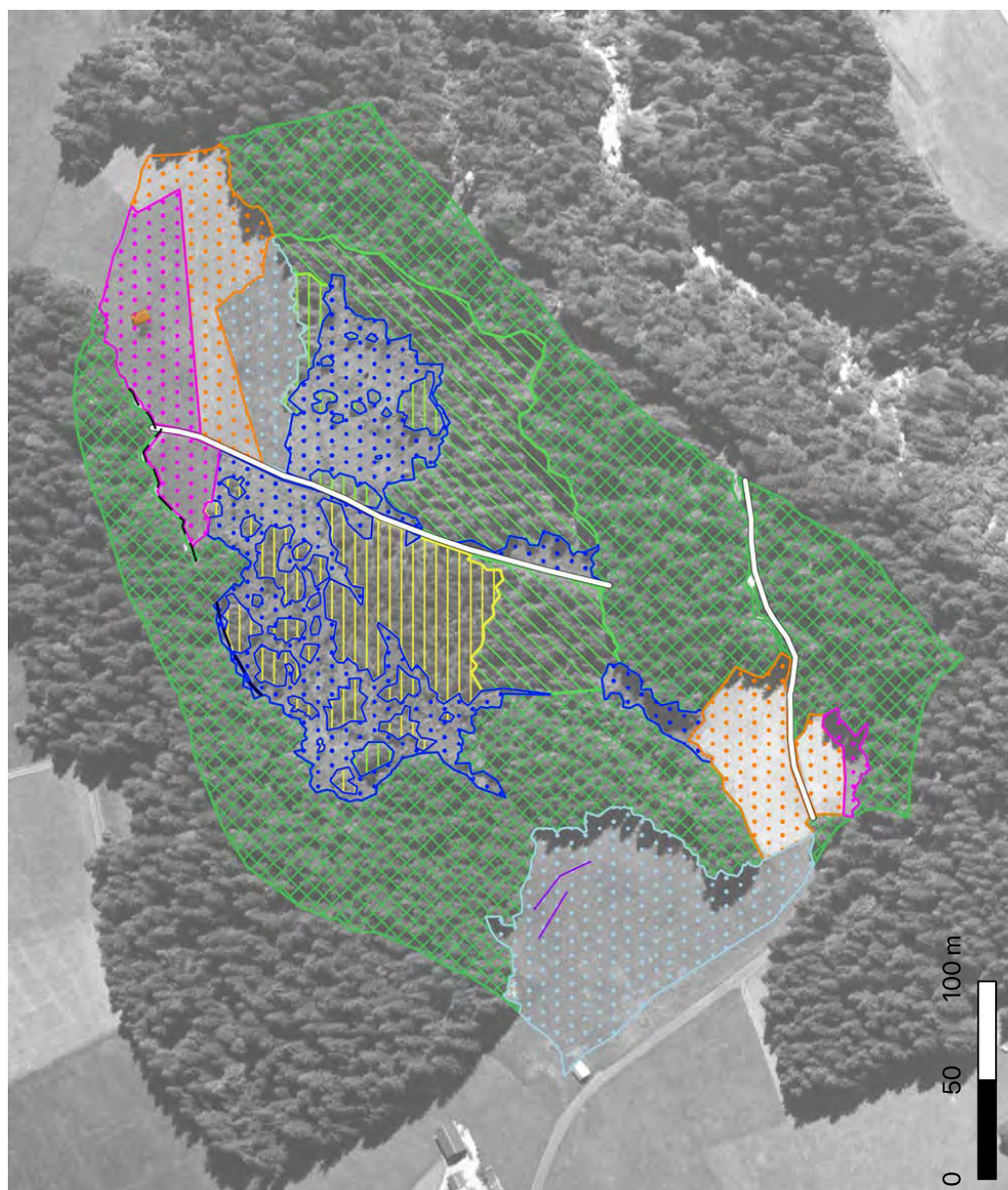
Bauten/Anlagen

- Gebäude

Rea Felber, April 2019

Luftbildauswertung Balmoos, Hasle LU

Zustand 1998



Einheitsflächen

Wald

-  Geschlossener Bestand
-  Lockerer Bestand
-  Baumgruppe/Einzelbäume
-  Gebüsch

