



ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN
DEPARTEMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT
INSTITUT FÜR UMWELT UND NATÜRLICHE RESSOURCEN

Bachelorarbeit im Rahmen des Projektes
Rothirsch in der Ostschweiz:

Winter-Tageeseinstände von Rothirschen und ihr Einfluss auf die Waldverjüngung

von Christian Lusti

Umweltingenieurwesen 2014
Abgabedatum: 26. Oktober 2017

Fachkorrektoren:
Prof. Dr. Roland Graf
Leitung Forschungsgruppe Wildtiermanagement

Sascha Wellig
Doktorand Forschungsgruppe Wildtiermanagement

Schlagworte:

Verbiss, Jungwuchs, Cervus elaphus, Schutzwald, kleinräumige Faktoren

Zitiervorschlag:

Lusti, C. (2017). Winter-Tageseinstände von Rothirschen und ihr Einfluss auf die Waldverjüngung. Bachelorarbeit. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW. Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen IUNR. Wädenswil.

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen

ZHAW Life Sciences und Facility Management

Grüental, Postfach

8820 Wädenswil

Zusammenfassung

Der Wald-Wild Konflikt gewinnt mit der Zunahme an Schalenwild immer mehr an Bedeutung. Es braucht neben der Reduktion von Wildbeständen ergänzende Möglichkeiten, um in der Waldplanung Massnahmen treffen zu können. Dafür werden Grundlagen zu kleinräumigen Standortfaktoren benötigt, welche zu vermehrtem Verbiss führen. Als Teil des Projektes „Rothirsch in der Ostschweiz“ versucht diese Bachelorarbeit zu klären, ob sich das Verbissaufkommen an Jungbäumen durch verschiedene Faktoren erklären lässt. Diese Faktoren sind einerseits die Präsenz des Rothirsches und andererseits standortbedingte Eigenschaften der Topografie und Vegetation.

Dazu wurden 45 Rothirsche in der Ostschweiz mit GPS-GSM Sendern versehen. Durch das aufgezeichnete Bewegungsmuster konnten die Wintereinstandsgebiete definiert werden. Auf zufällig ausgewählten Plots mit unterschiedlicher Rothirschpräsenz wurde der Verbiss und verschiedene ökologische Faktoren aufgenommen und mit bestehenden GIS Variablen kombiniert. So konnte der Verbiss der Wintereinstandsgebiete mit weniger besuchten Flächen verglichen werden. Mittels multivariaten Modellen (GLM) wurde quantifiziert, welche Faktoren wie stark zur Erklärung des Verbissvorkommens beitragen.

In den Wintereinstandsgebieten wurde mehr als die doppelte Menge des Verbissvorkommens (bei Laub- und Nadelbäumen bis 1.3 m Höhe oder 4 cm Brusthöhendurchmesser) als in den Absenzplots verzeichnet. Zunehmend mit den Höhenmeter in der montanen Stufe, stieg das Verbissaufkommen bei Laub- und Nadelbäumen. Der kleinste Verbissanteil zeigte sich bei einer Stammgrundfläche zwischen 20-30 m². Bei kleinerer oder grösserer Stammgrundfläche war der Verbiss zunehmend. Mit einer zunehmenden Stammgrundfläche nahm auch die Anzahl Jungbäume ab. Daraus lässt ein grösseres Verbissrisiko folgern, je mehr Jungbäume vorhanden sind. Im multiplen Regressions-Modell zeigte sich, dass das Verbissvorkommen im Laub- und Nadelwald neben dem signifikanten Einfluss der Stammgrundfläche durch unterschiedliche Faktoren erklärt wird. Beim Laubbaumverbiss kommt die Meereshöhe und der Deckungsgrad der Strauchschicht ebenfalls als erklärende Variablen hinzu und führt bei Zunahme zu einem grösseren Verbissanteil. Zusätzlich führte beim Laubbaumjungwuchs der Deckungsgrad der Baumschicht wie auch die Sonneneinstrahlung zu weniger Verbiss. Eine räumliche Korrelation des Verbisses konnte primär bei Laubbäumen festgestellt werden. Diese zeigte eine räumliche Gruppierung des Verbissaufkommens, welche mit Distanz abnahm und ab 700 m nur noch eine leicht positive Beziehung zeigt – auf der Basis einer Zufallsverteilung.

