

Master-Arbeit
Studiengang Umweltnaturwissenschaften



**Der Bewirtschaftungseinfluss auf die Moosdeckung von
extensiv und wenig intensiv genutzten Wiesen in der
UNESCO Biosphäre Entlebuch**

Verfasserin: Leila Scheiwiller
19-915-834

Referent: Florian Knaus
Institut für Terrestrische Ökosysteme,
ETH Zürich

Korreferentin: Judith Stalder
UNESCO Biosphäre Entlebuch

19. Januar 2026

Titelbild

Eigene Aufnahme vom 12. August 2025

UNESCO Biosphäre Entlebuch

Zusammenfassung

Extensiv und wenig intensiv genutzte Wiesen als Biodiversitätsförderflächen haben eine grosse Bedeutung für die Biodiversität im Schweizer Grünland, jedoch mehren sich Hinweise auf unerwünschte Veränderungen der Vegetationsstruktur einzelner Flächen. Bewirtschaftende berichten von einer Vermoosung und Abnahme der Blütenvielfalt, was sie als Verlust der Biodiversität wahrnehmen.

In einer vorgängigen Master-Arbeit in der UNESCO Biosphäre Entlebuch zeigte sich, dass gewisse Umweltvariablen einen Einfluss auf die Moosdeckung ausüben, während Bewirtschaftungsvariablen eine untergeordnete Rolle spielen. In welchem Ausmass detaillierter erfasste Bewirtschaftungsstrategien unter vergleichbaren Standortbedingungen die Moosdeckung beeinflussen, blieb offen.

Ziel der vorliegenden Master-Arbeit ist es daher, den Einfluss ausgewählter Bewirtschaftungsvariablen auf die Moosdeckung extensiv und wenig intensiv genutzter Wiesen zu untersuchen. Zusätzlich wird die subjektive Wahrnehmung der Bewirtschaftung erfasst, um zu bestimmen, ab welchem Schwellenwert der gemessenen Moosdeckung vermehrt von einer «Vermoosung» gesprochen wird und welche Ursachen vermutet werden.

Die Analyse basiert auf 51 extensiv und wenig intensiv genutzten Flächen in der UNESCO Biosphäre Entlebuch. Die Moosdeckung wurde mittels Punkt-Frequenz-Methode an vier zufällig gewählten Untersuchungspunkten pro Fläche erhoben und als prozentuale mittlere Moosdeckung berechnet.

Der Bewirtschaftungseinfluss auf die Moosdeckung wurde mithilfe linearer Modelle analysiert. Die Moosdeckung nahm mit zunehmender Dauer der aktuellen Bewirtschaftungsform sowohl auf extensiven Wiesen (EW) als auch auf wenig intensiv genutzten Wiesen (WiW) zu. Für den pflanzenverfügbaren Stickstoffeintrag durch die Düngung konnte kein direkter Einfluss auf die Moosdeckung nachgewiesen werden. Ein Effekt der Beweidung zeigte sich erst nach Berücksichtigung von Umweltvariablen, wobei eine längere Beweidungsdauer mit einer geringeren Moosdeckung einherging. Unterschiede zwischen beweidenden Tiergattungen (Rinder oder Schafe) waren nicht erkennbar. Deutlichere Effekte ergaben sich für das Schnittregime Flex und einen späteren Schnittzeitpunkt, welche beide mit erhöhten Moosdeckungen verbunden sind. Die Schnitthäufigkeit und Schnitthöhe zeigten keinen Einfluss.

Im Datensatz sind sieben ungedüngte WiW, welche im Modell eine signifikant tiefere Moosdeckung aufweisen als die 29 EW und die 15 gedüngten WiW. Aufgrund der Zusammensetzung des Datensatzes konnte der Einfluss der Düngung innerhalb der WiW nicht abschliessend beurteilt werden.

Bewirtschaftende sprechen ab einer mittleren Moosdeckung von 63 % mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % von einer Vermoosung. 25 Untersuchungsflächen wurden von ihren Bewirtschaftenden als «vermoost» eingestuft. Eine fehlende Düngung wurde am häufigsten (18 Nennungen) als Ursache angegeben, was durch die vorliegenden Ergebnisse nicht bestätigt werden konnte. Dies unterstreicht die Bedeutung des Austauschs zwischen empirischer Forschung und landwirtschaftlicher Praxis.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass Bewirtschaftungsstrategien unter vergleichbaren Standortbedingungen einen messbaren Einfluss auf die Moosdeckung haben. Die nachgewiesenen Effekte können den Bewirtschaftenden Anhaltspunkte für den Umgang mit erhöhten Moosdeckungen liefern. Die quantitative Erfassung der subjektiven Wahrnehmung der Vermoosung unterstützt zudem den Dialog zwischen landwirtschaftlicher Praxis und Beratung.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Hintergrund und Problemstellung	1
1.2	Forschungsfragen	5
1.3	Definition der Moosdeckung	6
2	Untersuchungsflächen und Einflussvariablen	8
2.1	Untersuchungsflächen	8
2.2	Einflussvariablen	10
3	Vorgehen	12
3.1	Feldmessung	12
3.2	Umfrage	14
3.3	Auswertung	14
4	Resultate	18
4.1	Datenübersicht	18
4.2	Bewirtschaftungseinfluss auf die Moosdeckung	28
4.3	Wahrnehmung der Vermoosung	31
5	Diskussion	32
5.1	Bewirtschaftungseinfluss auf die Moosdeckung	32
5.2	Wahrnehmung der Vermoosung	38
5.3	Methodenkritik	40
6	Schlussfolgerung	43
	Danksagung	45
	Literaturverzeichnis	46
	Anhang	51
	Anhang A Methoden	51
	Anhang A.1 Datenverarbeitung in ArcGIS Pro	51
	Anhang A.2 Fragebogen	54
	Anhang B Resultate	55
	Anhang B.1 Umweltvariablen	55
	Anhang B.2 Multikollinearität	57
	Anhang B.3 Residuenplots des linearen Modells	58
	Anhang B.4 Alternative lineare Modelle	60
	Anhang B.5 Lineares Modell inkl. Umweltvariablen	64
	Anhang C Deklaration	65
	Anhang C.1 Verwendung von KI	65

Abkürzungen

AIC	Akaike Informationskriterium
BFF	Biodiversitätsförderflächen
DZV	Direktzahlungsverordnung
EW	extensiv genutzte Wiesen
KI	künstliche Intelligenz
lawa	Landwirtschaft und Wald Luzern (kantonales Amt)
UBE	UNESCO Biosphäre Entlebuch
VIF	Varianzinflationsfaktor
WiW	wenig intensiv genutzte Wiesen
QII	Qualitätsstufe II

1 Einleitung

Extensiv und wenig intensiv genutzte Wiesen tragen als Biodiversitätsförderflächen (BFF) grosse Bedeutung für die Biodiversität im Schweizer Grünland, jedoch mehren sich Hinweise darauf, dass sich auf einzelnen Flächen die Vegetationsstruktur in eine unerwünschte Richtung entwickelt. In einer im Vorjahr durchgeführten Master-Arbeit in der UNESCO Biosphäre Entlebuch (UBE) wurde festgehalten, dass mehrere Landwirt:innen auf einzelnen BFF eine Vermoosung sowie einen Rückgang der Blütenvielfalt wahrnehmen, von den Bewirtschaftenden als Verlust der Biodiversität interpretiert wird (Reinert, 2024).

Um diese Wahrnehmungen einordnen zu können, ist es notwendig, die Entstehung und heutige Bedeutung der extensiv und wenig intensiv genutzten Flächen zu betrachten. Die Vegetationszusammensetzung heutiger Wiesen ist das Ergebnis langfristiger landwirtschaftlicher Entwicklungen, die auch Bewirtschaftungsformen geprägt haben. Ein historischer Blick ermöglicht es, die gegenwärtig von Bewirtschaftenden beobachtete Vermoosung im Kontext der landwirtschaftlichen Nutzung und Biodiversitätsförderung besser zu verstehen. Darauf aufbauend wird die Bedeutung der extensiv und wenig intensiv genutzten Wiesen als BFF und die Kritik an deren Auflagen dargelegt. Die Auswirkungen einer zunehmenden Moosdeckung sowie Einflussfaktoren werden diskutiert, um die bestehende Forschungslücke zu präzisieren. Nachfolgend werden die Forschungsfragen der vorliegenden Arbeit formuliert und der Begriff der Moosdeckung definiert.

1.1 Hintergrund und Problemstellung

Historischer Kontext

Das heutige Grünland (Wiesen und Weiden) der Schweiz ist das Ergebnis einer jahrhundertelangen landwirtschaftlichen Nutzungsgeschichte. Im Mittelalter bildete der Getreidebau die zentrale Ernährungsgrundlage. Das Land, das nicht für den Getreidebau taugte, wurde als Futterquelle für die Viehhaltung genutzt, welche wiederum Dünger für den Ackerbau lieferte. Dünger für die Flächen, welche das Viehfutter bereitstellten, blieb kaum übrig (Brockmann-Jerosch, 1936, zitiert nach Bosshard, 2019).

Eigentliche Mähwiesen haben sich im Spätmittelalter mit der Verfügbarkeit neuer Stahlqualitäten entwickelt. Ihre Bedeutung änderte sich im 19. Jahrhundert grundlegend, als die Knappheit an Winterfutter erstmals überwunden werden konnte (Bosshard, 2019). Zu diesem Zeitpunkt wurde auch die allgegenwärtige Frühlingsweide aufgegeben (Bosshard, 2019), deren Bedeutung für die Biodiversität im Grünland aktuell erforscht wird (Bühler & Birrer, 2024). Im 20. Jahrhundert wechselte der Nährstofffluss

massgebend: Landwirtschaftsbetriebe importierten vermehrt hohe Mengen an Kraftfutter aus Ackerfrüchten für die Steigerung der Milch- und Fleischproduktion. So entstand global gesehen ein übermässiger Nährstoffeintrag vom Ackerland auf das Grünland, welcher die treibende Kraft der Intensivierung der Grünlandnutzung Mitteleuropas darstellt (Bosshard, 2019).

Diese historischen Entwicklungen führten zu tiefgreifenden Veränderungen der Vegetationszusammensetzung. Beispielsweise stellten die Fromentalwiesen bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts als leicht gedüngte, blumenreiche Fettwiesen den häufigsten und produktivsten Wiesentyp auf guten Böden der tieferen Lagen Mitteleuropas dar. Heute sind sie auf einen Bruchteil ihrer ursprünglichen Verbreitung zurückgegangen oder botanisch stark verarmt. An ihre Stelle traten ertragreichere, jedoch artenarme Intensivwiesen (Bosshard, 2019). Vor dem Hintergrund dieser langfristigen Intensivierungsprozesse gewinnen Biodiversitätsförderflächen eine besondere Bedeutung für den Erhalt der Biodiversität, da sie ein zentrales Instrument zur Kompensation des historischen Verlustes artenreicher Grünlandtypen darstellen.

Biodiversitätsförderflächen

Biodiversitätsförderflächen umfassen unterschiedliche Typen von landwirtschaftlich genutzten Flächen, deren Hauptziel die Erhaltung und Förderung der Biodiversität ist. Seit 1991 bilden sie als Teil des ökologischen Leistungsnachweises das Hauptinstrument der Agrarpolitik zur Erreichung der Ziele im Bereich der Artenvielfalt (Riedel et al., 2019) und stellen damit eine agrarpolitische Antwort auf den historischen Verlust biodiversitätsreicher Grünlandtypen dar.

Für diese Flächen werden Bewirtschaftende durch Biodiversitätsbeiträge des Bundes unterstützt, wobei unter Qualitäts- und Vernetzungsbeiträgen unterschieden wird (Bundesamt für Landwirtschaft, 2025). Für Qualitätsbeiträge gibt es zwei Stufen: Qualitätsstufe I ergibt sich durch das Befolgen der Bewirtschaftungsvorgaben, während für Qualitätsstufe II (QII) bei Wiesen eine gewisse botanische Zusammensetzung anhand Indikatorarten nachgewiesen werden muss (Riedel et al., 2019).

Trotz der klaren Zielsetzung und der finanziellen Unterstützung der Bewirtschaftenden auf Basis der Direktzahlungsverordnung (DZV, SR 910.13, 2026), werden die Auflagen zu den Biodiversitätsförderflächen oftmals kritisiert. Gemäss Auffassung der Bewirtschaftenden werden die Ziele der Biodiversität durch die Extensivierung nicht erreicht. Die Vorgaben und die finanziellen Anreize sorgen in gewissen Fällen für eine nicht standortgerechte Bewirtschaftung, wodurch die Flächen zwar ausmagern, aber die gewünschte Qualität nicht erreichen können (Barth, 2021). Galler (2020) spricht sogar von einer Vermoosung durch die fehlende Düngung und «zu extensiver Bewirtschaftung». Eine vergleichbare Entwicklung belegen Bohner et al. (2006) in Österreich, indem sie eine wenig intensiv genutzte Wiese mit einer Fläche vergleichen, die seit sieben Jahren nicht mehr genutzt wird und davor extensiv bewirtschaftet wurde.

Die Vielfalt der Gefässpflanzen und des Blütenangebots reduzierte sich zugunsten rhizombildender, schnittempfindlicher und schattenverträglicher Pflanzenarten und die Moosdeckung nahm zu.

Auswirkungen von Moosen auf landwirtschaftliche Nutzflächen

Da Biodiversitätsförderflächen weiterhin landwirtschaftlich genutzt werden, beeinflusst die Entwicklung der Vegetation nicht nur die ökologische Qualität, sondern auch die Wirtschaftlichkeit der Flächen. Vor diesem Hintergrund werden hohe Moosdeckungen von Bewirtschaftenden häufig kritisch beurteilt, da von einer Verdrängung der Nutzpflanzen ausgegangen wird (Galler, 2020). Gornall et al. (2011) zeigten anhand eines Feldexperimentes, wie unterschiedliche Tiefen von Mooschichten das Wachstum von Gefässpflanzen beeinflussen. Auf der einen Seite profitierten Gefässpflanzen zwischen Mooschichten von einer verbesserten Wasserverfügbarkeit, da die strukturellen Eigenschaften von Moosen die Feuchtigkeit von Schneeschmelze oder Niederschlag länger zurückhalten können, wie auch von den isolierenden Eigenschaften der Moose bei tiefen Temperaturen. Auf der anderen Seite zeigten sich aber auch starke Nachteile. Das Vorhandensein einer Mooschicht wirkte sich negativ auf das Wachstum von Pflanzenteilen aus, die sich im organischen Bodenhorizont befinden. Selbst flache Mooschichten reduzierten die Biomasseproduktion der untersuchten Graminoiden (Fuchsschwanzgras und Hainsimse). Dicke Mooschichten zeigten im Feldexperiment sogar negative Auswirkungen auf die Entwicklung von Zwergsträuchern und Krautpflanzen.

Der Rückgang von Gefässpflanzen vermindert die landwirtschaftliche Produktivität, da diese auf Gefässpflanzen als Futter basiert und ein hoher Ertrag nur mit einem stabilen, ausgewogenen Pflanzenbestand möglich ist (Bosshard, 2019). Ab welchem Deckungsgrad von Moosen tatsächlich ein Problem für die Landwirtschaft besteht oder es als solches wahrgenommen wird, ist jedoch nicht klar definiert, weshalb der Begriff «Vermoosung» subjektiv verwendet wird. Diese fehlende Definition kann sowohl die fachliche Bewertung als auch den Dialog zwischen Bewirtschaftenden und naturschutzfachlichen Akteuren erschweren.

Die produktionsbezogenen Effekte von Moosen verdeutlichen, weshalb eine zunehmende Moosdeckungen von Bewirtschaftenden als problematisch wahrgenommen wird, auch wenn die Wirkung von Moosen sowohl positive als auch negative Effekte umfassen. Entsprechend hoch ist deshalb das Interesse, herauszufinden, welche Faktoren die Moosdeckungen beeinflussen.

Einflussfaktoren auf die Moosdeckungen

Hanson et al. (1998) beschreiben die Verunkrautung und Vermoosung von extensiven Bergweiden im Südschwarzwald als Prozesse, die vordergründig aufgrund der natürlichen Gegebenheiten entstehen und durch die Bewirtschaftung verstärkt werden.

Die primäre Bedeutung der Umweltfaktoren wurde auch in der UBE aufgezeigt. Um verschiedene Einflussfaktoren auf die Moosausbreitung in der UBE zu prüfen, wurde im vergangenen Jahr eine Master-Arbeit (Reinert, 2024) erstellt. Reinert analysierte die Korrelation von Umwelt- und Bewirtschaftungsvariablen von Untersuchungsflächen mit der jeweiligen Moosdeckung. In ihrer Arbeit konnte eine starke Bedeutung der Umweltvariablen (Exposition, Geländemorphologie - Mulde, Vegetationshöhe) nachgewiesen werden, wobei die Bewirtschaftungsvariablen zweitrangig erschienen.

Untersuchungsfokus

Während Umweltfaktoren somit als wesentliche Treiber der Moosdeckung identifiziert wurden, bleibt offen, in welchem Ausmass Bewirtschaftungsstrategien unter vergleichbaren Standortbedingungen zur Entwicklung hoher Moosdeckungen beitragen. Vor diesem Hintergrund zielt die vorliegende Arbeit darauf ab, den Einfluss definierter Bewirtschaftungsstrategien auf die Moosdeckung unter möglichst vergleichbaren Standortbedingungen zu untersuchen, indem die Variabilität der Umweltvariablen eingeschränkt wird.

Die UNESCO Biosphäre Entlebuch bietet besonders geeignete Voraussetzungen für die Untersuchung. Als Biosphärenreservat verfolgt sie das Ziel, den Schutz der Biodiversität mit einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Nutzung zu verbinden. Die Region ist geprägt durch suboptimale standörtliche Bedingungen für die Landwirtschaft sowie durch einen hohen Anteil gesetzlich geschützter oder nur eingeschränkt nutzbarer Flächen, was anfänglich zu Nutzungskonflikten führte. Im Zuge der Anerkennung als UNESCO-Biosphärenreservat wurde dieser Konflikt zunehmend als Chance verstanden, Biodiversitätserhaltung und landwirtschaftliche Nutzung gemeinsam zu denken (Schübach, 2002). Damit stellt die UBE eine Modellregion dar, in der Nutzungskonflikte zwischen landwirtschaftlicher Produktion und Biodiversitätsförderung exemplarisch analysiert werden können.

Für Bewirtschaftende ist es von zentraler Bedeutung, einschätzen zu können, unter welchen Bedingungen eine zunehmende Moosdeckung als Folge standörtlicher Gegebenheiten zu interpretieren ist und in welchem Ausmass sie durch die Bewirtschaftung beeinflusst werden kann. Ein besseres Verständnis der Zusammenhänge zwischen Bewirtschaftungsstrategien und Moosdeckung kann dazu beitragen, Entscheidungen in der Bewirtschaftung von BFF fundierter zu treffen.

Zusätzlich wird die Wahrnehmung der Bewirtschaftenden erfasst, um den Zusammenhang zwischen objektiv gemessener Moosdeckung und subjektiver Einstufung der Vermoosung zu untersuchen. Die erfasste Verwendung des Begriffes kann ein besseres gegenseitiges Verständnis zwischen Bewirtschaftenden, Beratung und Naturschutz fördern, was eine wichtige Voraussetzung für die Akzeptanz und Weiterentwicklung von Biodiversitätsfördermassnahmen darstellt.

1.2 Forschungsfragen

Durch das Eingrenzen gewisser Umweltvariablen, welche bei Reinert (2024) einen signifikanten Einfluss auf die Moosdeckung zeigten, wird der Einfluss der Bewirtschaftungsstrategien auf die Moosdeckung stärker differenzierend geprüft. Konkret hat die vorliegende Arbeit die Beantwortung der nachfolgenden Forschungsfragen zum Ziel.

Frage 1: Steigt die Moosdeckung der Flächen mit der Dauer der extensiven Bewirtschaftung an?

Vorangegangene Untersuchungen zeigen, dass die Moosdeckung auf ungedüngten, gemähten Flächen in den ersten Jahren nach der Extensivierung zunimmt, sich jedoch innerhalb weniger Jahre stabilisieren kann (Hájková et al., 2009). Da die Beobachtungsdauer dieser Studie auf sechs Jahre begrenzt war, bleiben langfristige Entwicklungen der Moosdeckung ungeklärt. Extensive Wiesen, die im Gegensatz zu wenig intensiv genutzten Wiesen nicht gedüngt werden, unterliegen über längere Zeiträume einer Ausmagerung. Obwohl viele Moosarten als stickstoffempfindlich gelten (Guntern, 2016), deuten neuere Untersuchungen darauf hin, dass neben der Nährstoffverfügbarkeit insbesondere die Konkurrenz um Licht mit den Gefässpflanzen eine wichtige Rolle für die Moosausbreitung hat. Entsprechende Ergebnisse berichten Jaszczuk et al. (2022) aus Untersuchungen zu Braunmoosen in Flachmooren. Mit zunehmender Dauer extensiver Bewirtschaftung ist daher zu erwarten, dass Moose ihre Konkurrenzposition stärken können und sich vermehrt ausbreiten.

Frage 2: Wie beeinflusst die Düngung und Beweidung die Moosdeckung?

Es wird erwartet, dass die Düngung durch deren Nährstoffeintrag einen mindernden Einfluss auf die Moose hat. Die in Reinert (2024) am häufigsten angetroffene Moosart *Rhytidiadelphus squarrosus* reagiert bei erhöhter Stickstoffdeposition mit einem besonders starken Rückgang (Arróniz-Crespo et al., 2008). Somit ist bei WiW, welche gedüngt werden dürfen, mit einer tieferen Moosdeckung als bei EW zu rechnen.

Auf EW und WiW ist eine schonende Herbstbeweidung erlaubt. Es wird vermutet, dass eine Beweidung durch den leichten Nährstoffeintrag und die veränderten Lichtbedingungen durch Trittschäden einen Einfluss auf die Moosdeckung hat. Bei einem Vergleich von ganzjähriger, saisonaler und fehlender Beweidung durch Søndergaard et al. (2025) in Dänemark konnte nachgewiesen werden, dass besonders die Beweidung in der eigentlichen Winter-Ruhezeit den Artenreichtum erhöhte und die interspezifische Konkurrenz zwischen den Pflanzen schwächte. In der Schweiz ist ebenfalls eine Studie zu einer Vorweidenutzung im Gange, welche in der ersten Saison bereits Änderungen des Lichtangebotes und Temperatur in Bodennähe und Konkurrenzvorteile von nährstoffarmen Arten gegenüber dominanten Grasarten aufzeigte (Bühler und Birrer, 2024). Inwiefern eine Herbstbeweidung vergleichbare

Auswirkungen entfaltet und dadurch die Konkurrenzkraft der Moose beeinflusst, ist im Rahmen dieser Arbeit zu prüfen.

Frage 3: Welchen Einfluss hat das Schnittregime (Flex / Standard, Schnittzeitpunkt, Schnitthöhe) auf die Moosdeckung?