Offene Flächen

-  Offene Moorvegetation
-  Feuchte Wiese
-  Wiese/Weide
-  Gemähte Fläche

Eingriffe

-  Graben

Verkehrsflächen

-  befestigt
-  unbefestigt

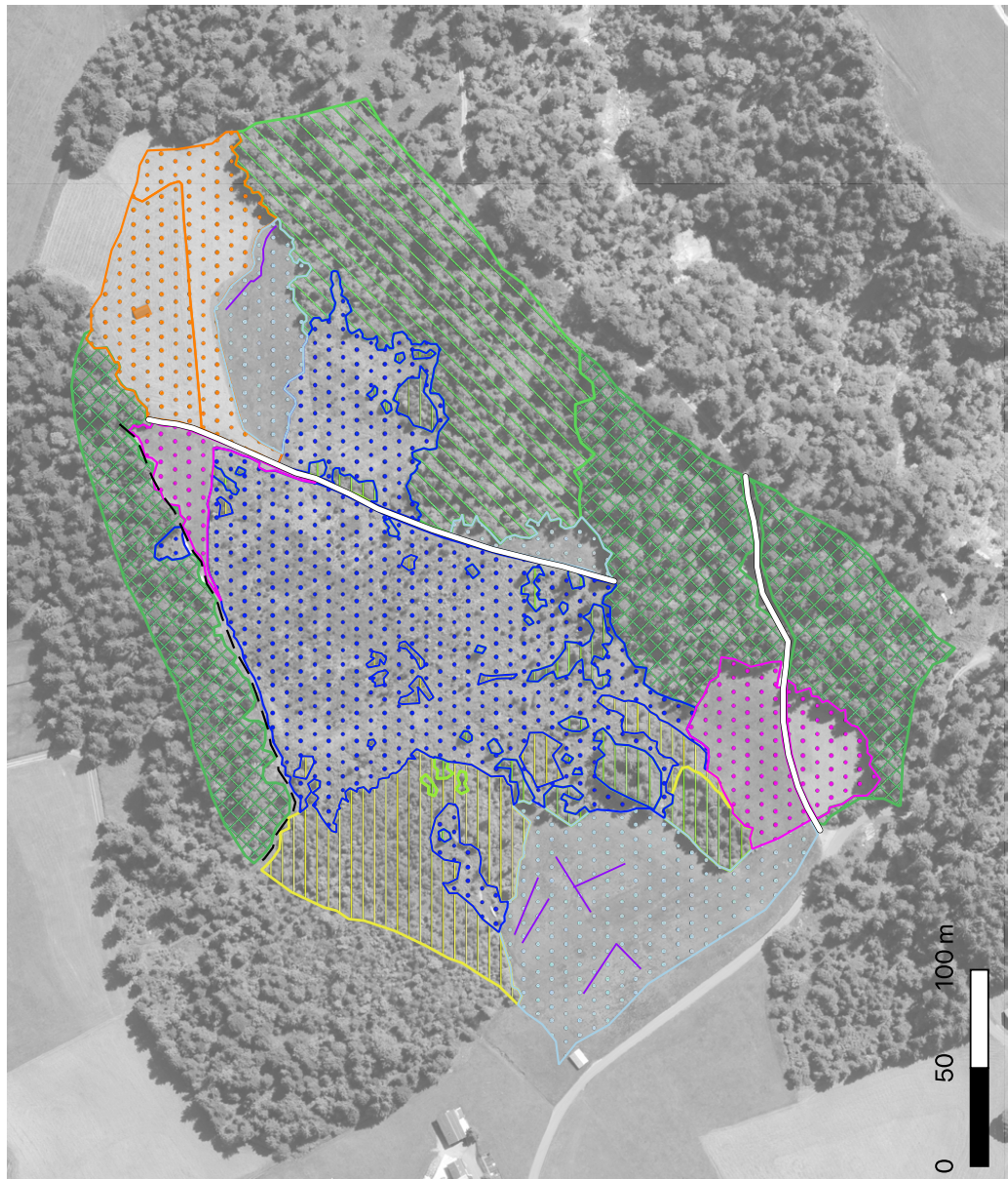
Bauten/Anlagen

-  Gebäude

Rea Felber, April 2019

Luftbildauswertung Balmoos, Hasle LU

Zustand 2012



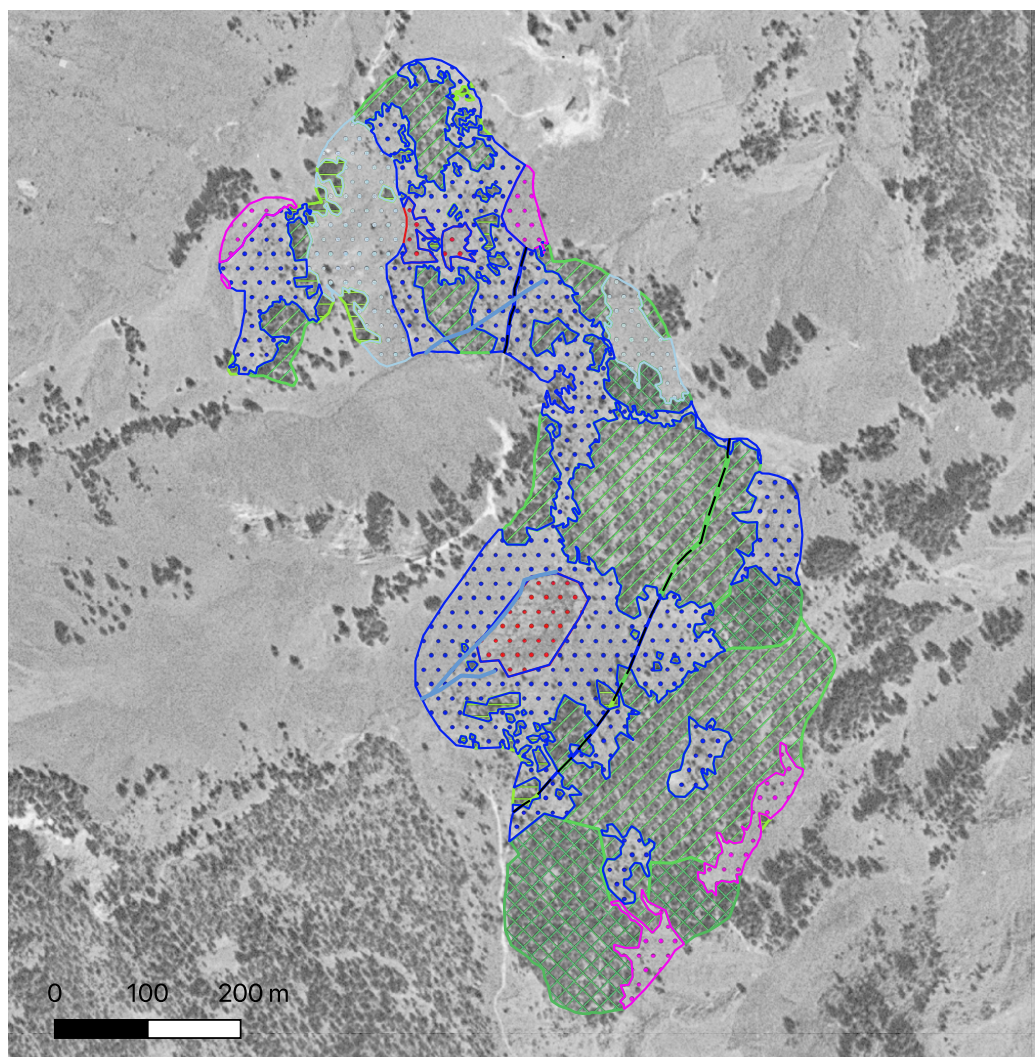
Einheitsflächen