Die in dieser Arbeit verwendete Kombination von Telemetriedaten mit Habitataufnahmen im Feld zeigt potential für weitreichende Analysemöglichkeiten. So konnte das erheblich stärkere Verbissaufkommen in den Wintereinstandsgebieten von Rothirschen festgestellt werden. Auch zeigen die erstellten Modelle, dass Höhe und Stammgrundfläche wichtige Faktoren sind, um das Verbissaufkommen erklären zu können. Die multivariate Analyse könnte so in Zukunft als Hilfsmittel dienen, um das Verbissrisiko räumlich zu modellieren. Eine daraus resultierende Karte könnte den Waldbau optimieren.

Abstract

The conflict between forestry and wildlife is becoming more relevant with the increase of the ungulate populations in Switzerland. In addition to culling there are additional measures required in the forest management to counteract browsing. To date, there is still a lack of knowledge on the influence of small scale habitat factors on browsing. As part of the project „Red deer in east Switzerland“ this thesis attempts to clarify, through which factors browsing occurrence can be explained. The presence of red deer and spatial preferences of topography and vegetation were combined to evaluate their effect on browsing appearance.

For this purpose 45 red deer were equipped with GPS-GSM collars. Through the movement patterns in January and February in the years 2014 to 2017 the homerange was calculated. On randomly chosen plots divided by presence and absence of red deer, browsed and unbrowsed shoots were recorded and a wide range of small scale habitat factors were measured. These factors were combined with GIS variables. This allowed to compare the winter range with less visited plots. To quantify which factors lead to browsing occurrence multivariate models (GLM) were created.

More than double of the browsing intensity on tree seedlings (up to 1.3 m height or < 4 cm diameter at breast height) was found in the winter range (presence plots) than in the absence plots. The variables showed a positive correlation between browsing and altitude. Increasing altitude leads to a rise in browsing occurrence. The smallest amount of browsing was measured with a trunk base area of 20-30 m². Smaller or bigger trunk base area leads to an increase of browsing occurrence. With an increasing amount of trunk base area the amount of young trees decreased. This leads to the conclusion that a higher risk of browsing is connected with a higher sapling occurrence. Furthermore, this research shows that in GLM-models different factors are explaining the browsing variance of needle and deciduous trees. In the model, needle tree browsing occurrence is explained best through the variable trunk base area and leads by increase to a higher browsing. The model of deciduous browsing consists five additional significant variables. Altitude and the coverage of the shrub layer increases the browsing, whereas solar radiation and tree coverage lead to a smaller percentage of browsed deciduous saplings. A spatial correlation of the browsing occurrence could mainly be found within deciduous saplings. It showed a spatial aggregation of the browsing level which decreased constantly and showed a slight positive relation after 700 m – on a random distribution level.

The combination of remote data with recorded habitat factors in the field shows potential for a wide range of analysis. A considerable heavier browsing occurrence could be found in the winter range of red deers. The results also showed the importance of altitude and trunk base area to explain browsing occurrence. Multivariate analysis could lead to maps of ungulate browsing risks which could optimise forest management practices.

Danksagung

Besonders bedanken möchte ich mich bei meinen Betreuern Prof. Dr. Roland Graf (Leitung Forschungsgruppe Wildtiermanagement, ZHAW) und Sascha Wellig (Doktorand, Forschungsgruppe Wildtiermanagement, ZHAW) für die zielgerichtete Betreuung, das umfangreiche Feedback wie auch die aufwendige Vorbereitung der Feldaufnahmen und Ausleihe des Feldmaterials. Weiter danke ich Herrn Dr. Peter Kauf (externer Dozent Mathematik und Statistik, ZHAW) für die nützlichen Hinweise zur statistischen Auswertung.