Verglichen zu nicht bewirtschafteten Feuchtwiesen, weisen jährlich gemähte Flächen eine höhere Moosbiomasse auf, da die Streubiomasse der Moosbiomasse entgegenwirkt (Peintinger und Bergamini, 2006). Der Rückgang der Moosbiomasse durch eine erhöhte Streubiomasse wird von mehreren Studien genannt (Hájková & Hájek, 2003; Peintinger & Bergamini, 2006; Billeter et al., 2007). Bei mehrfachem Schnitt und jeweiligen Abführen ist mit einer geringeren Streubiomasse auf den Flächen und deshalb mit einer höheren Moosdeckung zu rechnen. Vergleichbar dazu führte ein- und zweifaches Mähen verglichen mit ungemähten Flächen zu einer erhöhten Moosdeckung in Feuchtwiesen, wobei sich jedoch für beide Schnitthäufigkeiten nach 2 Jahren eine gleich hohe Moosdeckung einstellte (Hájková et al., 2009). Durch die vorliegende Arbeit kann eine längerfristige Entwicklung der Schnitthäufigkeit beobachtet werden.

Unterschiedliche Schnittzeitpunkte erwiesen in einer Meta-Analyse unterschiedliche Auswirkungen auf die Pflanzenvielfalt in Wiesen (Humbert et al., 2012). Deshalb wird der Einfluss des Schnittzeitpunktes auf die Moosdeckung ebenfalls geprüft.

Frage 4: Wie nehmen die Bewirtschaftenden die Vermoosung und deren Ursachen wahr?

Ziel der Untersuchung ist es, zu erfassen, ab welcher Moosdeckung die Bewirtschaftenden von einer «Vermoosung» sprechen. Dabei wird ein Schwellenwert der Moosdeckung ermittelt, ab dem die Flächen vermehrt als «vermoost» eingestuft werden. Aufbauend auf dieser Einschätzung werden die von den Bewirtschaftenden vermuteten Ursachen erhoben. Soweit möglich, werden ihre Hypothesen überprüft und weitere Aspekte für zukünftige Untersuchungen identifiziert.

1.3 Definition der Moosdeckung

In dieser Arbeit steht der Bewirtschaftungseinfluss sowie die Wahrnehmung der Moosdeckung im Zentrum. Da Moose häufig heterogen verteilt auftreten und ihre räumliche Ausdehnung stark variieren kann (Janišová et al., 2022), stellt sich zunächst die Frage, welche Kenngrösse geeignet ist, um Moosanteile einer Fläche vergleichbar und statistisch belastbar abzubilden. Zu diesem Zweck wird die Moosdeckung auf Basis der Punkt-Frequenz-Methode erhoben und im Folgenden als zentrale Zielgrösse der Analysen verwendet.

Die Punkt-Frequenz-Methode nach Goodall (1951) beruht auf der Erfassung einer definierten Anzahl von Punktkontakten innerhalb einer Messfläche. Für jeden Punkt wird dokumentiert, ob Moose auftreten oder nicht. Unter der Annahme, dass die relative Häufigkeit der Punktkontakte eine passende Schätzung der Flächenbedeckung darstellt, kann die resultierende Frequenz direkt als prozentuale Moosdeckung verwendet werden.

Ein wesentlicher Vorteil dieser Methode liegt in ihrer Objektivität und Reproduzierbarkeit. Im Vergleich zu visuellen Schätzungen reduziert sie Beobachterbias deutlich und ermöglicht konsistente Ergebnisse zwischen Erhebungen und Bearbeitenden (Elzinga et al., 2001). Dies ist insbesondere für Moose relevant, deren mosaikartige Verteilung visuelle Deckungsschätzungen erschweren kann. Zudem besteht ein direkter Zusammenhang zwischen Punktfrequenz und tatsächlicher Deckung, wodurch robuste Vergleiche zwischen Flächen ermöglicht werden (Bonham, 2013). Mehrere Studien zeigen, dass die Methode besonders für bodennahe Vegetationsschichten eine hohe Genauigkeit bei gleichzeitig geringem Zeit- und Materialaufwand bietet (Kent, 2012).

Zur besseren Abbildung kleinräumiger Heterogenität wird die Punkt-Frequenz-Methode an vier Messstellen pro Untersuchungsfläche angewendet und die Werte pro Fläche gemittelt. Mittelwerte sind geeignet dafür, die räumliche Variabilität innerhalb von Aufnahmeflächen zu glätten, insbesondere bei niedrigwüchsiger Vegetation (Kent, 2012).

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird der Begriff «Moosdeckung» als objektive Messgrösse verwendet und bezeichnet die aus der Punkt-Frequenz-Methode abgeleitete prozentuale Messgrösse.

2 Untersuchungsflächen und Einflussvariablen

Um die Forschungsfragen möglichst unabhängig von Umwelteinflüssen zu untersuchen, wurden die Untersuchungsflächen gezielt ausgewählt. Die Auswahl erfolgte anhand festgelegter Kriterien, mit denen relevante Umwelteinflüsse auf die Moosdeckung eingegrenzt werden sollten, und wird im Folgenden erläutert. Neben der Charakterisierung der Untersuchungsflächen werden in diesem Kapitel zudem jene Einflussvariablen beschrieben, die einen möglichen Einfluss auf die Moosdeckung haben. Die strukturierte Erfassung dieser Variablen bildet die Grundlage für die nachfolgenden Auswertungen und ermöglicht eine Bewertung ihres Beitrags zur Variation der Moosdeckung.

2.1 Untersuchungsflächen

Die Auswahl der Untersuchungsflächen erfolgte dahingehend, dass eine ausgeglichene Stichprobe resultiert, welche den Einfluss von Umweltvariablen bestmöglich eingrenzt. Der Datensatz zu den BFF in der UBE, bestehend aus Kontaktliste und Geodaten, wurde durch das lawa (Landwirtschaft und Wald Luzern) bereitgestellt und in *ArcGIS Pro* (Esri, 2024a) verarbeitet (siehe detailliertes technisches Vorgehen in Anhang A.1).

Die Analyse beschränkt sich auf EW und WiW. Diese beiden Kulturtypen der BFF dürfen gemäss DZV, Anhang 4 (SR 910.13; 2026) nur gemäht und zwischen 1. September und 30. November beweidet werden (fortführend als Herbstbeweidung bezeichnet). Bei WiW ist zusätzlich eine Düngung mit maximal 30 kg verfügbarem Stickstoff pro Hektare und Jahr in Form von Mist oder Kompost zugelassen, womit ein Vergleich zwischen EW und WiW die Untersuchung des Düngungseinflusses ermöglicht (DZV, Anhang 4, SR 910.13, 2026).

Um die Höhenvariabilität gering zu halten, wurden nur Flächen der Bergzone I und Bergzone II aufgenommen, da diese denselben ersten Schnittzeitpunkt (1. Juli) haben (DZV, Anhang 4, SR 910.13, 2026). Die ausgewählten Flächen liegen zwischen 760 und 1'170 m über Meer (vgl. Anhang B.1 Abbildung A 2).

Reinert (2024) konnte in einem gemischten linearen Modell einen signifikanten Einfluss von der Exposition, der Vegetationshöhe und der Geländemorphologie «Mulde» auf die Moosdeckung nachweisen. Die Moosdeckung ist in südexponierten Flächen sowie in Mulden tiefer. Nordexponierte Flächen weisen eine erhöhte Moosfrequenz auf. Die Analyse wurde dementsprechend auf eine Exposition beschränkt. Da in der UBE mehr relevante west- als ostexponierte Flächen vorzufinden waren, wurde die Westexposition (215 bis 315 Grad) gewählt (vgl. Anhang B.1 Abbildung A 4). Mithilfe des Tools *Geomorphon Landforms* wurden Vertiefungen in den Flächen identifiziert und von den Untersuchungsflächen getrennt. Die Steigung der Flächen wurde ähnlich zur Studie von

Reinert (2024) auf 0 bis 30 Grad eingeschränkt, wobei die ausgewählten Flächen eine Spannbreite zwischen 4 und 26 Grad aufweisen (vgl. Anhang B.1 Abbildung A 3).

Um Randeffekte wie Nährstoffeinträge aus benachbarten Flächen oder Waldrand zu minimieren, wurde der Randbereich von zehn Metern aus den Untersuchungsflächen ausgeschlossen. Damit die verbleibenden Flächen gross genug für verteilte Untersuchungspunkte sind, wurden nur noch Flächen mit Restgrösse von über 100 Quadratmeter berücksichtigt.

Mithilfe der Funktion *Create Random Points* in ArcGIS wurden vier Messpunkte pro Untersuchungsfläche mit einem Mindestabstand von einem Meter zufällig ausgewählt.

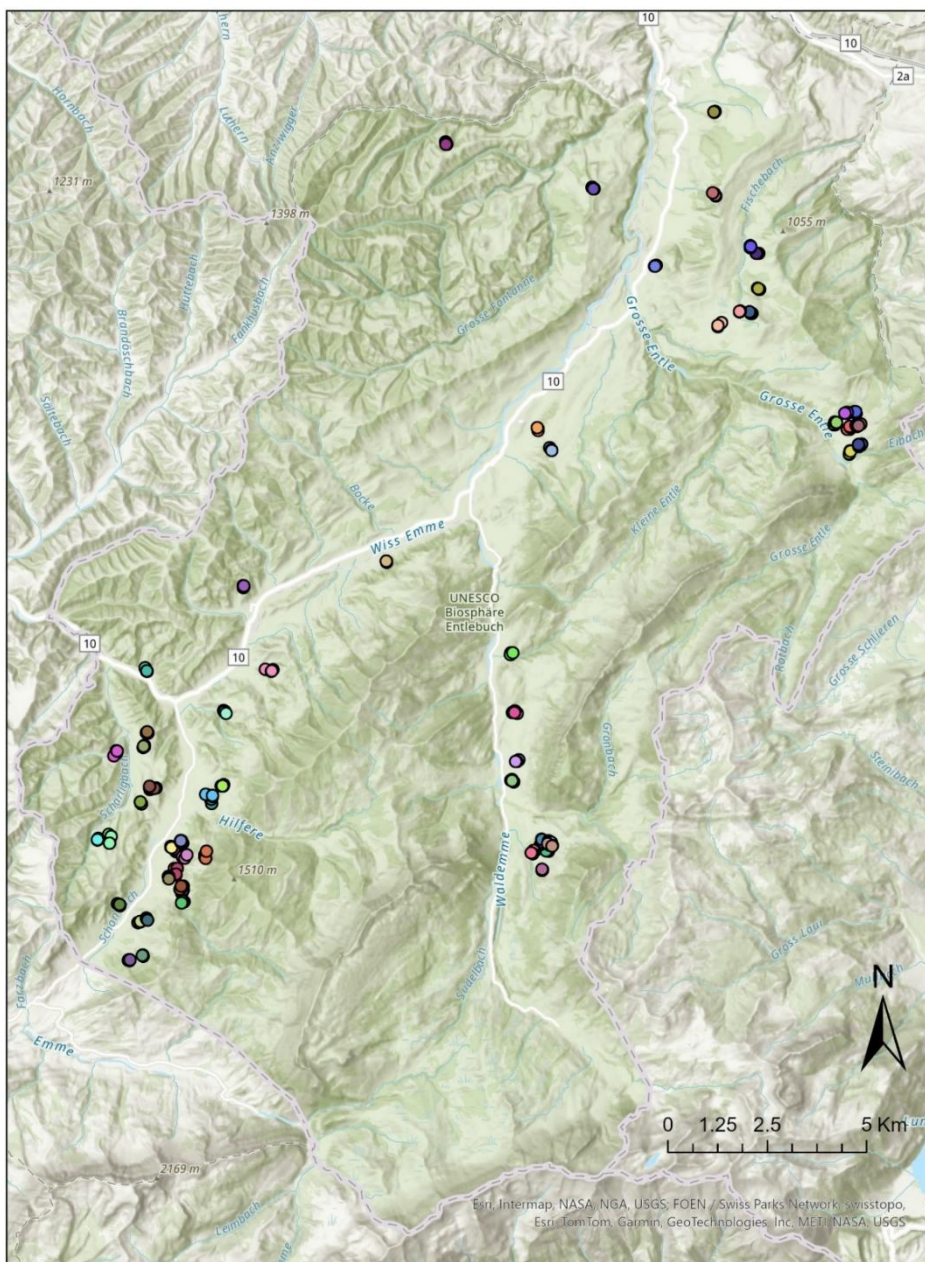


Abbildung 1. Auf dem Kartenausschnitt sind die Untersuchungspunkte, farblich gruppiert nach Untersuchungsflächen, zu erkennen. Es sind alle 63 Untersuchungsflächen, in denen die Moosdeckung gemessen wurden, abgebildet. Aufgrund des Massstabs kommt es zu Überschneidungen der Punkte.

2.2 Einflussvariablen

Zur geeigneten Untersuchung der Flächen für die gegebenen Forschungsfragen (Kapitel 1.1) wurde eine umfassende Liste potentiell relevanter erklärender Variablen erstellt. Als Ausgangspunkt wurden bewusst viele Variablen aufgenommen, um die Bewirtschaftungsentscheidungen vollumfänglich abzubilden. Dadurch entstanden zwangsläufig gewisse Redundanzen zwischen einzelnen Variablen. So wird beispielsweise das Fehlen von Beweidung durch die binäre Beweidungsvariable («nein»), eine Beweidungsdauer von «null» sowie eine entsprechende Ausprägung der Beweidungstierart («keine») beschrieben. Diese Informationsüberlappungen wurden in der späteren statistischen Modellierung entfernt.

Im Gespräch mit Landwirten wurde die Frage aufgeworfen, ob eventuell gewisse Maschinen bei der Bewirtschaftung Auswirkungen auf die Moose haben. Deshalb wurde die Maschinenwahl ebenfalls erhoben, um allfällige Effekte abbilden zu können. Die Maschinenwahl wird jedoch nur explorativ vorgestellt und nicht in die statistische Modellierung aufgenommen.

Die Variable QII wurde berücksichtigt, da der QII-Status potentiell Aspekte der bisherigen Nutzungsintensität widerspiegeln kann. Unterschiede in der Bewirtschaftungsintensität beeinflussen die Artenvielfalt (Meier et al., 2023). Da die floristische Qualität, welche für QII erforderlich ist, zumindest teilweise von der längerfristigen Bewirtschaftung abhängt, wird QII als Kontrollvariable zur Nutzungsgeschichte in die statistische Modellierung aufgenommen, um mögliche Zusammenhänge zur Moosdeckung einzuschliessen.

Der Standort sowie grundlegende Informationen wie Kulturtyp, Schnittregime und Naturschutzaufgaben konnten dem Datensatz von lawa entnommen werden. Weitere Details zur Bewirtschaftung sowie ihre Einschätzung zur Vermoosung wurde direkt bei den Bewirtschaftenden telefonisch erfragt. Um die Moosdeckung der Flächen zu erhalten, mussten Feldmessungen durchgeführt werden. In Tabelle 1 sind die ermittelten Variablen und deren Eigenschaften zusammengefasst.

Tabelle 1. Für alle erfassten Variablen sind der Datentyp, die beobachteten Ausprägungen, die ggf. verwendeten Einheiten und die Datenquelle notiert. Für kategoriale Variablen bildet die erstgenannte Ausprägung die Referenzkategorie für das statistische Modell.

Variable	Datentyp	Ausprägungen	Einheit	Datenquelle
Moosdeckung	numerisch	0 - 100	Prozent	Feldmessung
Nutzungsart	kategorial	EW, WiW		Datensatz lawa
QII	kategorial	nein, ja		Datensatz lawa
Dauer der aktuellen Bewirtschaftung	numerisch	0 - 57	Jahre	Befragung
Schnitthäufigkeit	kategorial	einmal, zweimal		Befragung
Schnittregime	kategorial	Standard, Flex, Naturschutz		Befragung / Datensatz lawa
Schnittzeitpunkt	numerisch	0 - 365	Tag des Jahres	Befragung
Schnitthöhe	numerisch	4 - 10	Zentimeter	Befragung
Herbstbeweidung	kategorial	nein, ja		Befragung
Beweidungsdauer	numerisch	0 - 56	Tage	Befragung
Beweidungstier	kategorial	kein, Rinder, Kälber, Yaks, Mutterkühe, Schafe		Befragung
Düngung	kategorial	nein, ja		Befragung
Düngungsmenge	numerisch	0 - 9	Kubikmeter	Befragung
Mist Tierart	kategorial	kein, Rinder, Kälber, Mutterkühe, Schafe		Befragung
pflanzenverfügbare Stickstoffeintrag	numerisch	0 - 24.5	Kilogramm N pro Hektare	Befragung (Berechnung)
Verwendete Schnittmaschine	kategorial	Balkenmäher, Scheibenmäher,		Befragung
Verwendete Maschinen zum Schnittgutabtrag	kategorial	Bandrechen, von Hand rechen, Heuschieber		Befragung
Vermoosung	kategorial	nein, ja		Befragung

3 Vorgehen

Im Folgenden wird das Vorgehen der vorliegenden Untersuchung beschrieben. Die Bewirtschaftenden der Untersuchungsflächen wurden per Serienbrief nach ihrem Einverständnis hinsichtlich der Betretung zwecks Feldarbeit gefragt. Anschliessend folgten die Feldmessungen, bei denen die Moosdeckung der Flächen gemessen wurden. Nach Abschluss der Feldaufnahmen wurden die Bewirtschaftenden telefonisch zur Datenvervollständigung befragt. Auf Grundlage des vollständigen Datensatzes erfolgten die statistische Auswertung und die Interpretation der Ergebnisse.

3.1 Feldmessung

Die Moosdeckungen der Untersuchungsflächen wurden zwischen Anfang und Ende Juli 2025 sowie an drei weiteren Messtagen Mitte August 2025 im Feld erhoben.

Die Reihenfolge der Messungen wurde aufgrund geographischer Nähe und des Schnittzeitpunktes geplant. Da tiefere Vegetationshöhen das Erkennen der Moose vereinfacht, wurden die Messungen nach dem ersten Schnitt durchgeführt. Deshalb wurden die Messungen zuerst auf Flächen mit dem Schnittregime Flex, welche früher geschnitten werden dürfen, geplant. Die Bewirtschaftenden wurden ein bis drei Tage vor den Messungen jeweils telefonisch kontaktiert, um sie über die Feldarbeiten zu informieren und abzuklären, ob der erste Schnitt bereits erfolgt ist.

Nach der Anreise zu den Untersuchungsflächen wurden die Messpunkte anhand der GPS-Funktion in der App *Field Maps* (Esri, 2024b) des Feldtablets genau lokalisiert. Bei fehlendem Netzempfang wurden die Punkte anhand Orientierung im Feld und der Satellitenkarte auf dem Tablet identifiziert. Im Feld wurde beurteilt, ob der Standort keine Auffälligkeiten aufweist, welche die Moosdeckung beeinflussen könnten. Falls sich die zufällig gewählten Punkte in einer Mulde, in beschädigten Bodenflächen oder auf einer Kuppe befanden, wurden die Messpunkte um 5 Meter hangabwärts verschoben.

Die Messung der Moosdeckung basiert auf der Punkt-Frequenz-Methode nach Goodall (1951): In einer gleichmässigen Verteilung von Messpunkten über eine Fläche wird die Präsenz von Moosen gemessen (vgl. Kapitel 1.3). Dafür wurde von Reinert (2024) ein Messrahmen gebaut, der auch in den vorliegenden Messungen wieder verwendet wurde. Der Holzrahmen mit Länge und Breite von 110 cm enthält pro Seite zehn Schnüre mit jeweils 11.1 cm Abstand, wodurch ein Raster mit 100 Schnittpunkten entsteht (Abbildung 3). Für einen einfacheren Transport wurden Scharniere eingebaut, sodass der Rahmen zusammenklappbar ist.

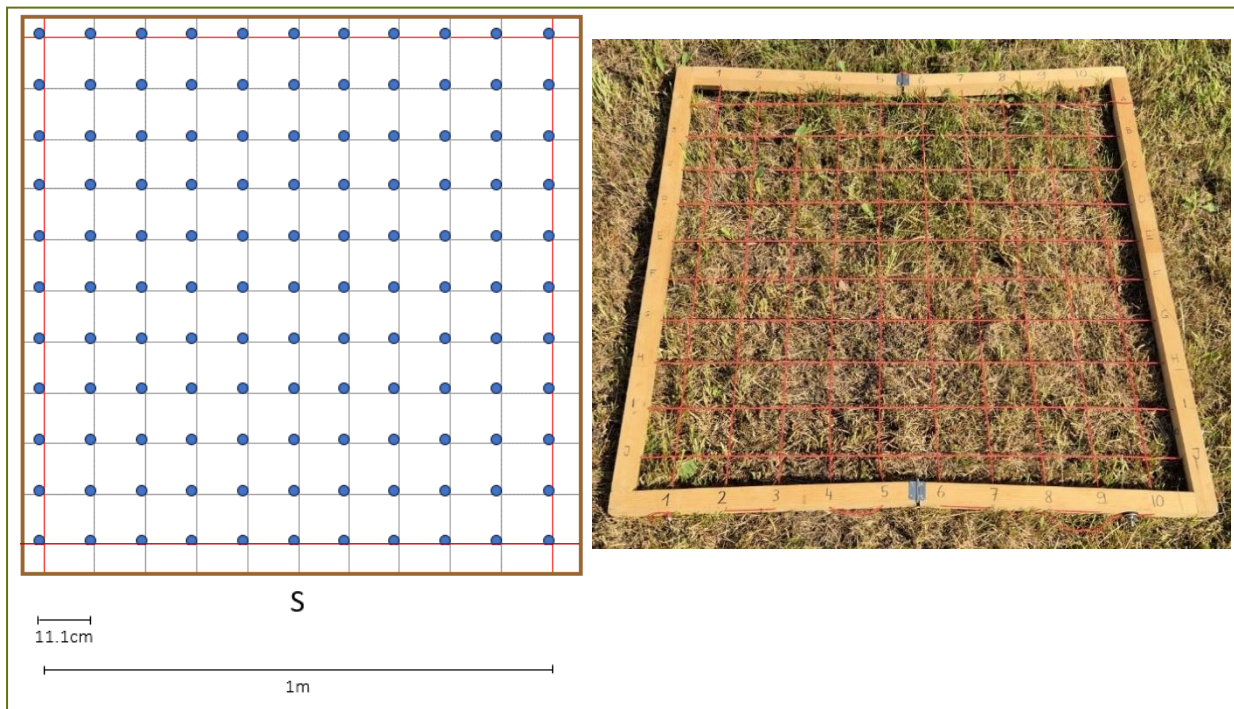


Abbildung 3. Der Messrahmen ist links als Skizze dargestellt, wobei die blauen Punkte die hundert Einstichstellen der Stricknadel zeigen. Rechts ist die Messvorrichtung im Feld abfotografiert (eigene Aufnahme vom 12. August 2025).

Am Untersuchungspunkt wurde der Messrahmen in die Vegetation gelegt. Mit einer Stricknadel wurde an jedem Schnittpunkt im Raster eingestochen (siehe Abbildung 2), falls nötig die Vegetation sorgfältig zur Seite gelegt, und beurteilt, ob die Nadel Moos berührt. So wird pro Untersuchungspunkt hundertmal binär (ja / nein) bewertet, ob Moos berührt wird. Mit einem Handzähler wurden die positiv bewerteten Punkte zusammengezählt. Die Moosdeckung pro Untersuchungspunkt liegt somit zwischen 0 und 100 und wird als Prozentangabe interpretiert.



Abbildung 2. Die Aufnahme zeigt ein positives Messbeispiel. Am Schnittpunkt der Schnüre wird mit der Stricknadel eingestochen. Auf dem vergrößerten Bildausschnitt (rechts) ist zu erkennen, dass die Stricknadel Moos berührt.