- Wald
- Geschlossener Bestand
 - Lockerer Bestand
 - Baumgruppe/Einzelbäume
 - Gebüsch
- Offene Flächen
- Offene Moorvegetation
 - Feuchte Wiese
 - Wiese/Weide
 - Gemähte Fläche
- Eingriffe
- Graben
- Verkehrsflächen
- befestigt
 - unbefestigt
- Bauten/Anlagen
- Gebäude

Rea Felber, April 2019

Luftbildauswertung Gross Gfäl, Flühli LU

Zustand 1946



Einheitsflächen

Wald

- Geschlossener Bestand
- Lockerer Bestand
- Baumgruppe/Einzelbäume

Offene Flächen

- Bult-Schlenken-Komplex
- Offene Moorvegetation
- Feuchte Wiese
- Wiese/Weide
- Gemähte Fläche

Offene Wasserflächen

- Kleiner Wasserlauf

Eingriffe

- Graben

Verkehrsflächen

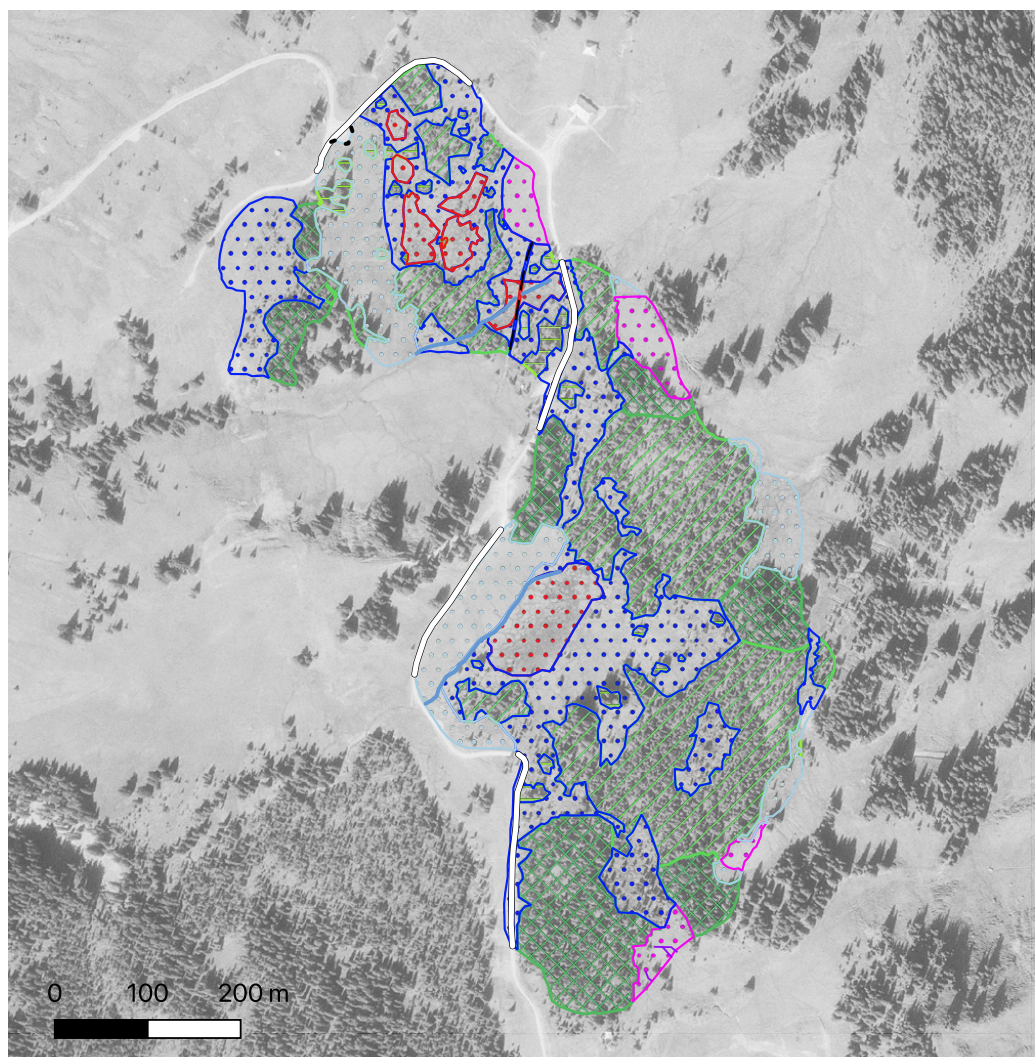
- befestigt
- unbefestigt
- Wendeplatz/Parkplatz