Ein grosser Dank gilt auch Pavla Slimarova, meinen Freunden und Familie für ihre Tipps wie auch die mentale und seelische Unterstützung während dieser Zeit.

Auch danken möchte ich der Firma Joseph für ihre Flexibilität bezüglich meiner Arbeitseinsätze während den intensiven Phasen dieser Arbeit.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | Einleitung | 3 |
| 1.1. | Der Rothirsch in der Schweiz | 3 |
| 1.2. | Wildeinfluss auf die Waldentwicklung | 4 |
| 1.3. | Nahrungsselektion des Rothirsches | 5 |
| 1.4. | Wie wird der Wildeinfluss auf die Verjüngung gemessen? | 6 |
| 1.5. | Forschungslücken | 6 |
| 2. | Material und Methoden | 7 |
| 2.1. | Definition der Untersuchungsbereiche | 7 |
| 2.2. | Sampling Design | 7 |
| 2.3. | Feldaufnahme | 9 |
| 2.3.1. | Verbiss | 9 |
| 2.3.2. | Kleinstandortsfaktoren | 9 |
| 2.3.3. | Präsenzindikatoren | 10 |
| 2.3.4. | GIS - Variablen | 10 |
| 2.4. | Datenanalyse & Statistik | 10 |
| 3. | Ergebnisse | 12 |
| 3.1. | Allgemein | 12 |
| 3.2. | F1: Einfluss der Wintereinstandsgebiete von Rothirschen | 13 |
| 3.3. | F2: Räumliche Korrelation des Verbissaufkommens | 14 |
| 3.4. | F3: Einflussfaktoren auf den Verbiss | 15 |
| 4. | Diskussion | 18 |
| 4.1. | Auftreten von Jungwuchs und Verbiss | 18 |
| 4.2. | F1: Verbiss in Abhängigkeit der Rothirschpräsenz | 18 |
| 4.3. | F2: Räumliche Korrelation des Verbissaufkommens | 19 |
| 4.4. | F3: Verbiss und landschaftliche Faktoren | 19 |
| 4.5. | F3: Verbiss in Abhängigkeit der Waldstrukturen | 20 |
| 4.6. | Ausgeschlossene Faktoren | 20 |
| 4.7. | Interpretation der Resultate | 21 |
| 5. | Schlussfolgerungen | 22 |
| 6. | Literaturverzeichnis | 23 |
| 7. | Abbildung- und Tabellenverzeichnis | 25 |
| | Anhang | 26 |

Liste der Abkürzungen

| | |
|---------|--|
| AIC: | Akaike's Information Criterion, ein Mass für die Qualität eines Statistischen Modells |
| Abs: | Definition für einen als Absenz Plot definierten Untersuchungsstandort |
| BAFU: | Bundesamt für Umwelt |
| BHD: | Brusthöhen Durchmesser |
| BIC: | Bayesian information criterion, ein Mass für die Qualität eines Statistischen Modells |
| DG: | Deckungsgrad in Prozent |
| DOP: | Dilution of Precision steht für die Verringerung der Genauigkeit und dient so als Streubreite der Messwerte in GPS-Positionsdaten. |
| GLM: | Generalisierte Lineare Modelle, dient als Verallgemeinerung des klassischen Linearen Modells und ist Teil der Regressionsanalyse |
| LFI: | Schweizerisches Landesforstinventar |
| MEZ: | Mitteleuropäische Zeit, welche sich auf den 15. Längengrad bezieht |
| NaiS: | Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald, eine Wegleitung die 2005 vom Buwal (heute BAFU) herausgegeben wurde |
| Pres: | Definition für einen als Präsenz Plot definierten Untersuchungsstandort |
| SOLRAD: | Sonneneinstrahlung in Wattstunden pro Quadratmeter |