Zusätzlich zur Moosdeckung wurden allfällige Beobachtungen notiert und die ungefähre Vegetationshöhe in 5 cm Intervallen geschätzt. Alle Angaben inklusive Erhebungszeitpunkt wurden in der App *Field Maps* (Esri, 2024b) auf dem Tablet erfasst.

3.2 Umfrage

Die Daten zur Bewirtschaftung wurden durch eine telefonische Umfrage ergänzt. Zwischen September und Oktober wurden dazu die Bewirtschaftenden angerufen und mithilfe des Fragebogens (Anhang A.2) zur Bewirtschaftung der entsprechenden Fläche befragt. An die Bewirtschaftenden, welche telefonisch nicht erreicht werden konnten, wurde der Fragebogen anfangs Oktober per Mail versendet.

Die Antworten wurden im Fragebogen in Word festgehalten. Für die weitere Bearbeitung wurden die Angaben in Excel übertragen, wobei die Informationen für die Variablen in einheitliche Kategorien übersetzt wurden. Zur Wahrung des Datenschutzes wurden die Bewirtschaftungsdetails gesondert von den Kontaktangaben aufbewahrt.

Die Schnitthöhe wurde als minimalen und maximalen Wert in Zentimetern angegeben. Für die weitere Analyse wurde der Durchschnitt verwendet.

Die angegebene Düngungsmenge, abgefragt in Kubikmeter, sowie die Tierart von der der Mist stammt, ermöglichten die Berechnung des Stickstoffeintrages pro Fläche. Als pflanzenverfügbaren Stickstoffeintrag der entsprechenden Tierart wurden die Durchschnittswerte des Laufstallmistes von Flisch et al. (2009) verwendet. Es wurde eine Dichte von 700 kg pro Kubikmeter Mist angenommen (Baer, 2010). Die Flächengröße wurde aus den Daten von Lawa entnommen.

Die Bewirtschaftenden gaben zum Schluss an, ob sie die Fläche als vermoost bezeichnen würden. Antworten wie «teils» oder «an gewissen Stellen» wurden ebenfalls als «ja» gewertet, da Moose allgemein heterogen verteilt auftreten (Janišová et al., 2022). Falls die Bewirtschaftenden eine Vermoosung wahrnehmen, wurde gefragt, was sie als Grund für die Vermoosung annehmen.

3.3 Auswertung

Die Felddaten wurden von der App *Field Maps* (Esri, 2024b) des Tablets mit *ArcGIS online* (Esri, 2025) synchronisiert und konnten dort heruntergeladen werden. In *ArcGIS Pro* (Esri, 2024a) wurden die Felddaten über die Funktion *Table to Excel* als Excel-Datei exportiert. Die Daten der Umfrage liegen ebenfalls als Excel-Dateien vor.

Die Datenauswertung erfolgte in *R* (Version 4.5.1; R Core Team, 2025) unter Verwendung von *RStudio* (Posit, 2025). Die Datengrundlage wurde gemäss den im folgenden Unterkapitel beschriebenen Arbeitsschritten aufbereitet. Anschliessend erfolgte eine

explorative Datenanalyse, bevor die Moosdeckung in Abhängigkeit der Bewirtschaftungsvariablen modelliert wurde.

3.3.1 Datenaufbereitung

Die gemessenen Moosdeckungen der vier Untersuchungspunkte wurden als erstes pro Fläche gemittelt und anschliessend über die Funktion `left_join()` des R Packages `dplyr` anhand der Geo-ID mit den Daten der Umfrage zusammengefügt (Wickham et al., 2023).

Für die relevanten Daten musste jeweils der entsprechende Datentyp (siehe Tabelle 1) gesetzt werden. Die Variable Schnittzeitpunkt war als Datum notiert und wurde für die Analysen numerisch zum «Tag des Jahres» umgewandelt.

Für kategoriale Variablen, welche weniger als fünf Beobachtungen einer Kategorie vorweisen, wurden Kategorien zur verbesserten Modellierung zusammengefasst. Davon betroffen waren die Variablen Beweidungstier, Mist Tierart, Schnitthäufigkeit sowie das Schnittregime. Letztere wurde mit der Variabel Naturschutzfläche zusammengeführt. Die zusammengefassten Variablen werden im Kapitel 3.1 bei den entsprechenden Unterkapiteln genauer erläutert.

3.3.2 Datenanalyse

Bewirtschaftungseinfluss auf die Moosdeckung

Die Daten wurden explorativ betrachtet, bevor eine statistische Modellierung zur Beantwortung der Hypothesen durchgeführt wurde. Die Anzahl der Datenpunkte pro Kategorie wurde aufgelistet sowie graphisch der Moosdeckung gegenübergestellt. Über die Funktion `ggplot()` des R Packages `ggplot2` wurden numerische Daten als Scatterplots und kategoriale Daten als Boxplots dargestellt (Wickham, 2016).

Zur explorativen Voranalyse der Einflussvariablen wurden zudem bivariate nichtparametrische Tests (Mann-Whitney-U-Test, Kruskal-Wallis-Test und Spearman-Rangkorrelation) durchgeführt. Diese Analysen dienten ausschliesslich der Exploration von Trends und potentiell relevanten Einflussvariablen. Entsprechend werden diese Ergebnisse nicht weiter dargestellt oder diskutiert.

Die Forschungsfragen zum Bewirtschaftungseinfluss auf die Moosdeckung wurden anhand eines linearen Modells beantwortet. Hierfür wurden geeignete Einflussvariablen selektiert, mit denen die Zielvariable Moosdeckung modelliert wurde. Die Einflussvariablen wurden auf Multikollinearität geprüft und gegebenenfalls ausgeschlossen. Die numerischen Variablen wurden in einem Korrelationsplot mithilfe des Packages `corrplot` dargestellt (Wei & Simko, 2024). Für alle Variablen wurde der VIF (Varianzinflationsfaktor) zur Prüfung der Multikollinearität berechnet (Kutner et al.,

2005). Hierzu wurde ein lineares Modell geschätzt und anschliessend die Funktion *vif()* des Packages *car* genutzt (Fox & Weisberg, 2019). Beim Aussortieren von kollinearen Variablen wurde jeweils die Variable mit höherem Informationsgehalt und besserer ökologischer Interpretierbarkeit bevorzugt. Dabei wurden stärker aggregierte, kategoriale Variablen zugunsten detaillierterer, numerischer Variablen aussortiert. Diese Entscheidung wurde anhand des Modellgütekennwerts AIC (Akaike Informationskriterium) verifiziert (Akaike, 1974).

Die verbleibenden Variablen wurden in einem finalen linearen Modell verwendet, dessen Modellparameter mittels linearer Regression geschätzt wurden. Zur Überprüfung der Modellannahmen wurden Diagnoseplots erstellt, darunter ein Q-Q-Plot zur visuellen Beurteilung der Normalverteilung sowie ein Residuals-vs-Fitted-Diagramm zur Prüfung von Linearität und Homoskedastizität (Kutner et al., 2005).

Zusätzlich wurden alternative lineare Modelle berechnet, um die Resultate besser einordnen zu können. Dabei wurden Interaktionen zwischen Schnittregime und Schnittzeitpunkt modelliert, um mögliche kombinierte Effekte dieser Bewirtschaftungsvariablen zu untersuchen. Interaktionen zwischen Kulturtyp und QII-Status sowie zwischen Kulturtyp und Dauer der aktuellen Bewirtschaftung wurden berücksichtigt, um Unterschiede zwischen EW und WiW differenziert zu betrachten. Ein lineares Modell wurde ohne Interaktionsterm und ohne die Variable Kulturtyp berechnet, um den Einfluss des Stickstoffeintrages unabhängig davon zu prüfen.

Zum Abgleich der vorgenommenen Eingrenzung der Umwelteinflüsse wurde ein weiteres Modell erstellt. Dieses lineare Modell wurde mit den Einflussvariablen des finalen Modells sowie mit den Umweltvariablen Höhe, Exposition und Steigung berechnet. Der Vergleich des finalen linearen Modells mit dem linearen Modell inklusive Umweltvariablen ermöglicht die Überprüfung, inwieweit die beobachteten Effekte der Bewirtschaftungsvariablen gegenüber zusätzlichen standörtlichen Einflüssen robust sind.

Wahrnehmung der Vermoosung

Der Zusammenhang zwischen Moosdeckung und der Wahrnehmung von Vermoosung wurde mithilfe eines verallgemeinerten linearen Modells (Generalized Linear Model) mit binomialer Fehlerverteilung und Logit-Linkfunktion analysiert (McCullagh & Nelder, 1989). Dabei wurde die binäre Einschätzung der Bewirtschaftenden (Vermoosung: 0 = nein, 1 = ja) als abhängige Variable und die mittlere Moosdeckung als erklärende Variable verwendet. Das Modell schätzt für jede Moosdeckung die Wahrscheinlichkeit, dass eine Fläche als «vermoost» eingestuft wird.

Um zu bestimmen, ab welcher Moosdeckung Bewirtschaftende eine Fläche vermehrt als «vermoost» einstufen, wurde ein entsprechender Schwellenwert berechnet. Der Fokus lag dabei auf dem Wert der Moosdeckung, bei dem die Wahrscheinlichkeit einer

Einstufung als «vermoost» 50 % beträgt. Dieser 50-%-Schwellenwert der Moosdeckung wird aus den Modellkoeffizienten berechnet. Da es sich dabei um eine abgeleitete Grösse und nicht um einen direkten Modellparameter handelt, wurde seine Unsicherheit mithilfe eines nichtparametrischen Bootstraps abgeschätzt (Efron & Tibshirani, 1993). Beim Bootstrapping wurden die Beobachtungen 2000-mal mit Zurücklegen zufällig neu zusammengestellt und das Modell jeweils neu berechnet. Aus jedem Modell wurde wiederum der 50-%-Schwellenwert berechnet. Das 95-%-Konfidenzintervall des Schwellenwerts wurde anschliessend als Perzentilintervall aus der empirischen Verteilung der Bootstrap-Schätzer bestimmt. Auf diese Weise konnte die Unsicherheit des geschätzten Schwellenwertes robust ermittelt werden.

Zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Moosdeckung und der Wahrnehmung von Vermoosung wurde eine Wahrscheinlichkeitskurve mit Konfidenzband erstellt. Dazu wurde für jede Bootstrap-Stichprobe die vorhergesagte Wahrscheinlichkeit einer Einstufung als «vermoost» über den Bereich der Moosdeckung berechnet. Für jeden Moosdeckungswert wurden anschliessend der Median sowie das 2.5-%- und 97.5-%-Quantil dieser Wahrscheinlichkeiten bestimmt.

4 Resultate

Als erstes werden die explorativen Auswertungen der erhobenen Daten vorgestellt, welche einen ersten Überblick über die Datengrundlage ermöglichen. Anschliessend werden die Resultate des linearen Modells präsentiert, welches zur Beantwortung der Forschungsfragen 1 bis 3 dient. Im letzten Teil des Kapitels wird die Einschätzung der Vermoosung durch die Bewirtschaftenden (Forschungsfrage 4) dargestellt.

4.1 Datenübersicht

Die Bewirtschaftenden von 72 Flächen wurden für die Felduntersuchungen angefragt. Davon mussten acht Flächen aufgrund einer Ablehnung von der Studie ausgeschlossen werden. Bei einer weiteren Fläche war die Vegetation bis Mitte August über 50 cm hoch, wodurch die Messung nicht möglich war und die Fläche von der Studie ausgeschlossen wurde.

Die Moosdeckung konnte somit auf insgesamt 63 Flächen im Feld erhoben werden. Für elf dieser Flächen konnten die Bewirtschaftenden trotz mehrfacher telefonischer Kontaktversuche sowie des Versands des Fragebogens per E-Mail nicht für die Befragung erreicht werden. Eine weitere Fläche wurde von der Analyse ausgeschlossen, da der Bewirtschafter die Fläche erst im Jahr 2025 übernommen hatte und keine Angaben zur durchgeführten Bewirtschaftung machen konnte.

Damit stehen 51 Flächen als vollständige Datenpunkte für die Analyse zur Verfügung.

4.1.1 Moosdeckung

Im Feld konnten Untersuchungspunkte mit 0 bis 100 % relativer Moosfrequenz (0 bis 100 Präsenzen in 100 Schnittpunkten) gemessen werden. Für die mittlere Moosdeckung einer Fläche beträgt der tiefste Wert 0.75 % und der höchste 96.5 %. Die mittlere Standardabweichung der Moosdeckung innerhalb einer Fläche beträgt 16 Prozentpunkte. Das bedeutet, dass die vier Untersuchungspunkte pro Fläche im Durchschnitt um etwa 16 Prozentpunkte von ihrem jeweiligen Flächenmittelwert abweichen.

Abbildung 4 zeigt die Verteilung der mittleren Moosdeckung auf. In Anhang B.1 wird die mittlere Moosdeckung den Umweltvariablen Exposition, Steigung und Höhe gegenübergestellt.

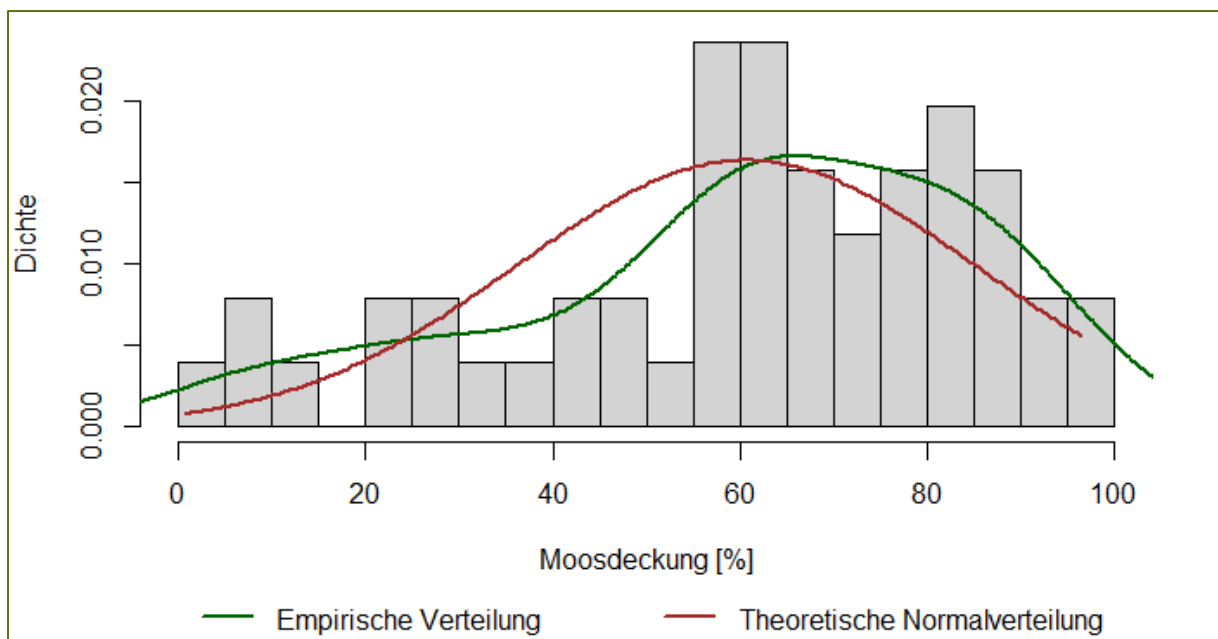


Abbildung 4. Das Histogramm der mittleren Moosdeckung (%) ist mit 10 %-Bins, empirischer Dichtekurve (grün) und theoretischer Normalverteilung (rot) dargestellt.

4.1.2 Bewirtschaftungsform

Kulturtyp

29 Untersuchungsflächen sind extensiv genutzte Wiesen und 22 sind wenig intensiv genutzte Wiesen. EW zeigen tendenziell eine höhere mittlere Moosdeckung (Abbildung 5), wobei ein Ausreisser mit einer geringen mittleren Moosdeckung (12 %) gefunden wurde. Diese EW wird erst seit drei Jahren extensiv bewirtschaftet und war davor in intensiver Nutzung. WiW zeigen eine höhere Variabilität der mittleren Moosdeckung als EW.

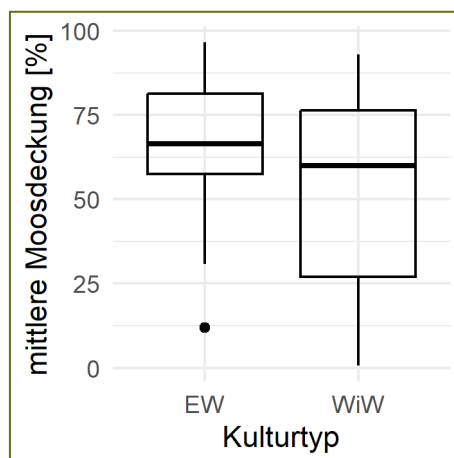


Abbildung 5. Die Boxplots zeigen Median (horizontale Linie), Interquartilsabstand (Box) sowie Datenstreuung (Whisker) der mittleren Moosdeckung für die Kulturtypen EW und WiW. Der Punkt ausserhalb der Box entspricht einem Ausreisser.

Dauer der aktuellen Bewirtschaftung

Bei der Befragung gaben die Bewirtschaftenden an, seit wie vielen Jahren die Fläche in der aktuell beschriebenen Bewirtschaftungsform (extensiv oder wenig intensiv) genutzt wird. Die Angabe wurde mit den Daten von lawa abgeglichen, wobei der jeweils höhere Wert genommen wurde.

In mehreren Fällen wurden Flächen von den heutigen Betrieben übernommen, ohne dass dabei eine Nutzungsänderung erfolgte. Die Bewirtschaftenden konnten jedoch nicht angeben, wie lange die Fläche bereits vor der Übernahme in derselben Form bewirtschaftet wurde. In diesen Fällen wurde die Dauer der Bewirtschaftungsform ab dem Zeitpunkt der Betriebsübernahme erfasst, die vorherige Nutzung jedoch als identisch zur aktuellen Bewirtschaftungsform dokumentiert. Damit ist zu berücksichtigen, dass die tatsächliche Dauer der Bewirtschaftungsform in einzelnen Fällen länger sein kann als die angegebene Zeitspanne.

Von den 51 Flächen konnten bei 19 Flächen die Bewirtschaftenden keine Angabe machen, wie diese vor der Übernahme genutzt wurde.

Abbildung 6 zeigt eine Spannweite der aktuellen Bewirtschaftungsdauer von 1 bis 57 Jahren. Alle Untersuchungsflächen (EW und WiW) sind darin abgebildet.

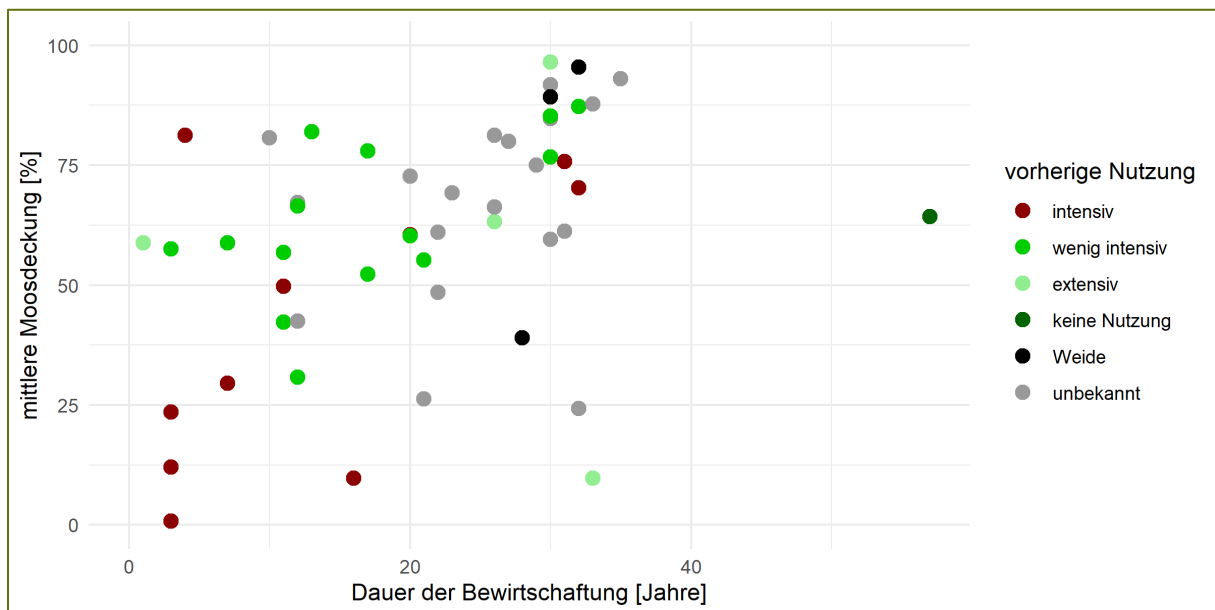


Abbildung 6. Die mittlere Moosdeckung wird der Dauer der aktuellen Bewirtschaftungsform (EW oder WiW) gegenübergestellt. Die Farbe der Datenpunkte zeigt die jeweilige vorhergehende Nutzung der Fläche.

Betrachtet man nur die EW (Abbildung 7), zeigt sich ein Trend. Die mittlere Moosdeckung scheint bei längerer extensiver Bewirtschaftung zuzunehmen.

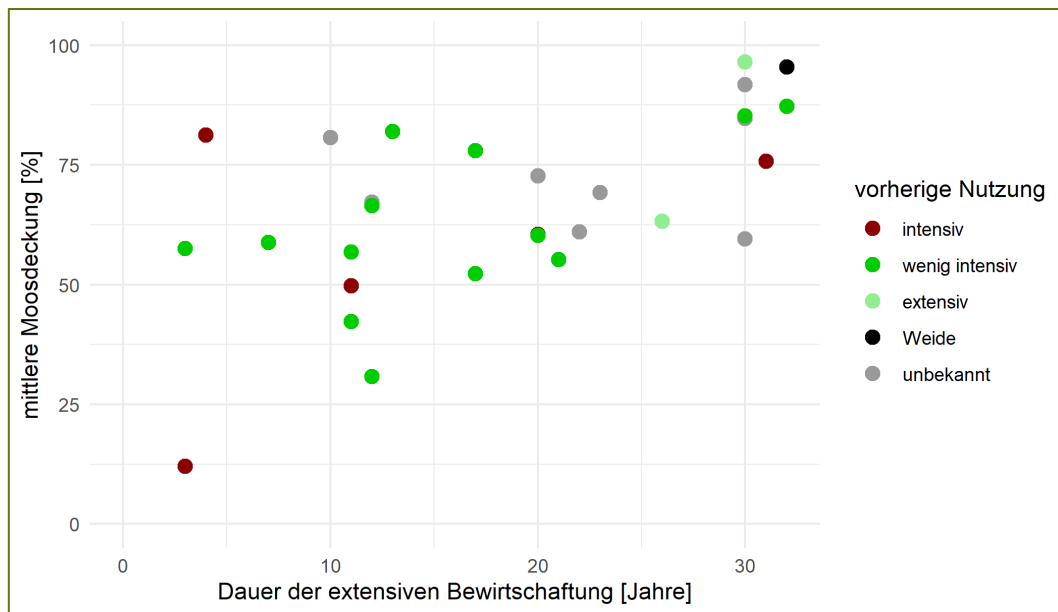


Abbildung 7. Die mittlere Moosdeckung wird der Dauer der extensiven Bewirtschaftung gegenübergestellt. Die Farbe der Punkte zeigt die vorhergehende Nutzung der jeweiligen Fläche.