Bauten/Anlagen

- Gebäude
- Infrastruktur Skilift
- Stromleitung

Luftbildauswertung Gross Gfäl, Flühli LU

Zustand 1980



Einheitsflächen

Wald

- Geschlossener Bestand
- Lockerer Bestand
- Baumgruppe/Einzelbäume

Offene Flächen

- Bult-Schlenken-Komplex
- Offene Moorvegetation
- Feuchte Wiese
- Wiese/Weide
- Gemähte Fläche

Offene Wasserflächen

- Kleiner Wasserlauf

Eingriffe

- Graben

Verkehrsflächen

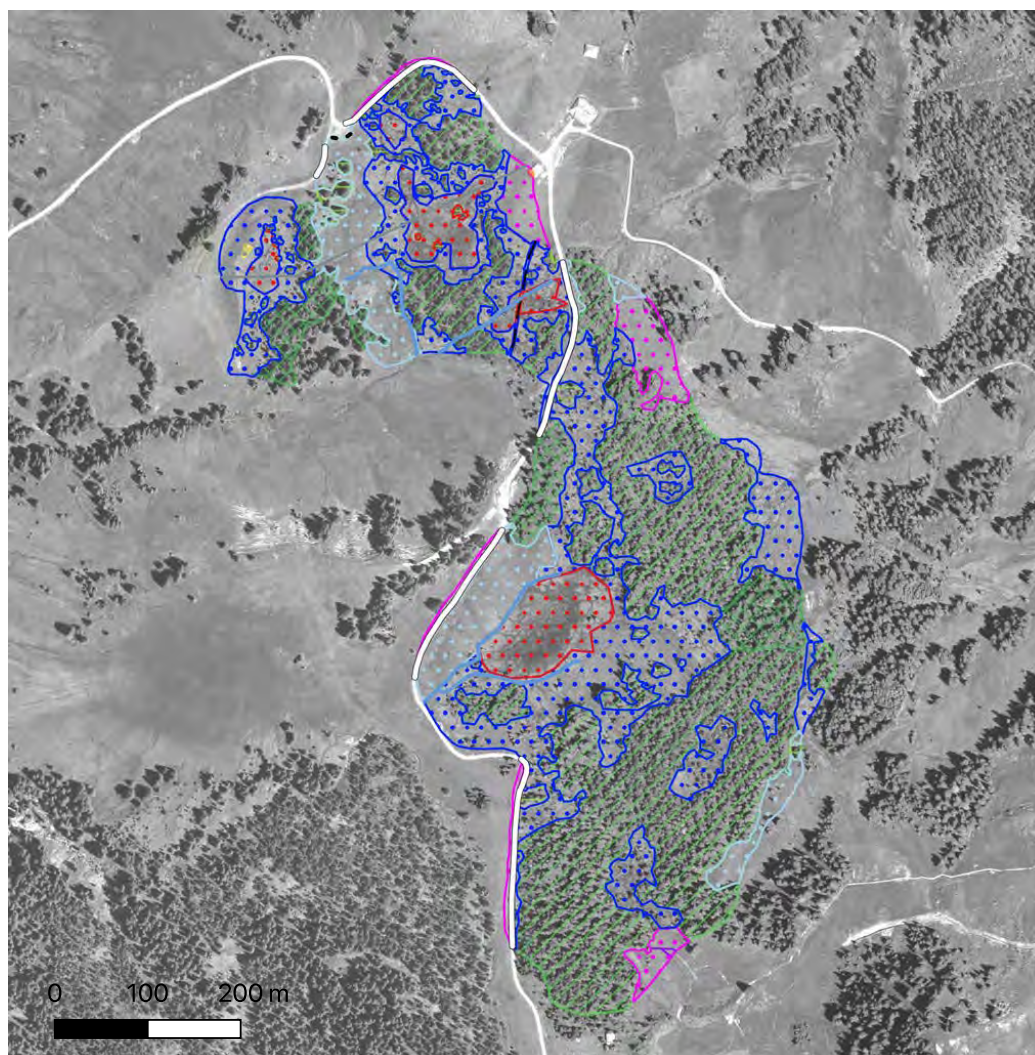
- befestigt
- unbefestigt
- Wendeplatz/Parkplatz