1. Einleitung

1.1. Der Rothirsch in der Schweiz

Die intensive Bejagung des Rothirsches, ausgelöst durch eine grosse Armut der ländlichen Bevölkerung, führte um 1850 zum Tiefpunkt der hiesigen Population. Die lichten Wälder und die verbesserten Schusswaffen unterstützten die Bedingungen der intensiven Bejagung und führte zu einer vollständigen Ausrottung in der Schweiz (Haller, 2002). Beginnend mit einem einzelnen Hirsch in Arosa im Jahre 1873, kam es zu einer stetigen Wiederbesiedelung von Osten her (Schmidt, 1971). Seit damals nimmt das Rotwild in den Schweizer Wäldern mehr und mehr zu (Abb. 1), gleichzeitig verkleinerte sich jedoch dessen Lebensraum durch den Bau von Strassen und Siedlungen. Durch die Intensivierung der Landwirtschaft reduzierten sich Äsungs- und Schutzflächen und der Rothirsch verschob seinen Lebensraum im Sommer mehr ins Gebirge, auf Alpweiden um die Waldgrenze. Im Winter liegt seine Verbreitung in tiefer gelegenen Wäldern und Auen. Heute zählt der Rothirschbestand in der Schweiz über 36000 Tiere (Eidg. Jagdstatistik, 2017).

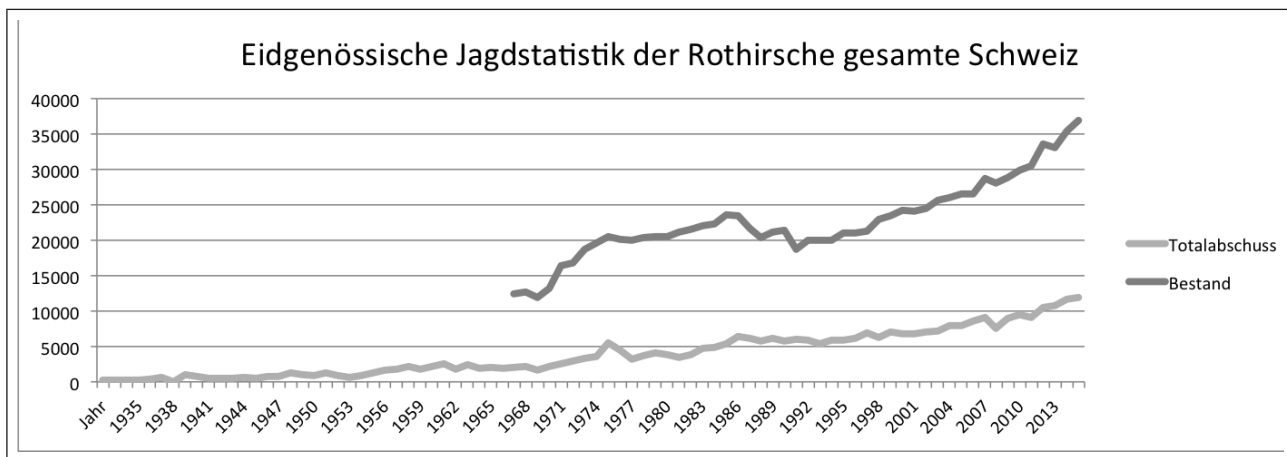


Abb. 1: Abschusszahlen über die gesamte Schweiz des Rothirsches mit ermitteltem Bestand. Bestandeszahlen welche durch Fallwild und Jagd ermittelt werden, sind jedoch erst ab 1968 verfügbar (Eigene Darstellung, Daten der Eidgenössischen Jagdstatistik).