4.1.3 Düngung

Von den 51 Untersuchungsflächen wird auf 15 WiW Mist ausgetragen. Es werden keine weiteren Dünger (Gülle oder Präparate) auf den Untersuchungsflächen ausgebracht. Auf sieben WiW wird, obwohl es erlaubt wäre, kein Mist ausgebracht.

Tabelle 2. Die Tabelle gibt die Anzahl der Flächen an, auf denen Mist der jeweiligen Tierart ausgebracht wird.

Mist - Tierart	Anzahl Flächen
Kälber	1
Mutterkühe	1
Rinder	10
Schafe	3

Durch die Angabe der Mistmenge und der zugehörigen Tierart (Tabelle 2) wurde der pflanzenverfügbare Stickstoffeintrag pro Fläche berechnet. Abbildung 8 (links) zeigt keinen klaren Trend zwischen Stickstoffeintrag und der mittleren Moosdeckung. Keine der Untersuchungsflächen überschreitet die erlaubte Menge von 30 Kilogramm pro Hektar (DZV, Anhang 4, SR 910.13, 2026). In Abbildung 8 rechts ist ein Ausreisser bei den nicht gedüngten Flächen erkennbar. Hierbei handelt es sich um eine WiW mit einer mittleren Moosdeckung von 0.75 %, welche erst seit drei Jahren wenig intensiv bewirtschaftet wird und davor in intensiver Nutzung war.

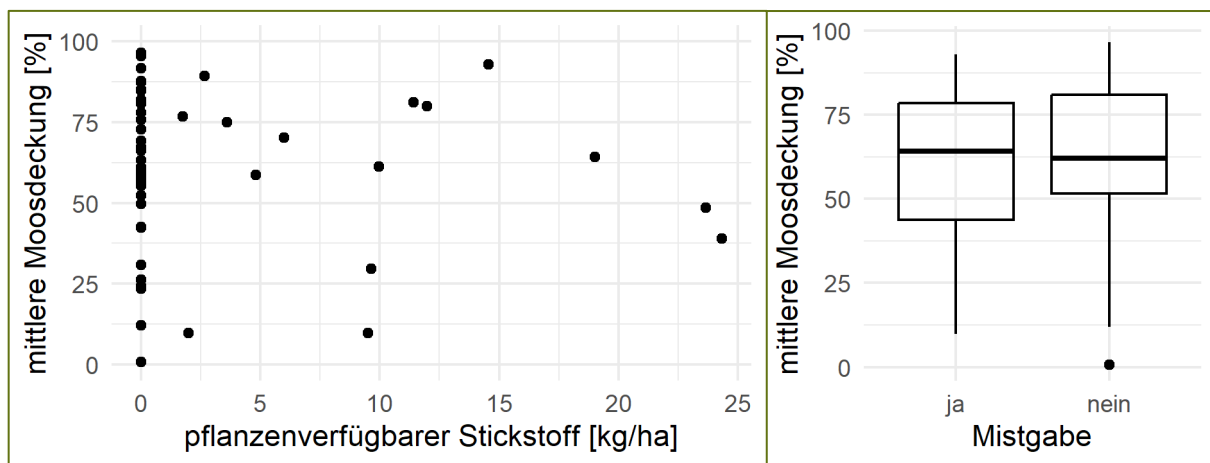


Abbildung 8. Links: Der berechnete pflanzenverfügbare Stickstoffeintrag durch die Mistgabe wird der mittleren Moosdeckung gegenübergestellt. Rechts: Die Boxplots vergleichen ungedüngte Flächen mit Flächen, auf denen Mist ausgebracht wird.

Der Vergleich zwischen den Bewirtschaftungsformen zeigte in Abbildung 5 eine hohe Variabilität der Moosdeckung von WiW. Gleichzeitig kommt es bei den WiW zu einer ungleichen Bewirtschaftungspraxis, da sieben Flächen nicht gemistet werden. Vor diesem Hintergrund wurde die mittlere Moosdeckung getrennt nach Bewirtschaftungsform und Mistgabe dargestellt (Abbildung 9). Während die mittlere Moosdeckung auf EW und WiW mit Mistgabe vergleichbare Medianwerte aufweisen (66.5 % und 64.25 %), ist die Moosdeckung auf WiW ohne Mistgabe deutlich geringer. Der Median dieser sieben Flächen liegt bei 26.25 %.

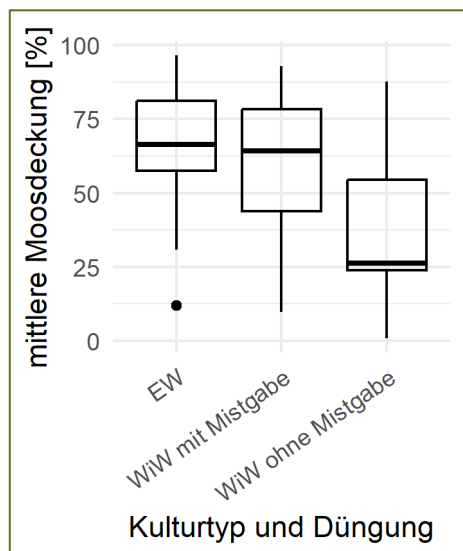


Abbildung 9. Die Daten wurden nach Kulturtyp und Düngung gruppiert und der mittleren Moosdeckung gegenübergestellt. Alle EW sind ungedüngt.

4.1.4 Herbstbeweidung

21 Untersuchungsflächen werden im Herbst zwischen 1. September und 30. November jeweils beweidet. Die restlichen 30 Flächen werden nie beweidet. In Tabelle 3 ist ersichtlich, welche Beweidungstierart für die Flächen angegeben wurde. Für die weitere Analyse wurden die Beweidungstiere anhand ihrer Gattung zusammengefasst, sodass nur noch Schafe und Rinder unterschieden werden.

Tabelle 3. Die Tabelle gibt die Anzahl der Flächen an, die mit der jeweiligen Tierart beweidet werden. Dargestellt sind die ursprünglichen Antworten vor der Zusammenfassung nach Tiergattungen.

Beweidung - Tierart	Anzahl Flächen
Kälber	1
Mutterkühe	4
Rinder	8
Yaks	2
Schafe	6

Flächen mit Herbstbeweidung weisen eine höhere Variabilität der mittleren Moosdeckung und einen geringeren Median als unbeweidete Flächen auf (Abbildung 10 links). Die Mediane der mittleren Moosdeckung unterscheiden sich zwischen den Beweidungstieren Rinder und Schafe kaum (Abbildung 10 rechts). Bei Beweidung mit Rindern ist eine hohe Streuung der mittleren Moosdeckung zu erkennen. Zwei Ausreisser bei fehlender Beweidung haben eine tiefe mittlere Moosdeckung (9.75 % und 12 %).

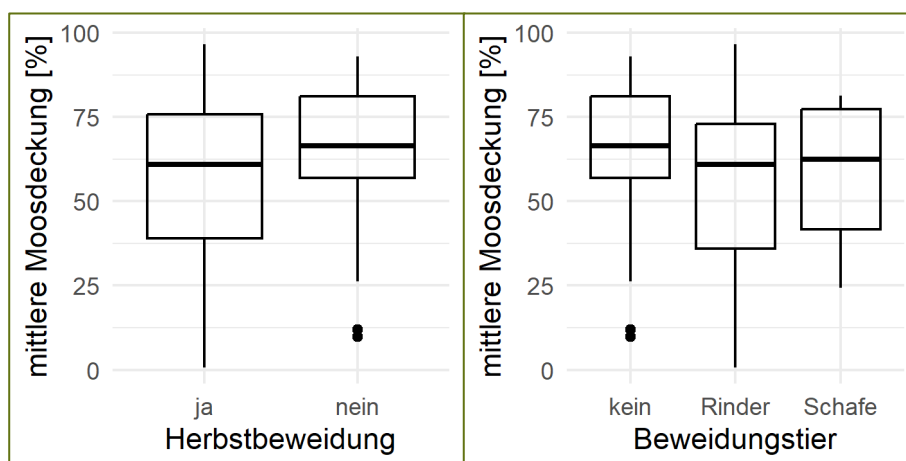


Abbildung 10. Links: Die Boxplots vergleichen beweidete und unbeweidete Flächen. Rechts: Die Boxplots zeigen die nach Gattung gruppierten Beweidungstiere. Die Kategorie «kein Beweidungstier» entspricht unbeweideten Flächen.

Die Dauer der Beweidung spannt von 1 bis 56 Tagen pro Jahr. Anhand von Abbildung 11 sind keine Trends in Bezug auf die Beweidungsdauer zu erkennen.

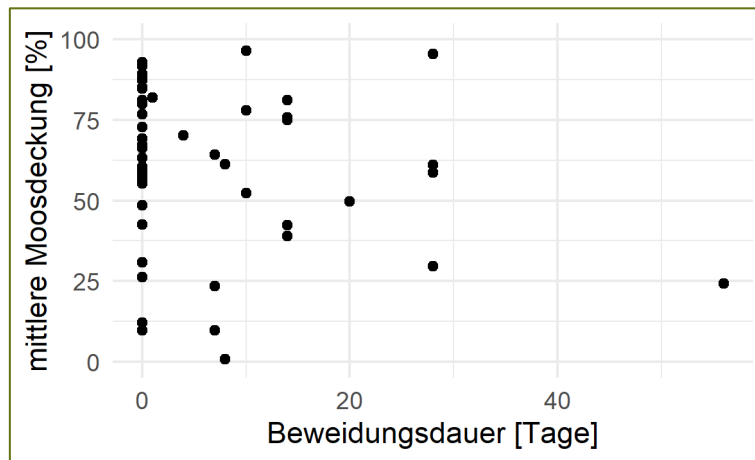


Abbildung 11. Die Beweidungsdauer wird der mittleren Moosdeckung gegenübergestellt. Der Wert 0 Tage kennzeichnet unbeweidete Flächen.

4.1.5 Schnittregime

Allgemein

Bei der Umfrage zeigte sich eine Abweichung mit den Daten von lawa. Bei Naturschutzflächen war das Schnittregime «Standard» angegeben. Aufgrund der Naturschutzaufgaben kann es jedoch zu abweichenden Regelungen kommen. So ist beispielsweise auf zwei Untersuchungsflächen, welche unter Naturschutzaufgaben stehen, eine Staffelmahd geregelt. Aufgrund dessen wurde das Schnittregime in Standard (12 Flächen), Flex (25 Flächen) und Naturschutz (14 Flächen) eingeteilt.

Abbildung 12 zeigt für das Schnittregime Standard einen tieferen Median als bei den Schnittregimen Flex und Naturschutz. Alle Flächen im Naturschutz zeigen eine mittlere Moosdeckung über 50 %.

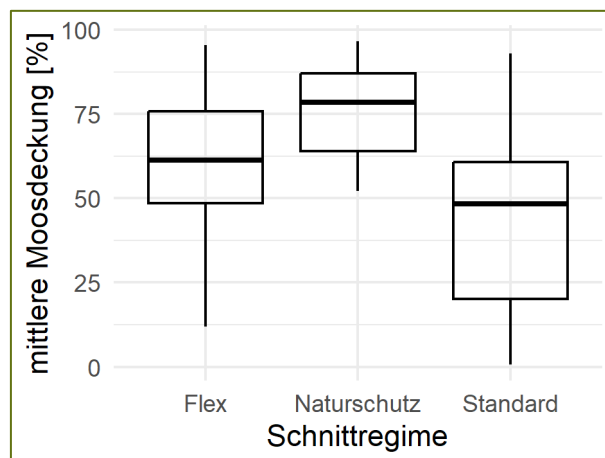


Abbildung 12. Die unterschiedlichen Schnittregime werden der mittleren Moosdeckung gegenübergestellt.

Schnittzeitpunkt

Der erste erlaubte Schnittzeitpunkt unterliegt dem entsprechendem Schnittregime. Im Gespräch mit den Bewirtschaftenden zeigte sich die Schwierigkeit, den Schnittzeitpunkt auf ein fixes Datum festzulegen. Das Wetter, damit zusammenhängend die Bodenverhältnisse und das allgemeine Wachstum des aktuellen Jahres beeinflussen den Entscheid zum Schnittzeitpunkt. In der Analyse wurde weiterführend das erste genannte Datum des üblichen Zeitraums des ersten Schnittes verwendet.

Der erste Schnittzeitpunkt der Untersuchungsflächen spannt vom ersten Juni (zwei Flächen mit Schnittregime Flex) bis ersten August (eine Fläche im Schnittregime Standard und zwei Flächen mit Naturschutzauflagen) (siehe Abbildung 13).

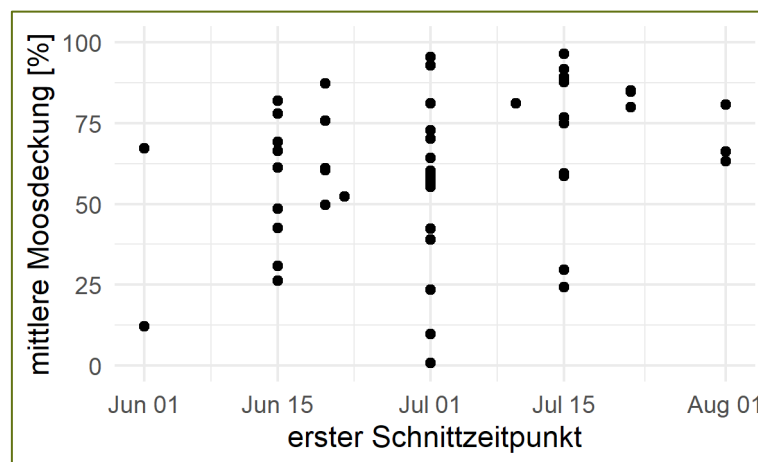


Abbildung 13. Der erste Schnittzeitpunkt wird der mittleren Moosdeckung gegenübergestellt.

Schnitthäufigkeit

Jeweils 24 Untersuchungsflächen werden einmal oder zweimal pro Jahr geschnitten. Bei drei Untersuchungsflächen wurde die Schnitthäufigkeit als «ein- bis zweimal» angegeben. Diese Datenpunkte wurden weiterführend als «einmaliger» Schnitt pro Jahr behandelt, um eine klare Gegenüberstellung von einmaligem und mehrfachem Schnitt pro Jahr im Modell zu machen.

Abbildung 14 zeigt einen höheren Median der mittleren Moosdeckung für Flächen mit einem jährlichen Schnitt im Vergleich zu Flächen mit zweifachem Schnitt.

Eine WiW mit mittlerer Moosdeckung von 9.75 % zeigt sich als Ausreisser der Flächen mit einmaligem Schnitt pro Jahr. Sie wird seit 33 Jahren wenig intensiv genutzt und gehört nicht zu den bereinigten Flächen mit «ein bis zweifachen» Schnitt.

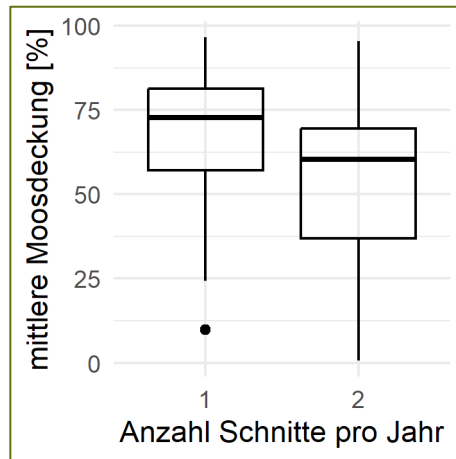


Abbildung 14. Die Boxplots vergleichen die mittlere Moosdeckung von Flächen mit einmaligem und zweifachem Schnitt.

4.1.6 Maschinenwahl

Bei der Aufnahme wurde mehrfach ausgesagt, dass die Maschinenwahl stark witterungs- und steigungsabhängig ist. Auch gab es im Gespräch Aussagen, dass die aktuelle Moosdeckung die Maschinenwahl beeinflusst, da dichte Moosteppiche im steilen Gelände durch Rutschgefahr zu erschwerten Bewirtschaftungsverhältnissen führt. In der nachfolgenden explorativen Analyse zeigt sich entsprechend, dass ab einer bestimmten Steigung schwerere Maschinen durch leichtere Maschinen oder Handarbeit ergänzt werden müssen.

Schnitt

Von den 51 Untersuchungsflächen werden 44 mit dem Balkenmäher, fünf mit dem Scheibenmäher und zwei mit beiden Maschinentypen gemäht. In Abbildung 15 zeigt sich zuerst, dass Scheibenmäher nur auf Flächen mit erhöhter Moosdeckung zum Einsatz kommen. Der Abgleich mit der Steigung zeigt jedoch deutlich, dass ab etwa 17 Grad Hangneigung nicht mehr ausschliesslich mit dem Scheibenmäher geschnitten werden kann. Balkenmäher werden sowohl in Bezug auf Moosdeckung und auf Hangneigung breit gestreut angewendet.

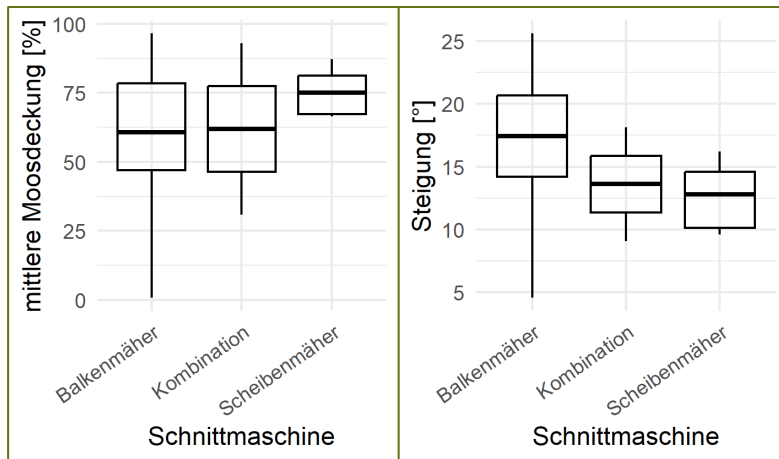


Abbildung 15. Die verwendeten Schnittmaschinen werden der mittleren Moosdeckung (links), resp. der Hangneigung (rechts) gegenübergestellt. Die Kategorie «Kombination» entspricht einer kombinierten Nutzung von Balken- und Scheibenmäher.

Abtrag

Das Schnittgut wird auf 26 Flächen mit dem Bandrechen und auf sieben Flächen von Hand zusammengenommen. Auf 17 Flächen wird das Schnittgut in Kombination mit Bandrechen und von Hand abgetragen. Auf einer Fläche kommt ein Heuschieber zum Einsatz. Abbildung 16 zeigt, dass der Einsatz des Bandrechen bei höherer Moosdeckung durch Handrechen ergänzt wird. Gleichzeitig treten bei «Kombination» und «von Hand» zwei Ausreisser mit deutlich tieferen Moosdeckungen auf. Flächen, auf denen das Schnittgut von Hand oder in Kombination abgetragen wird, weisen tendenziell höhere Hangneigungen auf als jene, bei denen rein mit Bandrechen abgetragen wird. Der Heuschieber kommt auf einer sehr steilen Fläche mit einer mittleren Moosdeckung von 50 % zum Einsatz.

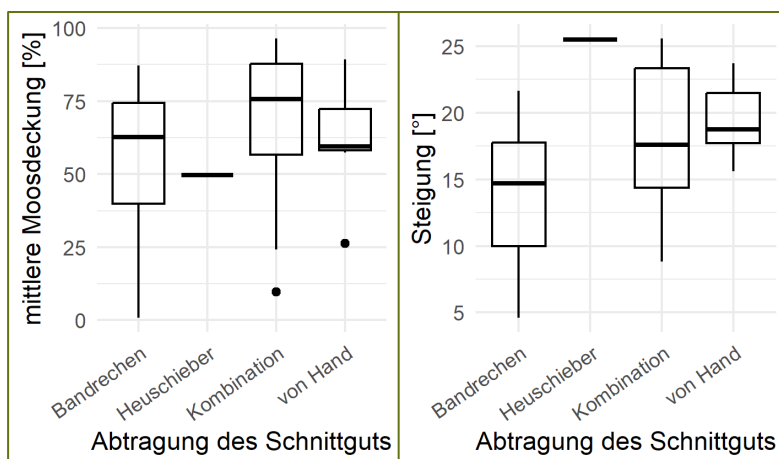


Abbildung 16. Die angewandten Maschinen und Methoden zum Abtrag des Schnittguts werden der mittleren Moosdeckung (links), resp. der Hangneigung (rechts) gegenübergestellt. Die Kategorie «Kombination» entspricht einer Nutzung des Bandrechen und zusätzlichem Rechen von Hand.

4.2 Bewirtschaftungseinfluss auf die Moosdeckung

Variablenselektion

Aufgrund möglicher wechselseitiger Abhängigkeiten zwischen Maschinenwahl und Moosdeckung (vgl. Kapitel 4.1.6) wurden die verwendeten Maschinen nicht in die statistische Modellierung aufgenommen.

Die Korrelationsmatrix der numerischen Variablen zeigte keine Multikollinearität auf (Abbildung A 5). Um den VIF anhand eines linearen Modells zu bestimmen, musste bereits eine Bereinigung der Variablen durchgeführt werden. Aufgrund von Alias-Problemen, welche auftreten, wenn erklärende Variablen linear abhängig sind oder identische Informationen enthalten (Zuur et al., 2010), mussten die Variablen Beweidung und Mist Tierart entfernt werden.

Zudem wurde die Variable Düngung aus dem Modell ausgeschlossen, da sie einen VIF von mehr als 2 erreichte (siehe Tabelle A 1). Diese moderate Kollinearität kann zu instabilen Koeffizienten und erhöhter Unsicherheit führen (Dormann et al., 2013). Ebenfalls gibt es dadurch keinen Informationsverlust, da die Variable pflanzenverfügbarer Stickstoffeintrag weiterhin Aufschluss über die Düngung gibt.

Da ungedüngte WiW im Datensatz vorkommen, gibt es keine Kollinearität zwischen dem Stickstoffeintrag und dem Kulturtypen. Aufgrund dessen wurde die Variable Kulturtyp im finalen linearen Modell belassen.

Finales Modell

Mit den ausgewählten Einflussvariablen wurde ein neues lineares Modell mit der mittleren Moosdeckung als abhängige Variable anhand der 51 Datenpunkte geschätzt. Dieses Modell (Tabelle 4) ist gesamthaft signifikant ($F_{12,38} = 3.84$, $p < 0.001$) und erklärte 40.5 % der Varianz (adjusted $R^2 = 0.405$, multiple $R^2 = 0.548$). Der Modellgütekennwert AIC beträgt 457.31.

Hoch signifikante Effekte zeigten sich für den Kulturtyp WiW, der mit einer geringeren Moosdeckung assoziiert war, sowie für das Schnittregime Flex, das einen positiven Effekt (höhere Moosdeckung im Vergleich zur Referenzkategorie Standard) aufwies. Auch die Dauer der aktuellen Bewirtschaftung und der Schnittzeitpunkt zeigten jeweils einen signifikanten positiven Zusammenhang mit der Moosdeckung. Schwächere, jedoch nicht eindeutig signifikante Effekte ($0.05 \leq p < 0.1$) wurden für das Schnittregime Naturschutz sowie für die Beweidungsdauer festgestellt.