Bauten/Anlagen

- Gebäude
- Infrastruktur Skilift
- Stromleitung

Luftbildauswertung Gross Gfäl, Flühli LU

Zustand 1998



Einheitsflächen

Wald

- Geschlossener Bestand
- Lockerer Bestand
- Baumgruppe/Einzelbäume

Offene Flächen

- Bult-Schlenken-Komplex
- Offene Moorvegetation
- Feuchte Wiese
- Wiese/Weide
- Gemähte Fläche

Offene Wasserflächen

- Kleiner Wasserlauf

Eingriffe

- Graben

Verkehrsflächen

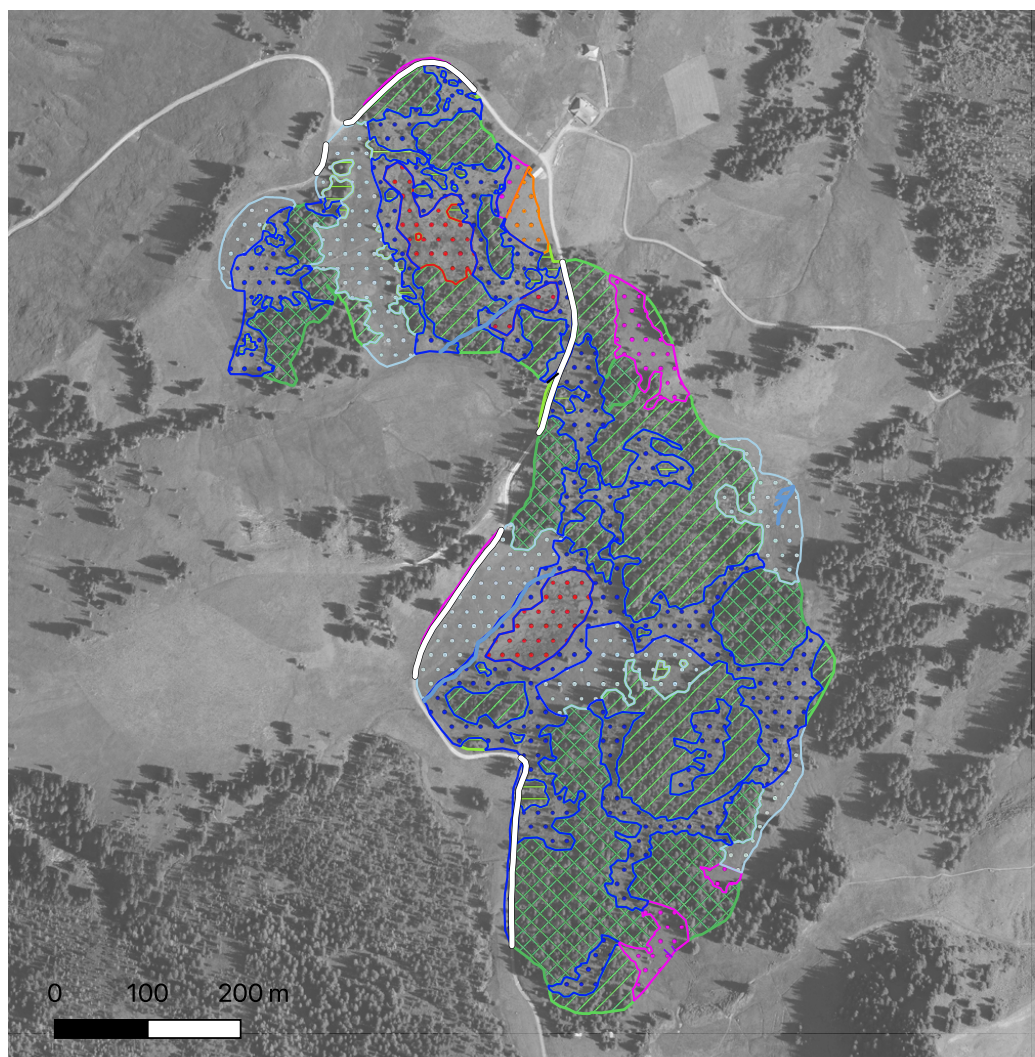
- befestigt
- unbefestigt
- Wendeplatz/Parkplatz