Die Rückkehr von diesem grossen Säuger war für viele erfreulich, doch kehrten mit dem Wild auch die Konflikte zurück. Heute liegt der grösste Konflikt zwischen Jagd und Forstwesen. Der Rothirsch ernährt sich saisonal unterschiedlich. Im Sommer nimmt er zu einem Grossteil Gras zu sich, in den anderen Jahreszeiten gehören auch Jungbäume zu seiner Nahrungspräferenz (Hofmann, 1989). Durch den Verbiss, wie auch durch Schälen, schädigt das Schalenwild Jungbäume und hat so Auswirkungen auf die Waldentwicklung (Robin et al., 2017). Das Schalenwild wird für die grossflächig fehlende Verjüngung verantwortlich gemacht, was zu einer Waldüberalterung führt. In Wäldern, welche eine Schutzfunktion ausüben, kann dieser Einfluss zu einer Handlungsnotwendigkeit führen. So ist das Gleichgewicht Wald-Wild in der Waldpolitik 2020 vom BAFU integriert und gibt ein Sollwert der Baumverjüngung (Sollwerte nach NaiS) von 75% auf der Waldfläche der Kantone an (BAFU, 2013). Lange wurde Wildverbiss mit Schaden gleichgesetzt. Doch für eine objektive Beurteilung der Verjüngungs- und Schadenssituation sollte der Verbiss mit Stammzahlen vereint und den jeweiligen waldbaulichen Zielen abgeglichen werden (Odermatt, 2009). Positive Beispiele der Zusammenarbeit zwischen den involvierten Parteien wie Forstwirtschaft, Wildhut und Jäger führten durch vermehrte Umsetzung der Massnahmen zu weniger Verbiss, und scheint zukünftig eine Lösung zur Wald-Wild Problematik zu sein (BAFU, 2010).

1.2. Wildeinfluss auf die Waldentwicklung

In der Schweiz bestand 1995 ein West-Ost Gradient der Ungulatendichte. Dieser Verteilung entsprach auch die Verbisszunahme und eine zusammenhängende Abnahme der Baum-Regenerationsfähigkeit aller wichtigen Baumarten (Abb. 2). Statistisch konnte diese Korrelation jedoch nur bei einer Einzelbaumauswertung von Ahorn nachgewiesen werden (Senn und Suter, 2003). Eine aktuelle Auswertung der Landes- und Forstinventur (LFI) Daten über die gesamte Schweiz zeigt ein anderes Bild (Kupferschmid et al., 2015). Bei zwei Drittel der Waldfläche konnte kein bedeutender Einfluss des Schalenwildes auf die Waldverjüngung festgestellt werden. Kleinräumig kann der Verbisseinfluss jedoch stark variieren, was in Schutzwäldern zu fehlender Verjüngung und so zu einem erhöhten Risiko führen kann. Es wird meist vergessen, dass Schalenwild nicht nur zu Schäden in der Waldentwicklung führt. Eine Untersuchung in Österreich, in der Wildeinfluss auf Jungwuchs gemessen wurde, fand man eine vier- bis 14-fach grössere Anzahl von Schadenflächen, als Flächen wo sich der Wildeinfluss positiv ausgewirkt hat (Reimoser & Reimoser 1997). Tannen- und Eichenjungwuchs leiden dort am meisten unter dem Verbissdruck. Dabei zählt gerade die Tanne mit ihren tiefen Wurzeln als Stabilitätsträger im Wald (Kupferschmid et al., 2015).