Für den QII-Status, die zweifache Schnitthäufigkeit und die Beweidungstierart konnten keine signifikanten Unterschiede gegenüber den jeweiligen Referenzkategorien nachgewiesen werden. Ebenso zeigten die Schnitthöhe und der pflanzenverfügbare Stickstoffeintrag keinen signifikanten Einfluss auf die Moosdeckung der Flächen.

Der Intercept beschreibt den modellierten Wert der Zielvariable mittlere Moosdeckung, der sich ergibt, wenn alle numerischen Einflussvariablen den Wert 0 aufweisen und alle kategorialen Einflussvariablen die jeweilige Referenzkategorie annehmen. Da diese Kombination ökologisch nicht realistisch ist, wird der Intercept nicht inhaltlich interpretiert.

*Tabelle 4. Die Tabelle zeigt die Ergebnisse des finalen linearen Regressionsmodells mit den geschätzten Regressionskoeffizienten (Estimate), den zugehörigen Standardfehlern und p-Werten für die im Modell berücksichtigten Prädiktoren. Hoch signifikante Effekte ($p < 0.01$) sind mit **, signifikante Effekte ($0.01 \leq p < 0.05$) mit * gekennzeichnet.*

Variable	Estimate	Standardfehler	p-Wert
Intercept	- 95.536	58.642	0.112
Kulturtyp - WiW	- 20.225	6.773	** 0.005
QII - ja	0.937	6.843	0.892
Dauer der aktuellen Bewirtschaftung	0.746	0.293	* 0.015
Schnittregime - Flex	24.249	8.757	** 0.009
Schnittregime - Naturschutz	16.996	9.754	0.090
Schnittzeitpunkt	0.746	0.299	* 0.017
Schnitthäufigkeit - 2 mal	- 0.562	7.738	0.943
Schnitthöhe	- 0.658	2.302	0.777
Beweidungsdauer	- 0.731	0.395	0.072
Beweidungstier - Rinder	6.478	8.178	0.433
Beweidungstier - Schafe	9.297	12.085	0.447
pflanzenverfügbare Stickstoffeintrag	0.615	0.635	0.339

Die Residualstandardabweichung beträgt 18.9 und weist auf eine moderate, durch das Modell nicht erklärte Streuung hin. Dies entspricht einer durchschnittlichen Abweichung der vorhergesagten Werte von rund 19 Prozentpunkten Moosdeckung gegenüber den beobachteten Werten.

Die Modellresiduen wiesen eine annähernde Normalverteilung auf, mit leichten Abweichungen in den Extrembereichen (Anhang B.3 Abbildung A 7). Die Annahmen der Linearität und Homoskedastizität werden erfüllt (Anhang B.3 Abbildung A 6).

Alternative Modelle

Für das Modell wurden Interaktionsterme zwischen Schnittregime und Schnittzeitpunkt, Kulturtyp und Dauer der aktuellen Bewirtschaftung, sowie Kulturtyp und QII getestet, welche jedoch alle keine Signifikanz aufweisen (Anhang B.4). In der Datenexploration lag

der Median der Moosdeckung der nicht gedüngten WiW merklich tiefer als jener der EW und gedüngten WiW (Abbildung 9). Aufgrund fehlender Variation im Stickstoffeintrag innerhalb des Kulturtyps EW ist ein Modell mit einem Interaktionsterm zwischen Kulturtyp und verfügbarem Stickstoffeintrag nicht schätzbar. Das lineare Modell, bei dem die Variable Kulturtyp ausgeschlossen wurde (Tabelle A 5), zeigte eine tiefere erklärte Varianz (28.5 %) sowie eine Verschlechterung des AIC im Vergleich zum finalen linearen Modell.

Ein weiteres Modell wurde mit den Umweltvariablen Exposition, Steigung und Höhe erstellt (Anhang B.5). Die Einbeziehung der Umweltvariablen führte zu einer moderaten Verbesserung der Modellgüte, ohne die Richtung oder Signifikanz der zentralen Bewirtschaftungseffekte grundlegend zu verändern. Der Effekt des Schnittregimes Flex verlor im erweiterten Modell etwas an Signifikanz ($p = 0.015$), während die Beweidungsdauer nach Einbezug der Umweltvariablen einen signifikanten Effekt ($p = 0.024$) aufwies.

4.3 Wahrnehmung der Vermoosung

Von den 51 Untersuchungsflächen wurden 25 Flächen durch deren Bewirtschaftende als «vermoost» eingestuft. Als häufigster vermuteter Grund für die Vermoosung wurde eine fehlende Düngung respektive Mistgabe genannt (18 Nennungen). Vereinzelt Begründete begründeten diese Annahme durch Vergleiche zwischen ihren gedüngten und ungedüngten Flächen. Bei acht Flächen wird der Standort, wie beispielsweise eine schattige Lage oder Vernässung, als möglicher Grund erwähnt. Mehrfachnennungen sind möglich.

Mithilfe des Bootstrapping wurde der Schwellenwert für die Einschätzung einer Fläche als «vermoost» auf 63 % mittlere Moosdeckung geschätzt. Das heisst, dass ab 63 % mittlerer Moosdeckung eine 50 % Wahrscheinlichkeit besteht, dass Bewirtschaftende die Fläche als «vermoost» bezeichnen. Das damit verbundene 95%-Konfidenzintervall weist eine Spannweite von 43 % bis 79 % mittlerer Moosdeckung auf.

Die bootstrap-basierten Wahrscheinlichkeiten über die gesamte Bandbreite der Moosdeckung kann der Abbildung 17 entnommen werden.

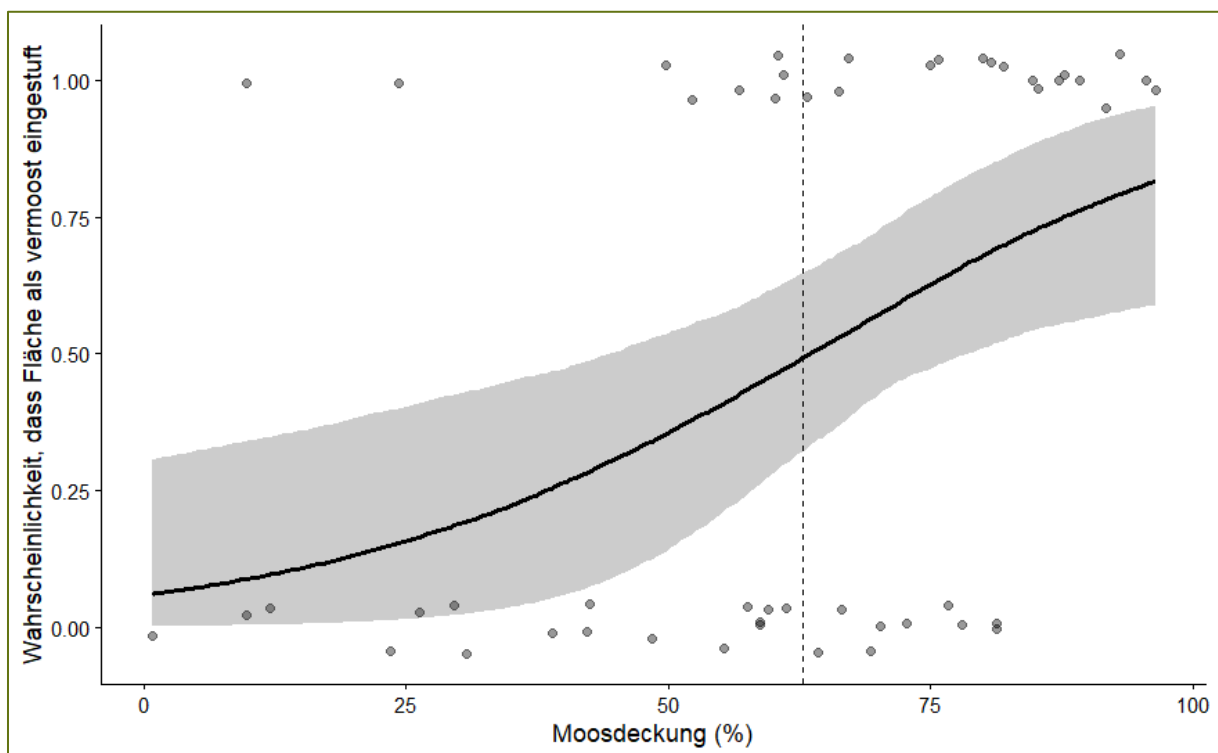


Abbildung 17. Die durchgezogene Linie zeigt den Median der bootstrap-basierten Wahrscheinlichkeiten. Im schattierten Band liegen die mittleren 95 % der bootstrap-basierten Wahrscheinlichkeiten. Die Punkte repräsentieren die effektiv erhobenen Einschätzungen der Untersuchungsflächen.

5 Diskussion

In dieser Arbeit wurden der Bewirtschaftungseinfluss auf die Moosdeckung sowie die Wahrnehmung von Vermoosung mithilfe unterschiedlicher statistischer Ansätze untersucht. Die folgenden Abschnitte ordnen die zentralen Ergebnisse ein und diskutieren sie im Kontext bestehender Literatur.

5.1 Bewirtschaftungseinfluss auf die Moosdeckung

Der Bewirtschaftungseinfluss auf die Moosdeckung wird im Folgenden anhand des finalen linearen Modells diskutiert. Zunächst werden die Wahl und Eignung des Modells bewertet. Anschliessend werden die Ergebnisse des Modells herangezogen, um die Fragen 1 bis 3 systematisch zu beantworten.

5.1.1 Bewertung des linearen Modells

Die Auswahl der Variablen anhand der Prüfung auf Multikollinearität und des Informationsgehalts erwies sich als geeignet, um redundante Einflussvariablen zu reduzieren und eine stabile Modellschätzung zu ermöglichen. Die Alias-Probleme der Variablen vor der Selektion waren aufgrund der bereits erwähnten Informationsredundanzen (Kapitel 2.2) zu erwarten. Durch die gezielte Variablenselektion konnte die Kollinearität aufgelöst werden. Die verbleibenden Einflussvariablen erlauben eine sinnvolle und statistisch belastbare Beantwortung der Forschungsfragen 1 bis 3.

Das finale Modell liefert robuste und verlässliche Schätzwerte, da die zugrunde liegenden Modellannahmen weitgehend erfüllt sind und keine starken Abweichungen von der Normalverteilung der Residuen festgestellt wurden. Simulationsergebnisse von Knief und Forstmeier (2021) zeigen, dass lineare Modelle gegenüber moderaten Abweichungen von der Normalverteilungsannahme der Residuen robust sind und Parameterschätzer sowie p-Werte in solchen Fällen als zuverlässig gelten. Dies stützt die Interpretation der im finalen Modell identifizierten Effekte.

Die Ergebnisse der alternativen linearen Modelle stärken zusätzlich das gewählte finale Modell. Die geprüften Interaktionsterme waren nicht signifikant und lieferten keine Hinweise auf relevante kombinierte Effekte der entsprechenden Bewirtschaftungsvariablen. Ein Ausschluss der Variable Kulturtyp führte hingegen zu einer geringeren erklärten Varianz sowie zu einem schlechteren AIC-Wert, was auf einen Informationsverlust durch die vereinfachte Modellstruktur hinweist. Der Kulturtyp stellt somit eine zentrale erklärende Variable dar und ist für die angemessene Beschreibung der Moosdeckung erforderlich.

Insgesamt weisen diese Ergebnisse darauf hin, dass das finale lineare Modell eine geeignete Modellgüte aufweist. Die Resultate des finalen linearen Modells können daher als robuste Grundlage zur Beantwortung der Forschungsfragen zum Bewirtschaftungseinfluss auf die Moosdeckung herangezogen werden.

5.1.2 Interpretation der Bewirtschaftungseffekte

Frage 1: Steigt die Moosdeckung der Flächen mit der Dauer der extensiven Bewirtschaftung an?

Bereits in der explorativen Datenanalyse zeigte sich in Abbildung 7 ein positiver Trend zwischen Moosdeckung und Dauer der extensiven Bewirtschaftung. In der statistischen Modellierung kann ein signifikanter Effekt der Dauer der aktuellen Bewirtschaftung auf die Moosdeckung nachgewiesen werden. Dabei ist zu beachten, dass es sich hier um die Dauer der aktuellen Bewirtschaftungsform, also extensiver sowie auch wenig intensiver Nutzung, handelt. Mit fortschreitender Dauer sagt das Modell eine Zunahme der Moosdeckung von 0.75 Prozentpunkten pro zusätzliches Jahr voraus. Die steigende Moosdeckung über die Dauer der nicht-intensiven Bewirtschaftung ist plausibel, da es in der Literatur unterstützt wird und statistisch signifikant ist.

Die Beobachtung einer Moosdeckungszunahme im Laufe einer nicht-intensiven Landnutzung ist in Einklang mit der Literatur. Dies betrifft sowohl den Vergleich mit einer intensiv genutzten Fläche (Bohner et al., 2006) als auch mit einer ungenutzten Fläche (Hájková et al., 2009). Die vorliegende Arbeit ergänzt diese beiden Studien durch die Betrachtung von längerfristigen, nicht-intensiven Bewirtschaftungen.

Die Effektgrösse der Bewirtschaftungsdauer von + 0.75 Prozentpunkten pro Jahr auf die Moosdeckung erscheint gering, kann jedoch über längere Bewirtschaftungszeiträume zu bemerkbaren Veränderungen der Vegetationsstruktur führen. Soweit bekannt, fehlen bislang quantitative Angaben zur Zunahme der Moosdeckung über eine kontinuierliche Bewirtschaftung, einschliesslich einer belegten linearen Zunahme. Es gilt zu beachten, dass in der vorliegenden Arbeit Momentaufnahmen statt echter Zeitreihen erfasst wurden, sodass der modellierte lineare Zusammenhang die zeitliche Dynamik der Moosdeckung nur vereinfacht abbildet. Die modellierte Zunahme ist daher als mittlerer Effekt über den im Datensatz abgedeckten Zeitraum zu interpretieren und erlaubt keine Aussagen über mögliche Sättigungseffekte oder nichtlineare Verläufe der Moosdeckung bei längerer Bewirtschaftungsdauer.

Die Mooszunahme über die Dauer der extensiven Bewirtschaftung lässt sich mit der verminderten Konkurrenzkraft der Gefässpflanzen infolge der reduzierten Nährstoffverfügbarkeit erklären (Jaszczuk et al., 2022). Der im Modell berechnete Effekt gilt jedoch für beide Kulturtypen, EW und WiW. Eine mögliche Erklärung für die Mooszunahme über die Dauer der Bewirtschaftung könnte in einer hohen

Managementstabilität liegen. Eine über mehrere Jahre gleichbleibende Nutzung kann für Moose positiv sein. So berichten Janišová et al. (2022), dass eine langfristige konstante Bewirtschaftung den Moosartenreichtum fördert. In der vorliegenden Arbeit wurden jedoch die Moosarten nicht erfasst, sodass nur eine Zunahme der Moosdeckung über die Dauer der gleichbleibenden Bewirtschaftung nachgewiesen werden kann. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob die beobachtete Zunahme der Moosdeckung auf den Untersuchungsflächen mit einer gleichzeitigen Zunahme der Moosarten einherging.

Somit kann Frage 1 abschliessend bestätigt werden. In der UBE steigt die Moosdeckung mit der Dauer der extensiven Bewirtschaftung, sowie auch mit der Dauer der wenig intensiven Bewirtschaftung.

Frage 2: Wie beeinflusst die Düngung und Beweidung die Moosdeckung?

Entgegen der ursprünglichen Erwartung konnten weder die explorative Datenanalyse (Kapitel 4.1.3) noch die statistische Modellierung (Tabelle 4) generelle Unterschiede in der Moosdeckung von gedüngten und ungedüngten Flächen aufzeigen. Die Boxplots von Flächen mit und ohne Mistgabe (Abbildung 8) zeigten vergleichbare Verteilungen der Moosdeckung, wobei die tiefste Moosdeckung (0.75 %) auf einer Fläche ohne Mistgabe gemessen wurde.

Der im Modell fehlende Effekt des Stickstoffeintrags steht zunächst im Widerspruch zur Annahme, dass erhöhte Stickstoffeinträge die Moosdeckung senken. Die bei Reinert (2024) im Untersuchungsgebiet am häufigsten nachgewiesene Moosart *Rhytidiadelphus squarrosus* zeigte bei Arróniz-Crespo et al. (2008) deutliche negative Reaktionen auf erhöhte Stickstoffeinträge. Da im Rahmen dieser Arbeit die Moosarten nicht erfasst wurden, kann das Vorkommen weniger stickstoffempfindliche Arten auf den Untersuchungsflächen nicht ausgeschlossen werden.

Neben artspezifischen Unterschieden könnten auch übergeordnete Einflüsse dazu beitragen, dass sich die Effekte der direkten Düngung im Modell nicht nachweisen lassen. Dass die Düngung keinen grossen Unterschied macht, könnte auf eine bereits hohe Stickstoffverfügbarkeit zurückzuführen sein. Langfristige Beobachtungen zeigen, dass sich die Stickstoffkonzentrationen in der Schweiz im betrachteten Zeitraum (1995–2015) nicht verringert haben, sondern teilweise sogar angestiegen sind. Dies könnte darauf hinweisen, dass Stickstoff infolge atmosphärischer Einträge bereits in übermässigem Mass verfügbar ist (BAFU, 2018). Dies deutet darauf hin, dass atmosphärische Stickstoffeinträge einen relevanten Nährstoffeintrag darstellen könnten, welcher den Einfluss zusätzlicher, betrieblich ausgebrachter Düngung überlagert. Unter solchen Bedingungen ist es plausibel, dass Unterschiede zwischen gedüngten und ungedüngten Flächen in Bezug auf die Moosdeckung nur noch gering ausfallen oder statistisch nicht nachweisbar sind.

Der Vergleich der Kulturtypen EW und WiW wurde ursprünglich vorgenommen, um den Einfluss der Düngung auf die Moosdeckung zu prüfen. Die Auswertung zeigte jedoch einen signifikanten Effekt des Kulturtypen, der nicht auf die Unterschiede im Stickstoffeintrag zurückzuführen ist. Das lineare Modell zeigt einen signifikanten Effekt des Kulturtyps WiW und prognostiziert eine im Mittel um rund 20 Prozentpunkte geringere Moosdeckung der WiW im Vergleich zu den EW. In linearen Modellen werden Effekte grundsätzlich *ceteris paribus* geschätzt. Das heisst, dass der Effekt einer Variable geschätzt wird, während die übrigen Einflussvariablen konstant gehalten werden. Die Referenzkategorie des Kulturtyps ist EW, welche immer ungedüngt sind, womit der Unterschied zwischen den Kulturtypen ohne Stickstoffeintrag (pflanzenverfügbarer Stickstoffeintrag = 0) geschätzt wird. Für diesen Vergleich stehen im Datensatz sieben ungedüngte WiW den 29 EW gegenüber, weshalb die Interpretation dieses Effekts mit entsprechender Vorsicht erfolgen muss. Dennoch erscheint der Unterschied zwischen den Kulturtypen auch in der explorativen Betrachtung. In Abbildung 9 liegt der Median der Moosdeckung von ungedüngten WiW deutlich tiefer als die Mediane der EW und gedüngten WiW. Für die ungedüngten WiW konnten keine offensichtlichen gemeinsamen Standortmerkmale anhand der Umweltvariablen (rote Datenpunkte in Anhang B.1) identifiziert werden. Diese sieben Flächen sind zudem über den gesamten Untersuchungsperimeter der UBE verteilt.

Die vorliegende Stichprobe war nicht darauf ausgelegt, Unterschiede innerhalb der Bewirtschaftungsform WiW, insbesondere zwischen gedüngten und ungedüngten Flächen, statistisch robust zu untersuchen. Aufgrund dessen können keine belastbaren Schlussfolgerungen zum Effekt des Stickstoffeintrags innerhalb von WiW gezogen werden. Die Frage nach systematischen Unterschieden in der Reaktion auf Düngung zwischen den beiden Kulturtypen bleibt damit offen.

Auch die Beweidung zeigt im finalen linearen Modell ein ähnliches Bild ohne signifikante Effekte auf die Moosdeckung. Die Beweidungsdauer erscheint im linearen Modell zuerst nicht signifikant. Durch den Einschluss von Umweltvariablen (Anhang B.5) wurde ein signifikanter Einfluss festgestellt, wobei das Modell eine Abnahme der Moosdeckung um 0.97 Prozentpunkte pro zusätzlichem Beweidungstag voraussagt. Dies deutet darauf hin, dass Umweltfaktoren den Einfluss der Beweidung teilweise überlagern und der Effekt der Beweidungsdauer erst nach deren statistischer Kontrolle sichtbar wird.

Im Vergleich von unterschiedlich bewirtschafteten Wiesen in Deutschland konnten Boch et al. (2018b) einen signifikanten Einfluss der Düngung sowie auch der Weidetierart (Schafe versus Rinder und Pferde) auf die Moosdeckung nachweisen. Gemähte Schafweiden zeigen grösstenteils eine höhere Moosdeckung als gemähte Rinder- und Pferdeweiden. Dabei ist zu beachten, dass sich die Unterschiede zwischen den Beweidungstierarten auch aufgrund der Weideintensität ergeben könnten. Bei diesen untersuchten Flächen werden die Schafweiden traditionell weniger intensiv beweidet, während die Rinder- und Pferdeweiden permanent beweidet werden. Damit

könnte die tiefere Moosdeckung von Rinder- und Pferdeweiden ebenfalls mit der Beweidungsdauer einhergehen. Genaue Angaben zur Beweidungsdauer wurden in der genannten Studie jedoch nicht explizit berücksichtigt.

Ein Vergleich von Schweizer Streuwiesen und Feuchtweiden durch Bergamini et al. (2001) zeigte ebenfalls eine tiefere Moosdeckung in beweideten statt gemähten Flächen. Gleichzeitig beobachteten sie eine Zunahme der Moosartenvielfalt unter Beweidung, die sie als Folge einer erhöhten Umweltheterogenität durch Tritt, Kotablagerungen und selektiven Frass interpretierten. Dies verdeutlicht, dass Beweidung zwar die absolute Moosdeckung reduzieren kann, gleichzeitig aber potentiell die Etablierung unterschiedlicher Arten von Moosen begünstigt.

Einen unterschiedlichen Einfluss auf die Moosdeckung durch die beweidende Tierart konnte in der vorliegenden Analyse nicht nachgewiesen werden. Im vorliegenden Datensatz weist die Intensität (im Sinne der Dauer) der Beweidung einen stärkeren Zusammenhang mit der Moosdeckung auf als die beweidende Tierart. Dies legt nahe, dass insbesondere die Störungseffekte durch Tritte für die Moosdeckung relevant sind, während Unterschiede im Nährstoffeintrag oder Fressverhalten der Tiere als mögliche Wirkmechanismen weniger dominant erscheinen.

Zusammenfassend kann Frage 2 damit beantwortet werden, dass für die Düngung kein einfacher, direkter Zusammenhang mit der Moosdeckung der Untersuchungsflächen nachgewiesen werden konnte. Bei der Beweidung zeigt sich, dass eine längere Beweidungsdauer mit einer Abnahme der Moosdeckung einhergeht. Dieser Effekt ist jedoch nur unter Einschluss der Umweltvariablen Exposition, Steigung und Höhe nachweisbar.

Frage 3: Welchen Einfluss hat das Schnittregime (Flex / Standard, Schnittzeitpunkt, Schnitthöhe) auf die Moosdeckung?