Bauten/Anlagen

- Gebäude
- Infrastruktur Skilift
- Stromleitung

Luftbildauswertung Gross Gfäl, Flühli LU

Zustand 2012



Einheitsflächen

Wald

- Geschlossener Bestand
- Lockerer Bestand
- Baumgruppe/Einzelbäume

Offene Flächen

- Bult-Schlenken-Komplex
- Offene Moorvegetation
- Feuchte Wiese
- Wiese/Weide
- Gemähte Fläche

Offene Wasserflächen

- Kleiner Wasserlauf

Eingriffe

- Graben

Verkehrsflächen

- befestigt
- unbefestigt
- Wendeplatz/Parkplatz

Bauten/Anlagen

- Gebäude
- Infrastruktur Skilift
- Stromleitung

Eidesstattliche Erklärung



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Eigenständigkeitserklärung

Die unterzeichnete Eigenständigkeitserklärung ist Bestandteil jeder während des Studiums verfassten Semester-, Bachelor- und Master-Arbeit oder anderen Abschlussarbeit (auch der jeweils elektronischen Version).

Die Dozentinnen und Dozenten können auch für andere bei ihnen verfasste schriftliche Arbeiten eine Eigenständigkeitserklärung verlangen.

Ich bestätige, die vorliegende Arbeit selbständig und in eigenen Worten verfasst zu haben. Davon ausgenommen sind sprachliche und inhaltliche Korrekturvorschläge durch die Betreuer und Betreuerinnen der Arbeit.

Titel der Arbeit (in Druckschrift):

Historische Luftbilder zur Analyse von Hochmooren - Studie anhand zweier Hochmoore in der UNESCO Biosphäre Entlebuch

Verfasst von (in Druckschrift):

Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich.

Name(n):

Felber

Vorname(n):

Rea Barbara

Ich bestätige mit meiner Unterschrift:

- Ich habe keine im Merkblatt „[Zitier-Knigge](#)“ beschriebene Form des Plagiats begangen.
- Ich habe alle Methoden, Daten und Arbeitsabläufe wahrheitsgetreu dokumentiert.
- Ich habe keine Daten manipuliert.
- Ich habe alle Personen erwähnt, welche die Arbeit wesentlich unterstützt haben.

Ich nehme zur Kenntnis, dass die Arbeit mit elektronischen Hilfsmitteln auf Plagiate überprüft werden kann.

Ort, Datum

Zürich, 11.08.2019

Unterschrift(en)

R. Felber

Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich. Durch die Unterschriften bürgen sie gemeinsam für den gesamten Inhalt dieser schriftlichen Arbeit.