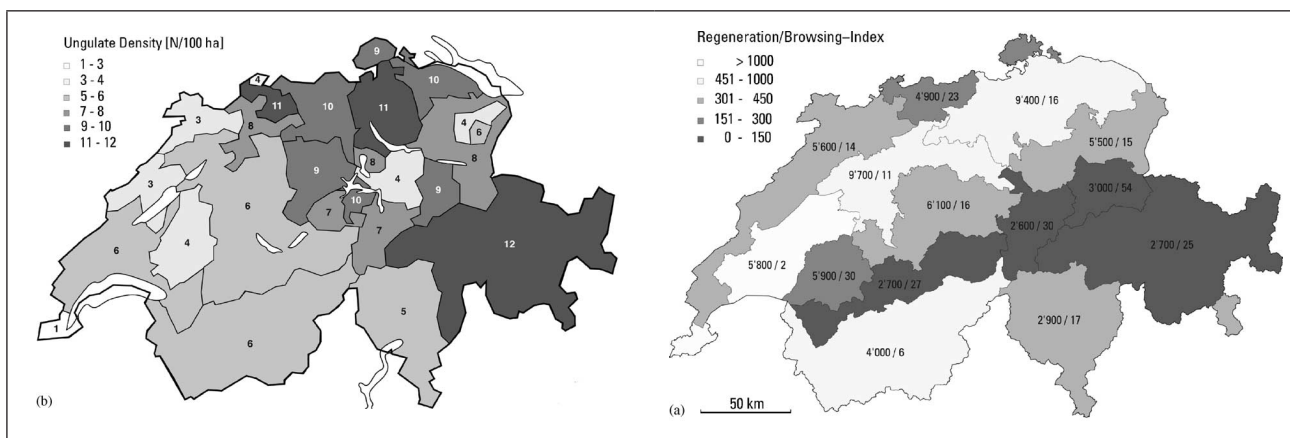


Abb. 2: Die linke Karte zeigt die Ungulatendichte von Ost nach West (Anzahl/100ha) erfasst durch die kantonalen Jagdstatistiken 1993-1995 (Einheit RE; RE = 1 Rothirsch = 2 Rehe = 3 Gämsen). Die Rechte Karte zeigt nach LFI die verschiedenen Forstregionen und deren Verhältnis der Verjüngungsdichte zu Verbissrate. Karten nach Brändli (1995), aus Senn und Suter (2003).

Verbiss durch Wildhuftiere führt zu einem verlangsamten Wachstum von Jungbäumen, dazu wurde ein grösserer Effekt bei Arten mit schnelleren Wachstumsraten festgestellt (Kupferschmid & Bugmann, 2008). Dies führt nebst dem Totverbiss zu einer Veränderung der Sukzession und Artenzusammensetzung des Waldes. Präferierte Baumarten verschwinden dadurch und tolerante oder verschmähte Baumarten sind im Vorteil. Somit kann das Wild über einen längeren Zeitraum hinweg Einfluss auf die Artenzusammensetzung im Wald nehmen, die Verjüngung verzögern, wie auch die Stammzahl und Holzqualität vermindern (BAFU, 2010). Deshalb kann eine überhöhte Schalenwildpopulation zu einer Beeinträchtigung von Walddienstleistungen wie Produktion und Schutz führen. Starker Wildeinfluss kann auch erhebliche ökonomische Konsequenzen im Waldmanagement verursachen. Ein Beispiel dazu zeigt eine Untersuchung am Rigi Nordhang. Diese berechnete die durch starken Verbissdruck verursachten Kosten in einem Waldabschnitt von 738 Hektaren. Für die Aufrechterhaltung der Schutzfunktion dieses Waldabschnittes, müssen in den nächsten 50 Jahren zwischen 3 bis 6.6 Mio. Schweizer Franken aufgewendet werden (Gasser, 2009).

1.3. Nahrungsselektion des Rothirsches

Ungulaten wählen ihre Nahrung so, dass möglichst viel Energie zugeführt wird und gleichzeitig möglichst wenig für die Verdauung investiert werden muss (Verheyden et al., 2000). So ist die Nahrungsselektion des Rothirsches von zeitlichen und räumlichen Faktoren (Odermatt, 2014), vom Störungseinfluss (Lovari et al., 2007; Patrick, 2017), wie auch von Nahrungsverfügbarkeit abhängig (Ward et al., 2008; Eiberle & Bucher, 1989).

ZEITLICHE UNTERSCHIEDE

In verschiedenen Jahreszeiten werden unterschiedliche Pflanzen bevorzugt. Im Winter wenn sich die Verfügbarkeit der Nahrung einschränkt, konzentrieren sich die Rothirsche nur auf einige wenige Pflanzenarten. Zu dieser Jahreszeit wird mehrheitlich die Fichte und die Weisstanne verbissen (Senn und Suter, 2003). Auch kleine Buchen dienen als Winternahrung. Andere Laubbaumarten wie Ahorn, Esche und Eiche werden im Frühsommer zur Nahrungspräferenz. Bei diesen Arten ist in den ersten 20 Tagen nach dem Austreiben die Wahrscheinlichkeit am grössten, verbissen zu werden (Odermatt, 2014).