Der Einfluss des Schnittregime Naturschutz ist nicht signifikant, wies in der Datenexploration jedoch den höchsten Median der Moosdeckung auf. Die erhöhte Moosdeckung von Naturschutzflächen könnte auf standörtliche Gegebenheiten, wie beispielsweise vernässte Bereiche, zurückzuführen sein, da die Objekte der Naturschutzinventare im UBE-Perimeter mehrheitlich Moorflächen umfassen.

Das Schnittregime Flex, bei welchem der erste Schnittzeitpunkt frei gewählt werden darf, zeigte einen sehr signifikanten Einfluss auf die Moosdeckung. Im Vergleich zum Schnittregime Standard schätzt das Modell eine im Mittel um 24.25 Prozentpunkte höhere Moosdeckung. Einen signifikanten Einfluss zeigte auch der Schnittzeitpunkt: Pro Tag Verzögerung des ersten Schnittes nimmt die Moosdeckung im Mittel um 0.75 Prozentpunkte zu. Auf den ersten Blick scheinen die Ergebnisse zum Schnittregime Flex und dem Schnittzeitpunkt widersprüchlich, da die meisten Bewirtschaftenden im Flex-Regime einen Schnitt vor oder am 1. Juli (regulärer Schnittzeitpunkt der Bergzone I und

II) wählen. Der Schnittregimeeffekt im Modell ist aber wieder als ein *ceteris paribus* Vergleich, also bei identischem Schnittzeitpunkt und gleicher Nutzung, zu verstehen. Ein lineares Modell mit Interaktion zwischen Schnittregime und Schnittzeitpunkt zeigte keinen signifikanten Interaktionseffekt (Anhang B.4 Tabelle A 2), sodass der Einfluss des Schnittzeitpunktes ein genereller Trend darstellt, welcher nicht spezifisch an ein Schnittregime gebunden ist.

Für den beobachteten positiven Zusammenhang zwischen späterem Schnitt und Moosdeckung finden sich in der vorhandenen Literatur bislang keine eindeutigen Belege. Van Klink et al. (2017) wiesen keine Auswirkungen auf die Moosvielfalt beim Vergleich unterschiedlicher Schnittregime auf Schweizer Wiesen nach. Eine Metaanalyse zum verspäteten ersten Schnitt durch Humbert et al. (2012) zeigte zwar eine höhere Pflanzenvielfalt bei der Verlegung des ersten Schnittes von Frühling auf Sommer, erwähnte jedoch keine spezifischen Auswirkungen auf Moose.

Die Zunahme der Moosdeckung bei späterem Schnitt könnte auf die längere ungestörte Vegetationsperiode zurückzuführen sein. Experimentelle Arbeiten von Gornall et al. (2011) weisen darauf hin, dass eine längere Zeit ohne Störung die Ausbildung dickerer Mooschichten begünstigen kann.

Zudem ist im Allgemeinen anzunehmen, dass Moose artspezifisch unterschiedlich auf Schnittregime reagieren, insbesondere hinsichtlich ihrer Schnittempfindlichkeit und Regenerationsfähigkeit. Da in der vorliegenden Arbeit keine Erfassung der Moosarten erfolgte, konnte nicht geprüft werden, ob der beobachtete Zusammenhang zwischen Schnitt und Moosdeckung auf artspezifische Reaktionen zurückzuführen ist.

Ein zweifacher Schnitt zeigt in den vorliegenden Daten keinen signifikanten Unterschied der Moosdeckung im Vergleich zum einfachen Schnitt. Der erwartete Unterschied der Streubiomasse und dem damit einhergehenden Einfluss auf die Moosdeckung durch unterschiedliche Schnitthäufigkeiten kann somit nicht bestätigt werden. Die Schnitthöhe zeigt ebenfalls keinen signifikanten Einfluss auf die Moosdeckung.

Die Moosdeckungen der untersuchten Flächen reagieren nachweislich stärker auf den Zeitpunkt als auf die Häufigkeit und Höhe des Schnittes.

5.2 Wahrnehmung der Vermoosung

Frage 4: Wie nehmen die Bewirtschaftenden die Vermoosung und deren Ursachen wahr?

Die Bewirtschaftenden nehmen eine Vermoosung vermehrt ab 63 % Moosdeckung wahr. Das breite Konfidenzintervall zeigt jedoch auch hier, wie subjektiv diese Einschätzung ist. Der ausgewiesene Schwellenwert kann als erhöhte Moosdeckung bezeichnet werden, da er in den gängigen Vegetationsklassierungen der zweithöchsten Deckungsklasse entspricht (Braun-Blanquet, 1964; Wilmanns, 1989).

Einen Vergleich zwischen der eingestuften Vermoosung und den Auswirkungen auf Gefässpflanzen ist nicht möglich. Konkrete Schwellenwerte oder eindeutig definierte Bereiche der Moosdeckung, ab denen negative Effekte auf die Gefässpflanzen zuverlässig auftreten, sind in der vorhandenen Literatur nicht ausgewiesen.

In der Befragung der Bewirtschaftenden wurde die Annahme einer erhöhten Moosdeckung infolge fehlender Düngung am häufigsten genannt. Diese Auffassung war unter den untersuchten Flächen weit verbreitet und wurde für 18 der 25 Flächen genannt. In der vorliegenden Arbeit konnte jedoch kein genereller Zusammenhang zwischen Düngung und Moosdeckung nachgewiesen werden (vgl. Kapitel 5.1.2 Frage 2). Die von einzelnen Bewirtschaftenden beschriebenen flächenspezifischen Beobachtungen konnten im Rahmen dieser Arbeit nicht nachgewiesen werden.

Die verbreitete Annahme, dass eine fehlende Düngung eine erhöhte Moosdeckung begünstigt, entspricht teilweise auch allgemeinen fachlichen Einschätzungen in der landwirtschaftlichen Praxis (vgl. Galler, 2020) und wird in der Literatur wiederholt aufgegriffen (Boch et al., 2018b; Jaszczuk et al., 2023). Vor diesem Hintergrund ist nachvollziehbar, dass eine ausbleibende Düngung von Bewirtschaftenden als zentrale Ursache für eine zunehmende Moosdeckung genannt wird, auch wenn sich dieser Zusammenhang in der vorliegenden Untersuchung nicht bestätigen liess.

Darüber hinaus könnte diese Wahrnehmung durch einen impliziten Vergleich mit früheren Bewirtschaftungszuständen geprägt sein. Vor der Intensivierung und der nachfolgenden Einführung extensiv genutzter Wiesen und dem damit verbundenen Düngungsverbot waren beispielsweise blütenreiche Fromentalwiesen weit verbreitet. Diese wurden traditionell nur leicht gedüngt, wiesen jedoch eine hohe Artenvielfalt und eine dichte, konkurrenzstarke Grasnarbe auf (Bosshard, 2020). Es ist daher denkbar, dass heutige extensiv bewirtschaftete Flächen mit diesen früheren Zuständen verglichen werden und eine erhöhte Moosdeckung als Abweichung von einem als «intakt» wahrgenommenen Zustand interpretiert wird.

Die zweithäufigste genannte Begründung, standörtliche Gegebenheiten der Flächen, wird hingegen durch die Ergebnisse von Reinert (2024) gestützt.

Insgesamt wird deutlich, dass die Wahrnehmung von Vermoosung von praxisbezogenen Annahmen und eventuell historischen Referenzzuständen geprägt ist. Die weit verbreitete Annahme zu deren Ursache wurde in der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt. Dies unterstreicht die Bedeutung eines kontinuierlichen Austauschs zwischen Bewirtschaftenden, Beratung und Forschung, um Wahrnehmungen und empirische Erkenntnisse besser miteinander zu verknüpfen.

5.3 Methodenkritik

Die im Rahmen der Arbeit angewendeten Methoden werden in diesem Kapitel kritisch reflektiert. Dabei werden zentrale Entscheidungen zur Auswahl der Untersuchungsflächen, zur Datenerhebung sowie zur Datenauswertung hinsichtlich ihrer Angemessenheit und Limitationen diskutiert. Ziel ist es, die Aussagekraft der Resultate transparent einzuordnen und potenzielle Einschränkungen nachvollziehbar darzustellen.

5.3.1 Auswahl der Untersuchungsflächen

Insgesamt wäre ein grösserer Datensatz wünschenswert gewesen. Im Verlauf der Arbeit reduzierte sich die Anzahl der verfügbaren Untersuchungsflächen trotz eingeplanter Reserven stärker als erwartet, unter anderem da die Bewirtschaftenden von elf Flächen für die Umfrage nicht erreicht wurden. Der verbleibende Datensatz von 51 Untersuchungsflächen ist als eher knapp einzustufen. Zudem war die Stichprobe nicht darauf ausgelegt, unterschiedliche Effekte der Düngung innerhalb der Kulturtypen differenziert zu untersuchen. Die Analyse zielte gemäss Forschungsfrage 2 auf den generellen Einfluss der Düngung ab. Für die Prüfung des Bewirtschaftungseinflusses im Rahmen der formulierten Forschungsfragen ist die Stichprobengrösse im Verhältnis zur Modellkomplexität dennoch als ausreichend einzustufen.

Die Eingrenzung der Umwelteinflüsse wurde durch die Auswahl der Untersuchungsflächen weitgehend erreicht. Die Einbeziehung von Umweltvariablen im linearen Modell führte lediglich zu einer moderaten Verbesserung der Modellgüte und veränderte die zentralen Bewirtschaftungseffekte nur geringfügig (Anhang B.5). Dies deutet darauf hin, dass die Umweltbedingungen im Untersuchungsgebiet ausreichend eng gefasst waren, sodass der Einfluss der Bewirtschaftung weitgehend unabhängig von den Umweltgradienten analysiert werden konnte.

Der Prozess der Flächenauswahl in *ArcGIS Pro* weist Verbesserungspotential auf. Während der Feldmessungen zeigte sich, dass die Vorausscheidung von Mulden durch das Tool *Geomorphon Landforms* in *ArcGIS Pro* (Esri, 2024a) die Bedingungen im Feld nicht vollständig abbildete. Eine optimierte Parametrisierung des Analysetools hätte vermutlich zu einer realistischeren Abbildung der Feldbedingungen geführt.

5.3.2 Datenerhebung

Feldmessung

Die Erhebung der Moosdeckung mithilfe einer Punkt-Frequenz-Methode nach Goodall (1951) ermöglichte ein standardisiertes Vorgehen, welches Beobachter-Bias

bestmöglich vermeidet. Wie in Kapitel 1.3 beschrieben, wurde die Angemessenheit dieser Aufnahmemethode bereits in der Literatur diskutiert und bestätigt (Elzinga et al., 2001; Bonham, 2013; Kent, 2012). Da es sich um eine punktuelle Erfassung handelt und Moose heterogen verteilt sind, kann es zu Abweichungen zwischen den erhobenen Messwerten und der tatsächlichen Flächendeckung kommen. Durch die zufällige Platzierung der Untersuchungspunkte und die Verwendung von Mittelwerten wurde versucht, diesen Effekt zu minimieren.

Umfrage

Im Verlauf der Telefonbefragungen zeigte sich, dass einzelne Aspekte der Bewirtschaftung differenzierter hätten erhoben werden können. Erst nach mehreren Gesprächen wurde ersichtlich, bei welchen Punkten zusätzliche Informationen sinnvoll gewesen wären. Beispielsweise wäre es aufschlussreich gewesen, neben der Beweidungsdauer auch die Anzahl weidender Tiere zu erfassen, um die Beweidungsintensität genauer quantifizieren zu können. Diese Erkenntnis unterstreicht jedoch zugleich den Mehrwert der telefonischen Umfrage. Die persönlichen Gespräche ermöglichten einen Austausch, durch den betriebliche Zusammenhänge besser eingeordnet werden konnten.

Weiter ist zu berücksichtigen, dass die gegebenen Antworten überwiegend auf den subjektiven Einschätzungen der Bewirtschaftenden basieren. Die Erfahrungswerte tragen wesentlich zur Einordnung der Bewirtschaftungspraktiken bei, können jedoch insbesondere bei numerischen Variablen mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sein.

5.3.3 Datenauswertung

Bewirtschaftungseinfluss

Für die statistische Modellierung des Bewirtschaftungseinflusses auf die Moosdeckung wurden verschiedene Vorgehensweisen geprüft und kritisch beleuchtet.

Auf den Einsatz eines gemischten linearen Modells mit «Betrieb» als zufälligen Effekt wurde verzichtet. In der vorliegenden Stichprobe bewirtschaftet ein Grossteil der Betriebe (34) lediglich eine einzelne Fläche. Dadurch wäre der zufällige Effekt «Betrieb» statistisch kaum sinnvoll abbildbar gewesen und hätte keinen zusätzlichen Erkenntnisgewinn gebracht.

Aufgrund der räumlichen Nähe einzelner Flächen wäre grundsätzlich auch die Berücksichtigung räumlicher Strukturen (z. B. regionale Clustering-Effekte) denkbar gewesen. Dies hätte es ermöglicht zu prüfen, ob sich Flächen in bestimmten Regionen systematisch ähnlicher verhalten als andere. Aus Gründen der Datenstruktur und Stichprobengrösse wurde darauf verzichtet. Stattdessen wurden Umweltvariablen

(Exposition, Steigung und Höhe) ergänzend in ein zusätzliches lineares Modell einbezogen, um mögliche standortsbedingte Unterschiede zu berücksichtigen.

Auf ein Train-Test- oder Cross-Validation-Vorgehen wurde bewusst verzichtet, da die Stichprobe relativ klein ist und eine Aufteilung der Daten in Trainings- und Validierungsdatensatz die Aussagekraft der Ergebnisse weiter reduziert hätte. Der Schwerpunkt der Analyse liegt somit nicht auf Prognoseleistung, sondern auf der inferenzstatistischen Bewertung der Einflussfaktoren.

Vergleichbar dazu wurde auf eine modellbasierte Variablenselektion (z. B. mittels LASSO oder stepwise AIC) bewusst verzichtet. Die Variablenauswahl erfolgte auf Grundlage der Forschungsfragen sowie inhaltlicher Überlegungen, weshalb die gewählten Einflussvariablen unabhängig von ihrer statistischen Signifikanz verblieben, um deren Effekte interpretieren zu können.

Wahrnehmung der Vermoosung

Eine Einschränkung des Vorgehens betrifft die Erfassung der Einstufung als Vermoosung. Aussagen wie «teils vermoost» oder «an gewissen Stellen» wurden als «Vermoosung» bewertet. Dadurch wurden Abstufungen in der subjektiven Wahrnehmung nicht berücksichtigt und Unterscheidungen zwischen flächendeckender und punktueller Vermoosung gingen verloren. Alternative Vorgehensweisen mit einer ordinal skalierten Erfassung hätten diese Abstufungen abbilden können.

Weiter ist die Definition des Schwellenwertes zu beachten. Der gewählte Schwellenwert bei einer 50 % Wahrscheinlichkeit stellt eine pragmatische und gut interpretierbare Referenz dar, ist jedoch nicht zwingend ökologisch oder wahrnehmungspsychologisch begründet. Die Betrachtung alternativer Wahrscheinlichkeitswerte als Schwellenwert wäre deshalb auch möglich.

Insgesamt erlaubt der gewählte Ansatz trotz dieser Einschränkungen eine konsistente und nachvollziehbare Quantifizierung des Zusammenhangs zwischen objektiv erfasster Moosdeckung und subjektiver Einstufung der Vermoosung.

6 Schlussfolgerung

In der UNESCO Biosphäre Entlebuch zeigen sich unter vergleichbaren Standortbedingungen unterschiedliche Wirkungen von Bewirtschaftungsstrategien auf die Moosdeckung extensiv und wenig intensiv genutzter Wiesen. Die Moosdeckung der Flächen nimmt mit zunehmender Dauer der aktuellen Bewirtschaftungsform sowohl auf EW als auch auf WiW zu.

Für den pflanzenverfügbaren Stickstoffeintrag pro Hektare und Jahr konnte kein direkter Einfluss auf die Moosdeckung nachgewiesen werden. Ein Effekt der Beweidung zeigte sich erst nach Einbezug der Umweltvariablen im Modell, wobei eine längere Beweidungsdauer mit einer reduzierten Moosdeckung verbunden war. Für die beweidende Tiergattung (Rinder oder Schafe) ergaben sich hingegen keine Unterschiede.

Relevante Einflussfaktoren zeigen sich beim Schnitt: Das Schnittregime Flex sowie ein späterer erster Schnittzeitpunkt führen zu einer erhöhten Moosdeckung, während Schnitthäufigkeit und Schnitthöhe keinen nachweisbaren Effekt aufweisen. Für die Bewirtschaftung ergibt sich daraus, dass Anpassungen des Schnittzeitpunktes eine wirksame Möglichkeit darstellen, die Moosdeckung zu beeinflussen.

Der Kulturtyp WiW weist insgesamt eine signifikant geringere Moosdeckung als EW auf. Dieser Unterschied lässt sich jedoch nicht durch die Düngung erklären, sondern ergibt sich aus dem Vergleich von EW mit sieben ungedüngten WiW, die einen tieferen Median der mittleren Moosdeckung aufweisen als sowohl EW als auch gedüngte WiW. Da der vorliegende Datensatz nicht darauf ausgelegt war, systematische Unterschiede zwischen gedüngten und ungedüngten WiW zu untersuchen, konnte diese Frage im Rahmen der Arbeit nicht abschliessend geklärt werden.

Die Ergebnisse gelten primär für EW und WiW unter vergleichbaren Standortbedingungen in der UBE, da die Analyse bewusst auf einen räumlich und ökologisch eingeschränkten Untersuchungsraum fokussiert war.

In Bezug auf die Wahrnehmung der Vermoosung zeigt sich, dass Bewirtschaftende eine Vermoosung vor allem bei einer hohen Moosdeckung vermehrt wahrnehmen, die Einschätzung mit erheblicher subjektiver Unsicherheit verbunden ist. Als häufigste Ursache wird eine fehlende Düngung der Flächen genannt, was in den vorliegenden Daten nicht belegt werden kann. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, empirische Erkenntnisse und Praxiserfahrungen enger zu verknüpfen.

Insgesamt leistet diese Arbeit einen Beitrag zum Verständnis der Rolle von Bewirtschaftungsstrategien für die Entwicklung der Moosdeckung und zeigt auf, dass sowohl ökologische Prozesse als auch Wahrnehmungen der Bewirtschaftenden in einer integrierten Betrachtung berücksichtigt werden müssen.

Zukünftige Forschungsansätze

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen mehrere Ansatzpunkte für zukünftige Forschung. Da keine Erfassung der Moosarten erfolgte, könnten weiterführende Untersuchungen die Artzusammensetzung berücksichtigen, um artspezifische Reaktionen auf die Bewirtschaftung zu untersuchen.

Ein unerwarteter Befund dieser Arbeit betrifft die geringere Moosdeckung ungedüngter WiW im Vergleich zu EW und gedüngten WiW. Aufgrund der Datenstruktur konnte nicht geprüft werden, ob es sich dabei um einen zufälligen Effekt oder um systematische Unterschiede handelt. Zukünftige Untersuchungen sollten daher gezielt Unterschiede zwischen gedüngten und ungedüngten WiW analysieren und prüfen, ob die Wirkung der Düngung je Kulturtyp variiert. In diesem Zusammenhang wäre auch zu untersuchen, welche betrieblichen oder standortbezogenen Gründe dazu führen, dass auf einzelnen WiW trotz erlaubter Düngung kein Mist ausgebracht wird.

Darüber hinaus bieten sich experimentelle Ansätze an, um die in dieser Arbeit identifizierten Bewirtschaftungseffekte gezielt zu prüfen. Versuchsflächen mit unterschiedlichen Schnittzeitpunkten könnten Aufschluss darüber geben, inwiefern Anpassungen des Termins geeignet sind, um die Moosdeckung gezielt zu beeinflussen.

Auch der vergleichsweise geringe Einfluss der Beweidung auf die Moosdeckung sollte in zukünftigen Studien differenzierter untersucht werden. Dabei erscheint es insbesondere relevant, die Rolle von Standortbedingungen für die Ausprägung von Beweidungseffekten genauer zu analysieren. In diesem Kontext sind die laufenden Untersuchungen zur Frühweidenutzung von besonderem Interesse, da sie das Potential zur Förderung stabiler Pflanzenbestände und der Biodiversität prüfen.

Die vorliegende Arbeit konnte verschiedene Bewirtschaftungseffekte auf die Moosdeckung aufweisen, ohne jedoch die zu grunde liegenden Wirkungsmechanismen im Detail abzubilden. Um diese Mechanismen künftig besser zu verstehen, sollten weiterführende Untersuchungen zusätzliche Parameter berücksichtigen, wie beispielsweise Streubiomasse, Gefässpflanzenbiomasse, Licht- und Temperaturverhältnisse in Bodennähe. Eine solche Erweiterung der Variablen würde es ermöglichen, die beobachteten Effekte kausal besser einzuordnen.

Danksagung

Der gesamte Prozess der Erarbeitung der vorliegenden Arbeit war sehr lehrreich und spannend. Mit der Thematik und der zentralen Fragestellung dieser Arbeit bin ich bereits während meines Praktikums bei einem kantonalen Naturschutzamt sowie durch persönliche Gespräche mit Landwirt:innen in Kontakt gekommen. Deshalb hat es mich besonders gefreut, die Gelegenheit zu erhalten, mich diesem Thema im Rahmen dieser Master-Arbeit zu widmen.

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Arbeit unterstützt und begleitet haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Referenten Florian Knaus für die fachliche Unterstützung, die wertvollen Anregungen sowie die konstruktive Kritik, welche wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Ebenso bedanke ich mich bei Judith Stalder für ihre Tätigkeit als Korreferentin. Die UNESCO Biosphäre Entlebuch hat dieses spannende Thema ausgeschrieben und unterstützte die Arbeit durch die Bereitstellung der notwendigen Hilfsmittel, wie beispielsweise das Feldtablet.

Für die Bereitstellung der Daten sowie die entgegengebrachte Hilfsbereitschaft bedanke ich mich bei Carol Federer und der Dienststelle lawa.

Dem BBZN Berufsbildungszentrum Natur und Ernährung Schüpfheim danke ich, insbesondere Michael Felder, für die Bereitstellung der Unterkunft.

Ein besonderer Dank gilt zudem Nadine Reinert, die ihre Master-Arbeit im Jahr 2024 geschrieben hat und damit eine wichtige Grundlage für die vorliegende Arbeit geschaffen hat. Zudem stellte sie mir ihren sorgfältig gebauten Untersuchungsrahmen zur Verfügung und stand mir während der gesamten Arbeit hilfsbereit zur Seite.

Bei allen Bewirtschaftenden, die sich zur Teilnahme bereit erklärt haben, bedanke ich mich herzlich. Besonders den Landwirten, die mich zu den schwer zugänglichen Flächen begleiteten, danke ich für ihre freundliche Unterstützung.

Leo Zinn danke ich für die ausserordentlich hilfreichen Tipps zur Verbesserung der Struktur und Verständlichkeit des Textes. Ebenfalls bedanke ich mich herzlich bei Lukas Jung für das abschliessende Korrekturlesen.

Abschliessend bedanke ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden für ihre Geduld, ihre Ermutigung und ihre Unterstützung während des gesamten Studiums und insbesondere in den intensiven Phasen der Master-Arbeit.

Literaturverzeichnis

- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716–723. <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>
- Arróniz-Crespo, M., Leake, J. R., Horton, P. & Phoenix, G. K. (2008). Bryophyte physiological responses to, and recovery from, long-term nitrogen deposition and phosphorus fertilisation in acidic grassland. *New Phytologist*, 178(4), S. 864–874. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02617.x>
- Baer, U. (2010). Nährstoffgehalte in Gülle und Mist. Kanton Glarus. Abgerufen am 3. Januar 2026, von https://www.gl.ch/public/upload/assets/2700/-Naehrstoffgehalte_in_Guelle_und_Mist.pdf
- Barth, S. (2021, 9. Juni). Biodiversitätsbeiträge in der Landwirtschaft lassen die Wiesen hungern. *BauernZeitung*. <https://www.bauernzeitung.ch/artikel/pflanzen/-biodiversitaetsbeitraege-in-der-landwirtschaft-lassen-die-wiesen-hungern-351884>
- Bergamini, A., Peintinger, M., Schmid, B. & Urmi, E. (2001). Effects of management and altitude on bryophyte species diversity and composition in montane calcareous fens. *Flora*, 196(3), 180–193. [https://doi.org/10.1016/S0367-2530\(17\)30040-3](https://doi.org/10.1016/S0367-2530(17)30040-3)
- Billeter, R., Peintinger, M. & Diemer, M. (2007). Restoration of montane fen meadows by mowing remains possible after 4–35 years of abandonment. *Botanica Helvetica*, 117(1), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s00035-007-0743-9>
- Boch, S., Allan, E., Humbert, J., Kurtogullari, Y., Lessard-Therrien, M., Müller, J., Prati, D., Rieder, N. S., Arlettaz, R. & Fischer, M. (2018a). Direct and indirect effects of land use on bryophytes in grasslands. *Science of the Total Environment*, 644, 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.323>
- Boch, S., Müller, J., Prati, D. & Fischer, M. (2018b). Low-intensity management promotes bryophyte diversity in grasslands. *Tuexenia* 38: 311–328. <https://doi.org/10.14471/2018.38.014>
- Bohner, A., Öhlinger, R. & Tomanova, O. (2006). Effects of grassland management and abandonment on vegetation, soil, microbial biomass and forage quality. *Die Bodenkultur: Austrian Journal of Agricultural Research*, 57(1), 33–45.
- Bonham, C. D. (2013). *Measurements for terrestrial vegetation* (Online ed.). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118534540>
- Bosshard, A. (2019). *Das Naturwiesland der Schweiz und Mitteleuropas: Mit besonderer Berücksichtigung der Fromentalwiesen und des standortgemässen Futterbaus* (Bristol-Schriftenreihe, Band 50) [E-Book]. Haupt Verlag.

-
- Braun-Blanquet, J. (1964). *Pflanzensoziologie: Grundzüge der Vegetationskunde* (3. Aufl.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-8110-2>
- Bühler, C. & Birrer, S. (2024). Begünstigt eine Vornutzung die Artenvielfalt?. Artikel zur laufenden Studie. *N+L Inside* (3/24).
- Bundesamt für Landestopografie swisstopo. (2024). *swissALTI3D: Digitales Höhenmodell der Schweiz* [Geodaten]. <https://www.swisstopo.admin.ch/de/-hoehenmodell-swissalti3d#swissALTI3D---Download>
- Bundesamt für Landwirtschaft BLW. (2025). *Biodiversitätsbeiträge*. BLW – Bundesamt für Landwirtschaft. <https://www.blw.admin.ch/de/biodiversitaetsbeitraege>
- Bundesamt für Umwelt BAFU. (2018). *Deposition von Luftschadstoffen in der Schweiz: Moosanalysen 1990–2015* (Umwelt-Zustand Nr. 1818). Bundesamt für Umwelt. <https://www.bafu.admin.ch>
- Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., García Márquez, J. R., Gruber, B., Lafourcade, B., Leitão, P. J., Münkemüller, T., McClean, C. J., Osborne, P. E., Reineking, B., Schröder, B., Skidmore, A. K., Zurell, D. & Lautenbach, S. (2013). Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36(1), 27–46. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>
- Efron, B. & Tibshirani, R. J. (1993). *An Introduction to the Bootstrap*. Chapman & Hall.
- Elzinga, C. L., Salzer, D. W. & Willoughby, J. W. (2001). *Monitoring Plant and Animal Populations*. Blackwell Science.
- Esri. (2024a). *ArcGIS Pro* (Version 3.3.2) [Computer Software]. Environmental Systems Research Institute. <https://www.esri.com/arcgis-pro>
- Esri. (2024b). *ArcGIS Field Maps* [Mobile App]. Environmental Systems Research Institute. <https://www.esri.com/field-maps>
- Esri. (2025). *ArcGIS Online* [Cloud-basierte GIS-Plattform]. Environmental Systems Research Institute. <https://www.arcgis.com>
- ETH Zürich. (2024). *Generative KI in Lehre und Lernen: Richtlinien*. Abgerufen am 20. Dezember 2025, von https://ethz.ch/content/dam/ethz/main/eth-zurich/education/ai_in_education/Generative%20AI%20in%20Teaching%20and%20Learning%20-%20Guidelines%20ETH.pdf
- Flisch, R., Sinaj, S., Charles, R. & Richner, W. (2009). Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau 2009 (GRUDAF). *Agrarforschung*, 16(2), 1–101. Agroscope.

-
- Fox, J. & Monette, G. (1992). Generalized collinearity diagnostics. *Journal of the American Statistical Association*, 87(417), 178–183.
<https://doi.org/10.1080/01621459.1992.10475190>
- Fox, J. & Weisberg, S. (2019). *An R Companion to Applied Regression*, Third edition. Sage, Thousand Oaks CA. <https://www.john-fox.ca/Companion/>.
- Galler, J. (2020, 3. September). Mit Moos nix los: So saniert man vermooste Flächen. *Landwirtschaftskammer Salzburg*. <https://sbg.lko.at/mit-moos-nix-los-so-saniert-man-vermooste-fl%C3%A4chen+2400+3252431>
- Goodall, D. W. (1951). Some considerations in the use of point quadrats for the analysis of vegetation. *Australian Journal of Scientific Research, Series B*, 4, 1–41.
- Gornall, J. L., Woodin, S. J., Jónsdóttir, I. S. & van der Wal, R. (2011). Balancing positive and negative plant interactions: How mosses structure vascular plant communities. *Oecologia*, 166(3), 769–782. <https://doi.org/10.1007/s00442-011-1911-6>
- Guntern, J. (2016). Eutrophierung und Biodiversität. Auswirkungen und mögliche Stossrichtungen für Massnahmen im Kanton Zürich. Fachstelle Naturschutz Kanton Zürich, Zürich.
- Hájková P. & Hájek M. (2003): Species richness and above-ground biomass of poor and calcareous spring fens in the flysch West Carpathians and their relationships to water and soil chemistry. *Preslia*, 75: 271–287.
- Hájková, P., Hájek, M. & Kintrová, K. (2009). How can we effectively restore species richness and natural composition of a Molinia-invaded fen? *Journal of Applied Ecology*, 46(2), 417–425. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01608.x>
- Hanson, G., Elsässer, M., & Martin, W. (1998). Unkrautproblematik extensiver Bergweiden im Südschwarzwald. 4. *Alpländisches Expertenforum*, S. 9-14.
- Hertel, E. (2007). *Ohne Moos nix los – Moose im Ökologisch-Botanischen Garten der Universität Bayreuth*. Universität Bayreuth. <https://epub.uni-bayreuth.de/2722/>
- Humbert, J., Pellet, J., Buri, P. & Arlettaz, R. (2012). Does delaying the first mowing date benefit biodiversity in meadowland? *Environmental Evidence*, 1(1), 9.
<https://doi.org/10.1186/2047-2382-1-9>
- Janišová, M., Širka, P., Palpurina, S., Magnes, M., Kuzemko, A., Dembiczy, I. & Kozub, Ł. (2022). Determinants of bryophyte assemblages in traditionally managed grasslands of the Carpathian Mts. *Applied Vegetation Science*, 25(2).
<https://doi.org/10.1111/avsc.12654>

-
- Jasiewicz, J. & Stepinski, T. (2013). Geomorphons - a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. *Geomorphology Volume 182*, January 15, pp. 147–56. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.005>
- Jaszczuk, I., Kotowski, W., Kozub, Ł., Kreyling, J. & Jabłońska, E. (2023). Physiological responses of fen mosses along a nitrogen gradient point to competition restricting their fundamental niches. *Oikos*, *132*(2), e09336. <https://doi.org/10.1111/oik.09336>
- Kent, M. (2012). *Vegetation Description and Data Analysis*. Wiley-Blackwell.
- Knief, U. & Forstmeier, W. (2021). Violating the normality assumption may be the lesser of two evils. *Behavior research methods*, *53*(6), 2576–2590. <https://doi.org/10.3758/s13428-021-01587-5>
- Kutner, M.H., Nachtsheim, C.J., Neter, J. & Li, W. (2005) *Applied Linear Statistical Models*. 5th Edition, McGraw-Hill, Irwin, New York.
- McCullagh, P. & Nelder, J. A. (1989). *Generalized Linear Models* (2nd ed.). Chapman & Hall. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-3242-6>
- Meier, E. S., Lüscher, G. & Knop, E. (2023). Disentangling direct and indirect drivers of farmland biodiversity at landscape scale. *Ecology Letters*, *26*(5), 871–884. <https://doi.org/10.1111/ele.14104>
- Peintinger, M. & Bergamini, A. (2006). Community structure and diversity of bryophytes and vascular plants in abandoned fen meadows. *Plant Ecology*, *185*(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s11258-005-9079-y>
- Posit Software, PBC (2025). *RStudio: Integrated Development Environment for R*. [Computer Software]. <https://posit.co/>.
- R Core Team (2025). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Reinert, N. (2024). *Analyse der Vermoosung auf Biodiversitätsförderflächen und Naturschutzflächen in der UNESCO Biosphäre Entlebuch*. (unveröffentlichte Masterarbeit). ETH Zürich, Zürich.
- Riedel, S., Lüscher, G., Meier, E., Herzog, F. & Hofer, G. (2019). Ökologische Qualität von Wiesen, die mit Biodiversitätsbeiträgen gefördert werden. *Agrarforschung Schweiz*, *10*(2), 80–87.
- Schüpbach, U. (2002). *Ein Lebensraum im Spannungsfeld von Schutzgedanke und Nutzung* (Diplomarbeit). Philosophisch-naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Bern.

-
- Schweizerische Eidgenossenschaft. (2026). *Verordnung über die Direktzahlungen an die Landwirtschaft (Direktzahlungsverordnung, DZV), SR 910.13 — Anhang 4 (Stand am 1. Januar 2026)*. Bern: Bundesrecht.
- Søndergaard, S. A., Ejrnæs, R., Svenning, J.-C. & Fløjgaard, C. (2025). From Grasslands to Forblands: Year-round grazing as a driver of plant diversity. *Journal of Applied Ecology*, 00, 1–10. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.70047>
- van Klink, R., Boch, S., Buri, P., Rieder, N. S., Humbert, J.-Y. & Arlettaz, R. (2017). No detrimental effects of delayed mowing or uncut grass refuges on plant and bryophyte community structure and phytomass production in low-intensity hay meadows. *Basic and Applied Ecology*, 20, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2017.02.003>
- Wei, T. & Simko, V. (2024). *R package 'corrplot': Visualization of a Correlation Matrix*. (Version 0.95), <https://github.com/taiyun/corrplot>.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag. ISBN 978-3-319-24277-4, <https://ggplot2.tidyverse.org>.
- Wickham, H., François, R., Henry, L., Müller, K. & Vaughan, D. (2023). *dplyr: A grammar of data manipulation* (R package version 1.1.4). R Foundation for Statistical Computing. <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>
- Wilmanns, O. (1989). *Ökologische Pflanzensoziologie* (4., überarb. Aufl.). Quelle & Meyer.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A. & Smith, G. M. (2010). *Mixed effects models and extensions in ecology with R (Use R!)*. Springer.

Anhang

Anhang A Methoden

Anhang A.1 Datenverarbeitung in ArcGIS Pro

Von lawa wurde ein Geodatenatz zu den EW und WiW der UBE zur Verfügung gestellt. Die Flächenperimeter wurden als Shapefile übermittelt, während die Angaben zu den jeweiligen Bewirtschaftenden sowie die zugehörigen Bewirtschaftungsinformationen in einer separaten Excel-Datei bereitgestellt wurden. Deshalb wurden zur Selektion notwendige Informationen über das Tool *Join Field* zu den Flächenperimeter hinzugefügt. Mithilfe *Buffer* wurden 10 m des Randbereichs von den Flächen entfernt. Die Bergzonen I und II waren als «LZCODE» 51 resp. 52 codiert und dementsprechend ausgewählt.

Das digitale Höhenmodell swissALTI3D mit einer räumlichen Auflösung von zwei Meter wurde über das Bundesamt für Landestopografie swisstopo (2024) bezogen. Für den gesamten UBE-Perimeter wurden die erforderlichen TIFF-Kacheln von der Website heruntergeladen und in *ArcGIS Pro* (Esri, 2024a) mit dem Tool *Mosaic to New Raster* zum durchgehenden Raster DEM2019 verarbeitet. Basierend auf diesem Raster wurden die Exposition (Aspect) und Steigung (Slope) berechnet.

Die Selektion der relevanten Wertebereiche der beiden Raster *Slope_DEM2019* und *Aspect_DEM2019* wurden anhand des Tools *Reclassify* durchgeführt. Dabei wurden nur die gewünschten Wertebereiche beibehalten, während alle übrigen Klassen als *NoData* definiert wurden. Dadurch entsteht ein Raster, das ausschliesslich jene Flächen enthält, welche die zuvor definierten Hangneigungs- bzw. Expositions-kriterien erfüllen.

Die Rasterdaten wurden zu Vektordaten umgewandelt (*Raster to Polygon*) und anschliessend anhand des Tools *Clip* mit den bearbeiteten Flächenperimetern verschnitten. So bleiben nur Teilflächen erhalten, welche die vordefinierten Kriterien erfüllen.

Das beschriebene Verarbeitungsvorgehen wurde in *ArcGIS Pro ModelBuilder* umgesetzt (siehe Abbildung A 1). Die einzelnen Verarbeitungsschritte wurden dabei als automatisierter Prozessablauf modelliert und auf die relevanten Datensätze angewendet.

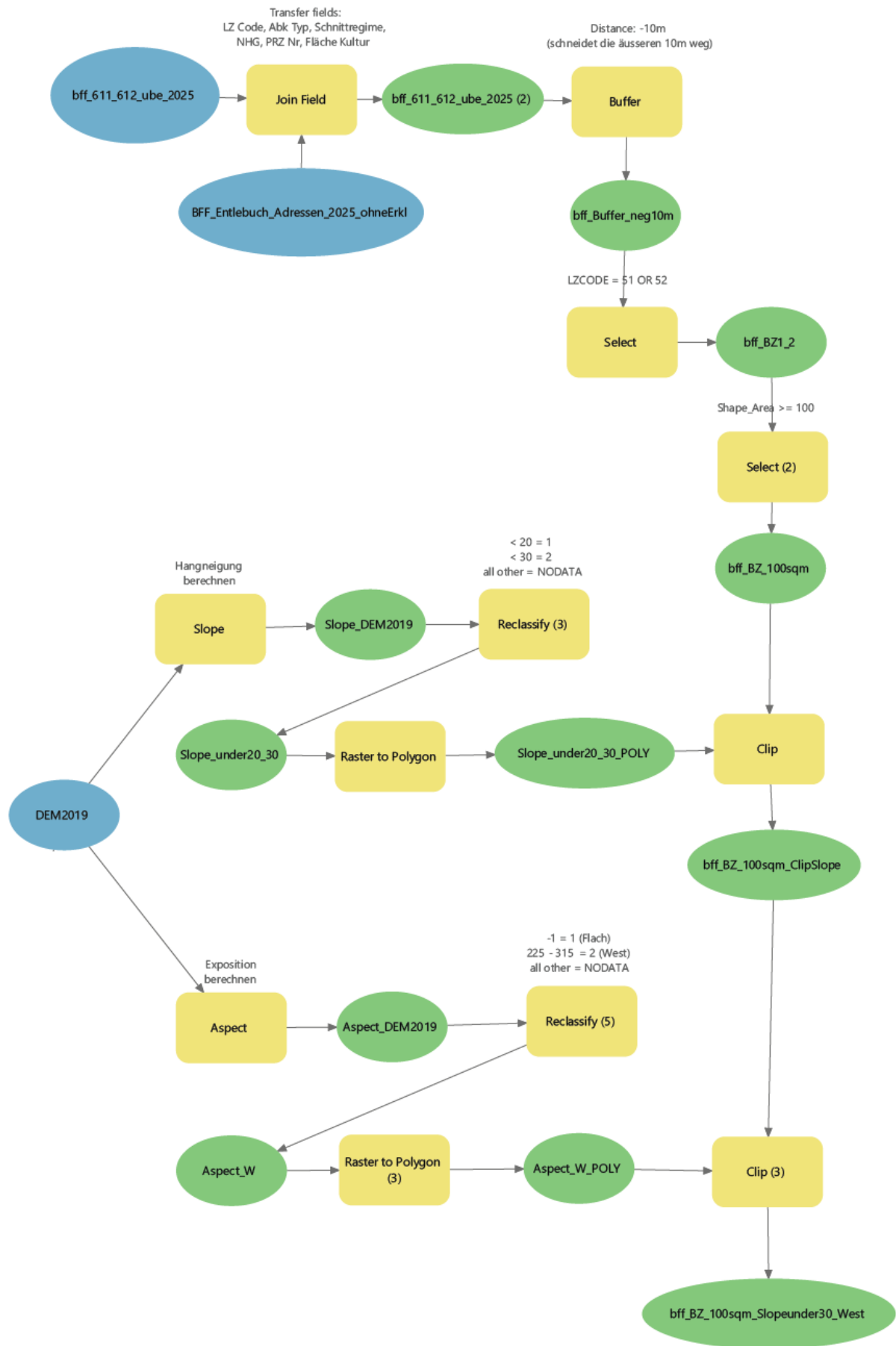


Abbildung A 1. Das Vorgehen zur Flächenauswahl wurde im ModelBuilder skizziert.

Damit die Untersuchungspunkte nicht in Mulden zu liegen kommen, wurde die Geomorphologie der potentiellen Untersuchungsflächen berechnet. Das Tool *Geomorphon Landforms* berechnet das geomorphologische Muster eines Rasters anhand Höhenunterschiede und klassifiziert diese Muster in zehn Landformtypen (Jasiewicz & Stepiski, 2013). Nach Anwendung dieses Tools auf das Raster DEM2019 wurde anhand *Reclassify* die vertieften Landformtypen «Pit», «Valley» und «Hollow» zu «no data» umgewandelt, um diese Flächenbereiche zu entfernen.

Das resultierende Raster wurde wiederum in Vektordaten umgewandelt und mit der vorherigen Flächenvorauswahl verschnitten.

Anhang A.2 Fragebogen

Geo-ID	Flurname Parzellen-Nr.		
1	Seit wann wird diese Fläche extensiv / wenig intensiv genutzt?		
	[Jahren], davor ...		
2	Wann wird die Fläche normalerweise geschnitten? Schnittzeitpunkt:		
3	Wie oft wird die Fläche geschnitten?		
4	Beweiden / wie lange beweiden Sie die Fläche im Herbst?		
	JA / NEIN	[Wochen]	[Tierart]
5	Düngen Sie die Fläche?		
	JA / NEIN	Mist / Gülle, [Tierart]	wie oft / Menge?
6	Mit welcher Schnitthöhe schneiden Sie die Fläche?		
	Mit welcher Maschine?		
	[cm]	[Maschine]	
7	Wie nehmen Sie das Schnittgut zusammen?		
8	Besteht auf Ihrer Fläche ein Problem mit Vermoosung?		
	JA / NEIN		
	Falls JA: woran liegt das Ihrer Auffassung nach?		
	Wie kommen Sie zu dieser Auffassung? Begründung für diese Auffassung?		
	Seit wir extensiv oder wenig intensiv bewirtschaften / Seit wir weniger düngen / Schnittregime / Herbstbeweidung / schon immer so / _____		
9	Haben Sie schon Massnahmen gegen das Moos ausprobiert?		
	Haben Sie gewisse Beobachtungen gemacht?		
	Vertikutieren / ...		

Anhang B Resultate

Anhang B.1 Umweltvariablen

Die Scatterplots zeigen den Zusammenhang zwischen der Moosdeckung und den Umweltvariablen Höhe über Meer, Steigung und Exposition. Die Umweltvariablen wurden jeweils über die gesamte Untersuchungsfläche gemittelt. Ungedüngte WiW sind rot hervorgehoben, um eine separate Betrachtung dieser Datenpunkte innerhalb der Umweltgradienten zu ermöglichen.

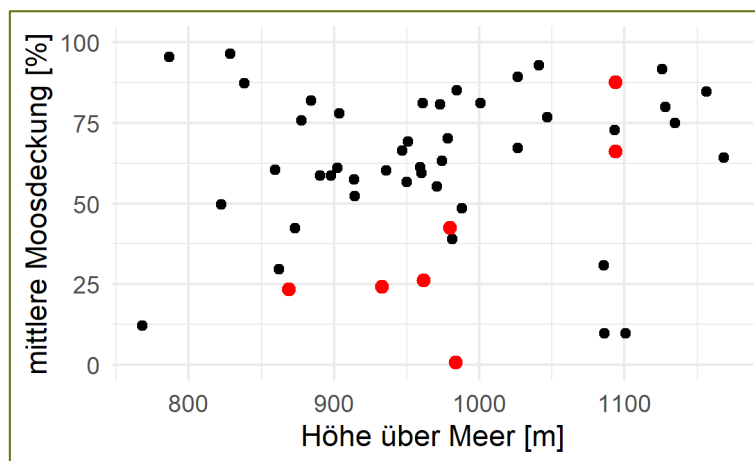


Abbildung A 2. Die mittlere Höhe der Fläche wird der jeweiligen mittleren Moosdeckung gegenübergestellt. Ungedüngte WiW sind rot hervorgehoben.

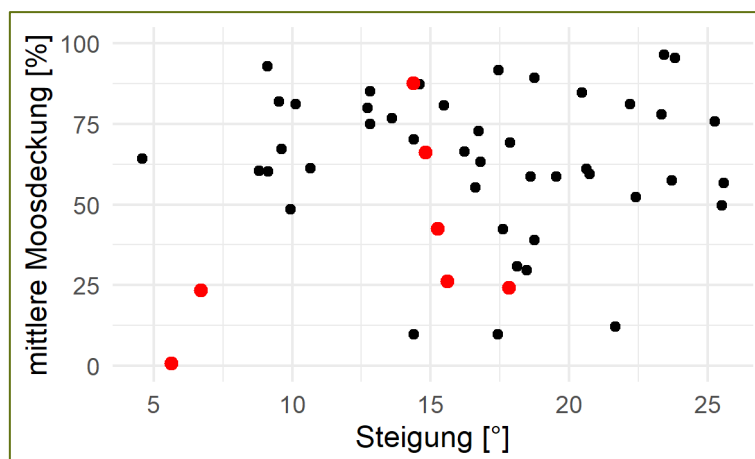


Abbildung A 3. Die mittlere Steigung der Fläche wird der jeweiligen mittleren Moosdeckung gegenübergestellt. Ungedüngte WiW sind rot hervorgehoben.

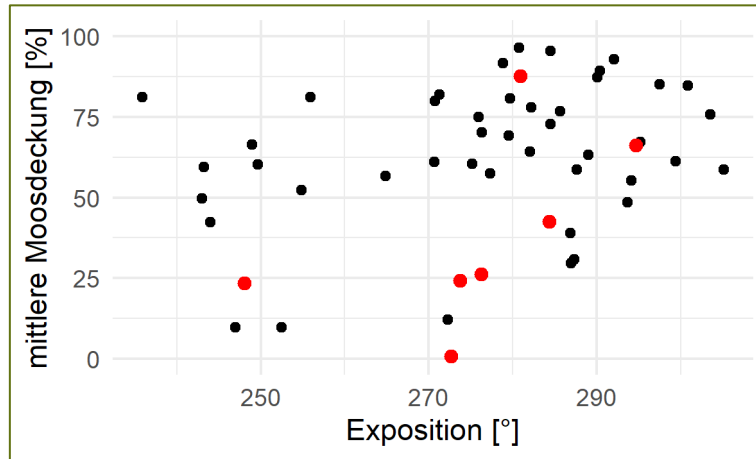


Abbildung A 4. Die mittlere Exposition der Fläche wird der jeweiligen mittleren Moosdeckung gegenübergestellt. Ungedüngte WiW sind rot hervorgehoben.

Anhang B.2 Multikollinearität

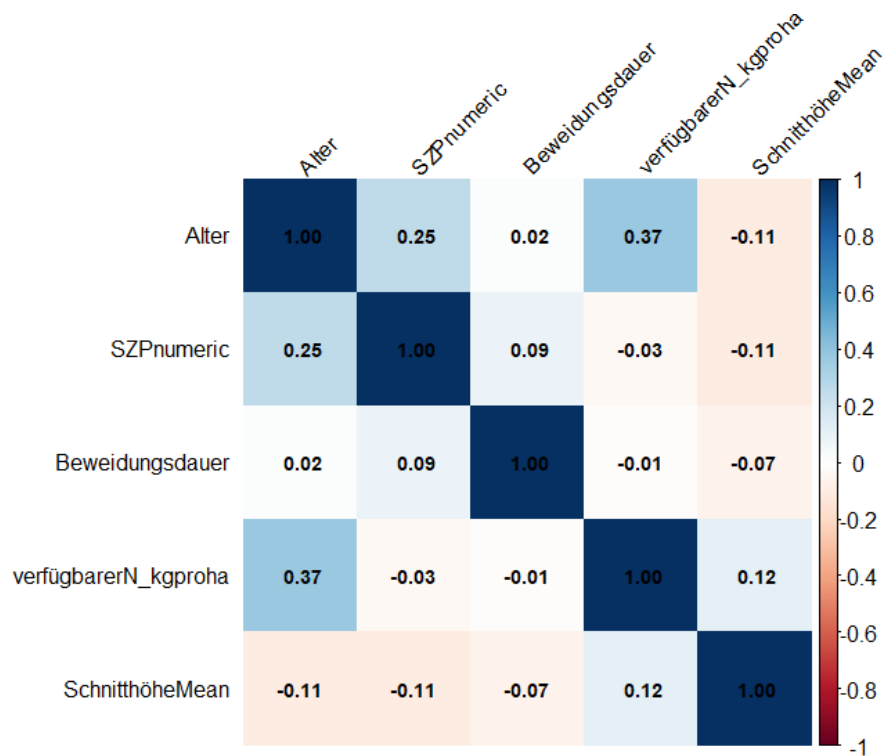


Abbildung A 5. Die numerischen Variablen Dauer der aktuellen Bewirtschaftung (Alter), Schnittzeitpunkt (SZPnumeric), Beweidungsdauer, pflanzenverfügbarer Stickstoffeintrag (verfügbarerN_kgproha) und Schnitthöhe (SchnitthöheMean) wurden anhand corrplot() auf ihre Kollinearität getestet. Da die absoluten Werte 0.5 nicht übersteigen, sind keine erhöhte Abhängigkeiten zu erkennen.

Tabelle A 1. Die Ergebnisse aus der Multikollinearitätsprüfung anhand des VIF zeigen nur für die Düngung einen erhöhten Wert (>2). Der adjustierte VIF entspricht $GVIF^{1/(2 \cdot Df)}$ nach Fox & Monette (1992).

Variable	Freiheitsgrade (Df)	Adjustierter VIF
Kulturtyp	1	1.52
QII	1	1.13
Dauer der Bewirtschaftung	1	1.26
Schnittregime	2	1.38
Schnittzeitpunkt	1	1.67
Schnitthäufigkeit	1	1.47
Schnitthöhe	1	1.19
Beweidungsdauer	1	1.65
Beweidungstier	2	1.32
Düngung	1	2.05
Pflanzenverfügbarer Stickstoffeintrag	1	1.82

Anhang B.3 Residuenplots des linearen Modells

Die LOESS-Linie («Locally Estimated Scatterplot Smoothing», rote Linie in Abbildung A 6) verläuft über weite Bereiche nahe bei null. Im Bereich hoher Vorhersagewerte («fitted values») zeigt sich eine leichte Absenkung. Es bestehen jedoch keine starken Hinweise auf eine Verletzung der Linearitätsannahme.

Die Punktwolke zeigt eine relativ gleichmässige Streuung ohne ausgeprägte Trichter- oder Fächer-Muster. Beobachtungen 1, 5, und 15 zeigen sich als potentielle Ausreisser. Die Annahme der Homoskedastizität erscheint jedoch weitgehend erfüllt.

Die Beobachtung 1 zeigte sich bereits als Ausreisser im Boxplot zur Schnitthäufigkeit (Abbildung 14). Die Beobachtungen 5 und 15 zeigten in der Datenexploration keine Auffälligkeiten.

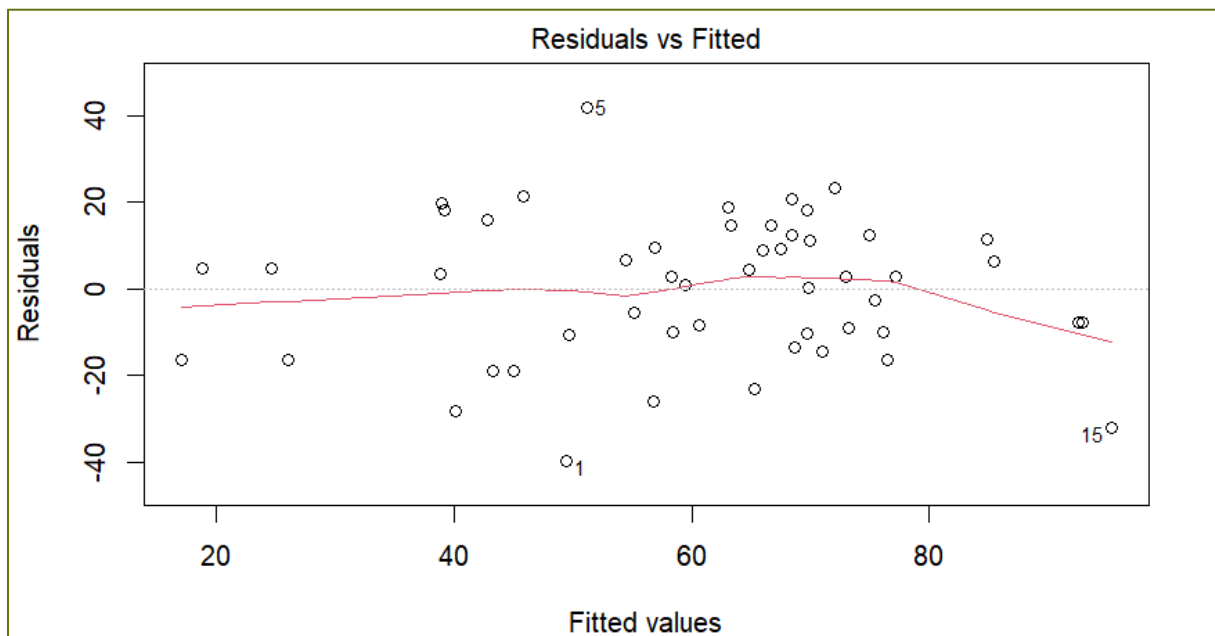


Abbildung A 6. Die Graphik vergleicht die im Modell vorhergesagten Werte (fitted values) mit den Residuen (residuals). Die rote Linie entspricht der geglätteten Trendlinie. Die beschrifteten Datenpunkte sind potentielle Ausreisser.

Im Q-Q-Plot (Abbildung A 7) liegen die Punkte entlang der Diagonalen, womit die Residuen annähernd normalverteilt sind. Im oberen Randbereich zeigen die Residuen eine leichte Abweichung von der theoretischen Normalverteilung («heavy tail»).

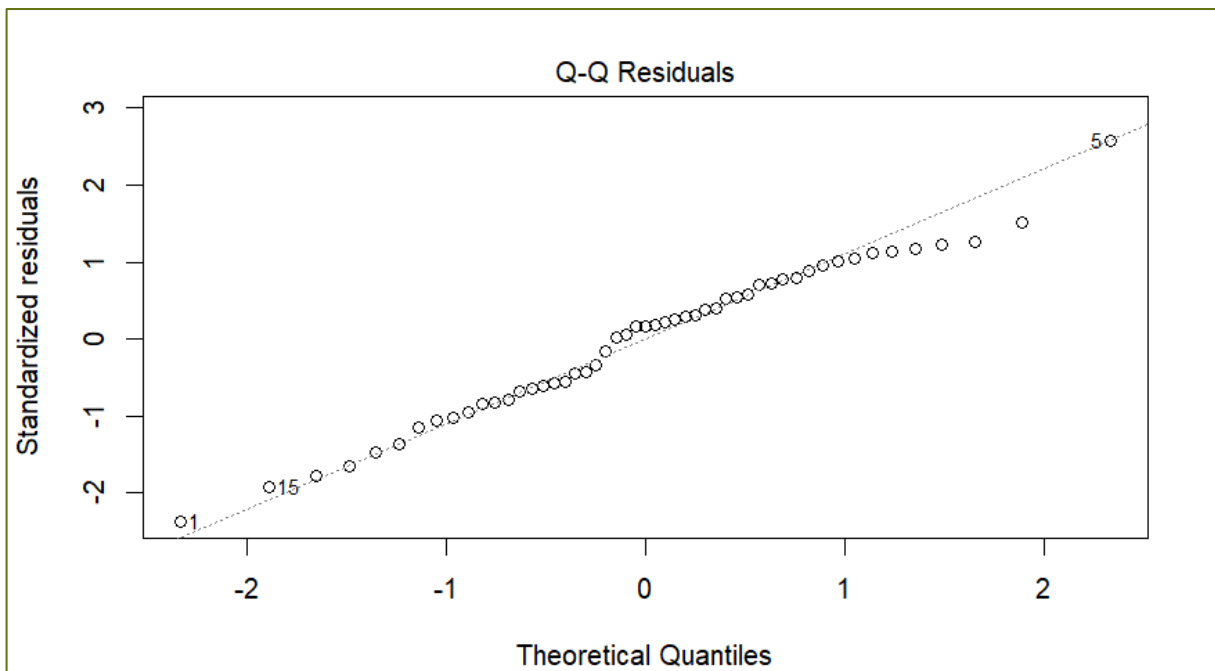


Abbildung A 7. Im Q-Q-Plot der Residuen werden die theoretischen Quantile der Normalverteilung (theoretical quantiles) den standardisierten Residuen (standardized residuals) gegenübergestellt. Die gestrichelte Linie entspricht einer perfekten Normalverteilung der Residuen. Die beschrifteten Datenpunkte sind potentielle Ausreisser.

Anhang B.4 Alternative lineare Modelle

Lineares Modell mit Interaktion zwischen Schnittregime und Schnittzeitpunkt

Modellformel: mittlere Moosdeckung \sim Kulturtyp + QII + Dauer der aktuellen Bewirtschaftung + Schnittregime * Schnittzeitpunkt + Schnitthäufigkeit + Schnitthöhe + Beweidungsdauer + Beweidungstierart + pflanzenverfügbare Stickstoffeintrag

Tabelle A 2. Die Tabelle zeigt die Ergebnisse des linearen Regressionsmodells mit Interaktionsterm von Schnittregime und Schnittzeitpunkt mit den geschätzten Regressionskoeffizienten (Estimate), den zugehörigen Standardfehlern und p-Werten für die im Modell berücksichtigten Prädiktoren.

Variable	Estimate	Standardfehler	p-Wert
Intercept	- 235.284	130.674	0.080
Kulturtyp - WiW	- 17.761	7.114	* 0.017
QII - ja	- 0.422	6.978	0.952
Schnittregime - Flex	169.320	141.032	0.238
Schnittregime - Naturschutz	204.160	154.530	0.195
Schnittzeitpunkt	1.460	0.669	* 0.036
Dauer der aktuellen Bewirtschaftung	0.828	0.303	* 0.010
Schnitthäufigkeit - 2 mal	- 0.577	7.815	0.942
Beweidungsdauer	- 0.798	0.407	0.058
Beweidungstier - Rinder	7.718	8.305	0.359
Beweidungstier - Schafe	11.484	12.346	0.358
Pflanzenverfügbare Stickstoffeintrag	0.576	0.640	0.374
Schnitthöhe	- 0.189	2.365	0.937
SchnittregimeFlex:Schnittzeitpunkt	- 0.771	0.761	0.318
SchnittregimeNaturschutz:Schnittzeitpunkt	- 0.983	0.809	0.232

Lineares Modell mit Interaktion zwischen Kulturtyp und QII

Modellformel: mittlere Moosdeckung \sim Kulturtyp * QII + Dauer der aktuellen Bewirtschaftung + Schnittregime + Schnittzeitpunkt + Schnitthäufigkeit + Schnitthöhe + Beweidungsdauer + Beweidungstierart + pflanzenverfügbare Stickstoffeintrag

Tabelle A 3. Die Tabelle zeigt die Ergebnisse des linearen Regressionsmodells mit Interaktionsterm von Kulturtyp und QII mit den geschätzten Regressionskoeffizienten (Estimate), den zugehörigen Standardfehlern und p-Werten für die im Modell berücksichtigten Prädiktoren.

Variable	Estimate	Standardfehler	p-Wert
Intercept	- 103.826	58.992	0.087
Kulturtyp - WiW	- 34.703	14.914	* 0.026
QII - ja	- 4.766	8.604	0.583
Schnittregime - Flex	21.143	9.190	* 0.027
Schnittregime - Naturschutz	15.960	9.777	0.111
Schnittzeitpunkt	0.819	0.306	* 0.011
Dauer der aktuellen Bewirtschaftung	0.585	0.328	0.082
Schnitthäufigkeit - 2 mal	3.297	8.493	0.700
Beweidungsdauer	- 0.762	0.395	0.061
Beweidungstier - Rinder	8.214	8.312	0.329
Beweidungstier - Schafe	11.721	12.260	0.345
Pflanzenverfügbare Stickstoffeintrag	0.619	0.633	0.335
Schnitthöhe	- 0.355	2.313	0.879
KulturtypWiW:QII	18.698	17.171	0.283

Lineares Modell mit Interaktion zwischen Kulturtyp und Dauer der aktuellen Bewirtschaftung

Modellformel: mittlere Moosdeckung \sim Kulturtyp * Dauer der aktuellen Bewirtschaftung + QII + Schnittregime + Schnittzeitpunkt + Schnitthäufigkeit + Schnitthöhe + Beweidungsdauer + Beweidungstierart + pflanzenverfügbare Stickstoffeintrag

Table A 4. Die Tabelle zeigt die Ergebnisse des linearen Regressionsmodells mit Interaktionsterm von Kulturtyp und Dauer der aktuellen Bewirtschaftung mit den geschätzten Regressionskoeffizienten (Estimate), den zugehörigen Standardfehlern und p-Werten für die im Modell berücksichtigten Prädiktoren.

Variable	Estimate	Standardfehler	p-Wert
Intercept	- 95.530	59.660	0.118
Kulturtyp - WiW	- 20.210	14.290	0.166
QII - ja	0.746	0.481	0.129
Schnittregime - Flex	0.941	7.973	0.907
Schnittregime - Naturschutz	24.250	9.055	* 0.011
Schnittzeitpunkt	16.990	10.350	0.109
Dauer der aktuellen Bewirtschaftung	0.746	0.311	* 0.022
Schnitthäufigkeit - 2 mal	- 0.563	7.976	0.944
Beweidungsdauer	- 0.731	0.407	0.081
Beweidungstier - Rinder	6.478	8.293	0.440
Beweidungstier - Schafe	9.300	12.820	0.473
Pflanzenverfügbare Stickstoffeintrag	0.615	0.646	0.347
Schnitthöhe	- 0.658	2.333	0.780
KulturtypWiW: Dauer der aktuellen Bewirtschaftung	- 0.001	0.638	0.999

Lineares Modell ohne Kulturtyp

Modellformel: mittlere Moosdeckung \sim Dauer der aktuellen Bewirtschaftung + QII + Schnittregime + Schnittzeitpunkt + Schnitthäufigkeit + Schnitthöhe + Beweidungsdauer + Beweidungstierart + pflanzenverfügbare Stickstoffeintrag

Tabelle A 5. Die Tabelle zeigt die Ergebnisse des linearen Regressionsmodells, wenn die Einflussvariable Kulturtyp weggelassen wird, mit den geschätzten Regressionskoeffizienten (Estimate), den zugehörigen Standardfehlern und p-Werten für die im Modell berücksichtigten Prädiktoren.

Variable	Estimate	Standardfehler	p-Wert
Intercept	- 78.615	64.018	0.227
QII - ja	0.882	7.505	0.907
Schnittregime - Flex	25.954	9.584	** 0.010
Schnittregime - Naturschutz	17.871	10.694	0.103
Schnittzeitpunkt	0.656	0.326	0.051
Dauer der aktuellen Bewirtschaftung	0.731	0.322	* 0.029
Schnitthäufigkeit - 2 mal	- 0.327	8.486	0.969
Beweidungsdauer	- 0.803	0.432	0.071
Beweidungstier - Rinder	6.823	8.969	0.451
Beweidungstier - Schafe	11.115	13.238	0.406
Pflanzenverfügbare Stickstoffeintrag	- 0.278	0.614	0.654
Schnitthöhe	- 1.786	2.491	0.478

Das Gesamtmodell ist signifikant ($F_{11,39} = 2.808$, $p = 0.009$). Das multiple Bestimmtheitsmass (multiple R^2) beträgt 0.442, das korrigierte R^2 0.285 (adjusted R^2). Das AIC beträgt 466.05.

Anhang B.5 Lineares Modell inkl. Umweltvariablen

Die Umweltvariablen sind als Mittelwerte pro Fläche in *ArcGIS Pro* (Esri, 2024a) berechnet worden. Die Steigung und Exposition sind in Grad und Höhenlage in Meter über Meer angegeben.

Tabelle A 6. Die Tabelle zeigt die Ergebnisse des linearen Regressionsmodells mit den geschätzten Regressionskoeffizienten (Estimate), den zugehörigen Standardfehlern und p-Werten für die im Modell berücksichtigten Prädiktoren.

Variable	Estimate	Standardfehler	p-Wert
Intercept	- 124.294	82.887	0.143
Steigung	- 0.605	0.696	0.390
Exposition	0.322	0.168	0.064
Höhenlage	- 0.049	0.040	0.233
Kulturtyp - WiW	- 20.152	7.322	** 0.009
QII - ja	0.850	6.793	0.901
Schnittregime - Flex	22.253	8.655	* 0.015
Schnittregime - Naturschutz	11.821	9.929	0.242
Dauer der aktuellen Bewirtschaftung	0.791	0.308	* 0.015
Schnittzeitpunkt	0.759	0.292	* 0.013
Schnitthäufigkeit - 2 mal	- 6.333	8.295	0.450
Schnitthöhe	- 0.709	2.276	0.757
Beweidungsdauer	- 0.972	0.413	* 0.024
Beweidungstier - Rinder	7.814	8.222	0.348
Beweidungstier - Schafe	18.692	12.540	0.145
Pflanzenverfügbarer Stickstoffeintrag	0.371	0.631	0.561

Das Gesamtmodell ist signifikant ($F_{15,35} = 3.600$, $p = 0.0009$). Das multiple Bestimmtheitsmass (multiple R^2) beträgt 0.607, das korrigierte R^2 0.438 (adjusted R^2). Das AIC beträgt 456.21.

Anhang C Deklaration

Anhang C.1 Verwendung von KI

Unter Berücksichtigung der Leitlinien zur Nutzung generativer KI (ETH Zürich, 2024) wurden verschiedene KI-basierte Tools für das Verfassen der vorliegenden Arbeit verwendet. Tabelle A 7 dokumentiert den jeweiligen Verwendungszweck dieser Tools.

Tabelle A 7. Die Übersicht der KI-basierten Tools listet alle in der vorliegenden Arbeit genutzten Hilfestellungen.

KI-basiertes Tool	Anwendungsfall	Beschreibung	Bereich
ChatGPT 5.2 [02.01.2026]	Code-Generierung	Code-Generierung, Variablenanpassung von mehrfach verwendeten Codes	Kapitel 3 Vorgehen
	Textüberarbeitung	Einzelne Sätze oder Begriffe umformulieren bzgl. Prägnanz und Lesefluss	Gesamte Arbeit
Elicit [02.01.2026]	Suche von wissenschaftlichen Arbeiten	Gezielte Suche von wissenschaftlichen Arbeiten zu konkreten Aussagen	Kapitel 1.1 Forschungsfragen (Hypothesenformulierung) Kapitel 4 Diskussion



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Eigenständigkeitserklärung

Die unterzeichnete Eigenständigkeitserklärung ist Bestandteil jeder während des Studiums verfassten schriftlichen Arbeit. Eine der folgenden zwei Optionen ist **in Absprache mit der verantwortlichen Betreuungsperson** verbindlich auszuwählen:

- Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit eigenverantwortlich verfasst habe, namentlich, dass mir niemand beim Verfassen der Arbeit geholfen hat. Davon ausgenommen sind sprachliche und inhaltliche Korrekturvorschläge der Betreuungsperson. Es wurden keine Technologien der generativen künstlichen Intelligenz¹ verwendet.
- Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit eigenverantwortlich verfasst habe. Dabei habe ich nur die erlaubten Hilfsmittel verwendet, darunter sprachliche und inhaltliche Korrekturvorschläge der Betreuungsperson sowie Technologien der generativen künstlichen Intelligenz. Deren Einsatz und Kennzeichnung ist mit der Betreuungsperson abgesprochen.

Titel der Arbeit:

Der Bewirtschaftungseinfluss auf die Moosdeckung von extensiv und wenig intensiv genutzten Wiesen in der UNESCO Biosphäre Entlebuch

Verfasst von:

Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich.

Name(n):

Scheiwiler

Vorname(n):

Leila

Ich bestätige mit meiner Unterschrift:

- Ich habe mich an die Regeln des «[Zitierleitfadens](#)» gehalten.
- Ich habe alle Methoden, Daten und Arbeitsabläufe wahrheitsgetreu und vollständig dokumentiert.
- Ich habe alle Personen erwähnt, welche die Arbeit wesentlich unterstützt haben.

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

Ort, Datum

St.Gallen, 19.01.2026

Unterschrift(en)



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

¹ Für weitere Informationen konsultieren Sie bitte die Webseiten der ETH Zürich, bspw. <https://ethz.ch/de/die-eth-zuerich/lehre/ai-in-education.html> und <https://library.ethz.ch/forschen-und-publizieren/Wissenschaftliches-Schreiben-an-der-ETH-Zuerich.html> (Änderungen vorbehalten).