RÄUMLICHE UNTERSCHIEDE UND NAHRUNGSVERFÜGBARKEIT

Bei Nadelbäumen wurden weniger Schäden durch Wild festgestellt, je mehr geniessbares Unterholz vorhanden war (Ward et al., 2008). Doch nicht nur alternative Nahrungsquellen haben einen Einfluss auf den Verzehr von Jungbäumen. Der Weisstannenverbiss auf kleineren Flächen nimmt zu, je grösser das Angebot von Fichte und Buche ist. Die dadurch vergrösserte Sterblichkeitsrate des Weisstannenjungwuchses führt zu einem grösseren Aufkommen von Buche und Fichte, was den Effekt dieser Verlagerung noch verstärkt. Mit zunehmender Raumnutzungsintensität steigt auch der Weisstannenverbiss signifikant an (Eiberle & Bucher, 1989). Doch nicht der gesamte Verbiss ist auf Rotwild zurückzuführen. Er kann auch von anderen Tieren verursacht werden. Der Verbiss der Weisstannen-Sämlinge steht auch in Beziehung mit dem Vorkommen von Mäusen (Senn et al., 2007).

STÖRUNGSFAKTOREN

In einer Studie von Rothirschen in Sardinien wurde durch die Störung von Tourismus eine Zunahme des Streifgebietes festgestellt (Lovari et al., 2007). Die Folge davon ist auch eine räumliche Ausweitung des Einflusses, den das Wild auf den Wald ausübt. Doch auch ohne vorhandene Störung bewegt sich der Rothirsch in diesem Verhaltensmuster. Eine Analyse von tagsüber und nachts genutzten Futterplätzen, wies eine grössere Nahrungsqualität in den Nachtflächen und eine kleinere in den Tagesflächen auf. Das Vermeiden von Raubtieren ist daher ein entscheidender Faktor im Verhalten des Rothirsches, auch wenn keine Feinde wie Wolf und Mensch vorhanden sind (Patrick, 2017).

1.4. Wie wird der Wildeinfluss auf die Verjüngung gemessen?

Im Jahr 2010 wurden vom BAFU methodische Grundlagen für die Praxis zur Umsetzung der Vollzugshilfe in der Schweiz erarbeitet. Die Verjüngungskontrolle wird durch die folgenden Methoden durchgeführt:

- Regionaler Überblick für einen Kanton, eine Region oder einen Wildraum durch vorhandene Daten
- Stichproben in Indikatorflächen von Problemgebieten
- Flächendeckende Stichprobeninventur in einer Region oder in einem Kanton
- Verjüngungs-Beobachtungsflächen
- Vergleichsflächenpaare mit Kontrollzäunen

Kritische Schwellenwerte für die Verbissintensität wurden von Eiberle & Nigg (1987) erarbeitet und sind in den Wald und Wild Grundlagen für die Praxis (2010) vom BAFU verzeichnet. Diese wurden durch Rüegg (2013) ergänzt. Die Werte betragen für Tanne 9%, Fichte und Föhre 12%, Buche 20%, Lärche 22%, Ahorn 30%, Esche, Eiche und Vogelbeere 35%. Da sie für grosse Flächen definiert wurden, sollten sie für kleine Untersuchungsflächen kritisch hinterfragt werden (Suter, 2005a).

1.5. Forschungslücken

Über den wirklichen Huftiereinfluss gibt es inkonsistentes Verständnis in den Publikationen (Suter, 2005a). Der Faktor Raum sollte vermehrt in die Untersuchungen eingebracht werden. Multivariate Modelle können als Grundlage für räumliche Populationsmodelle mit Habitatfaktoren dienen (Graf, 2005). Eine Adaption dieser Modelle auf den Wildverbiss liegt daher nahe. Das Äsungsverhalten des Rothirsches kann sehr variabel sein, da es von komplexen Interaktionen und Standortfaktoren abhängig ist. Um eine Regeneration von Bäumen zu gewährleisten, muss auf verschiedene kleinräumige Variablen geachtet werden (Oswald & Neuenschwander, 1993). Es werden Grundlagen benötigt, welche Faktoren beim Verbiss eine Rolle spielen um den Einfluss des Schalenwildes besser in die Waldplanung integrieren zu können. Das kantonsübergreifende Forschungsprojekt „Rothirsch in der Ostschweiz“ beschäftigt sich mit der Ausarbeitung dieser Grundlagen für einen zielgerechten Umgang mit dem Rothirsch. Als Teilprojekt untersucht diese Bachelorarbeit wie kleinräumige Faktoren das Vorkommen von Verbiss durch den Rothirsch erklären. Dazu werden die folgenden Fragen behandelt:

F1: Welchen Einfluss hat die Raumnutzungsintensität von Rothirschen im Winter auf das Verbissvorkommen?

F2: Gibt es im Untersuchungsgebiet eine Ähnlichkeit des Verbissaufkommens von nah beieinander liegenden Flächen?

F3: Welchen Effekt haben kleinräumliche Eigenschaften der Topographie und Vegetation (Feld- und GIS-basierende Variablen) auf das Verbissvorkommen?

2. Material und Methoden

2.1. Definition der Untersuchungsgebiete

Während den Jahren 2014-2017 wurden zwischen Januar und Februar die GPS-Positionen von 45 Rothirschen in der Nordostschweiz aufgezeichnet (Abb. 3). Die Datenfrequenz erfolgte in einem Intervall von ein bis zwei Stunden. Um die Positionsdaten auf den Tageseinstand des Rothirsches zu reduzieren, wurden die Datenreihen auf 10h-15h MEZ reduziert. Datenlücken durch Besenderung oder Messabschluss, wie auch die Daten der ersten drei Tage nach der Besenderung wurden ausgeschlossen. Ungenaue GPS-Positionen wurden nach DOP-Wert ≤ 10 gefiltert und Daten ohne GPS-Koordinaten wurden gelöscht. Die Homeranges der Rothirsche wurden generiert unter der Berücksichtigung der GPS-Positionen im Winter, zwischen 16. November bis 15. März, wenn Daten von mindestens 30 Tagen verfügbar waren. Die Berechnung wurde mittels dem Programm R (Paket: adehabitatHR, Calenge 2011) durchgeführt und erfolgte nach der Kernel-Methode (Worton, 1989). Für die Homeranges wurde der smoothing factor ad hoc berechnet ($href * 0.55$). Es wurden jeweils die 95%-Isoplethen verwendet.

2.2. Sampling Design

Die berechneten Homeranges wurden mit einem Raster verschnitten (Maschenbreite 25 x 25 m) und davon alle Rasterpunkte abgezogen, welche sich nicht auf Waldfläche (Vector25) befanden. Rasterpunkte mit 7 oder mehr GPS-Positionen waren die Basis für ein Präsenzraster. So wurde sichergestellt, dass die gleiche Fläche entweder einem besenderten Rothirsch mehrmals oder von mehreren besenderten Rothirschen aufgesucht wurde. Für den Absenzeraster wurde von der Homerange alle Bereiche mit GPS-Positionen abgezogen mit einem Buffer von 50 m. Auch wurden nur Rasterpunkte mit einer minimum Distanz von 1000 m zu einer Rasterzelle mit mindestens einer GPS-Position eines Rothirsches miteinbezogen. Die Aufnahmeflächen der Präsenz- und Absenzplots wurden per Zufallsgenerator mit einem Mindestabstand von 50 m erstellt. Gefährliche Untersuchungspositionen wurden, unter Absprache mit kantonalen Wildhütern, ausgeschlossen. Die übriggebliebenen 465 Untersuchungspositionen wurden auf vier Studenten aufgeteilt. Dabei wurden jedem Studenten Punkte in verschiedenen Untersuchungsgebieten zugeteilt. Um Differenzen der Schätzungsfaktoren auszugleichen, haben wir vorgehend gemeinsam Testuntersuchungen durchgeführt und die benötigten Aufnahmekriterien vorgehend mit Forst und Wildfachpersonen besprochen. So erarbeiteten wir nachfolgend ein finales Protokoll für die Feldaufnahmen (Anhang A).

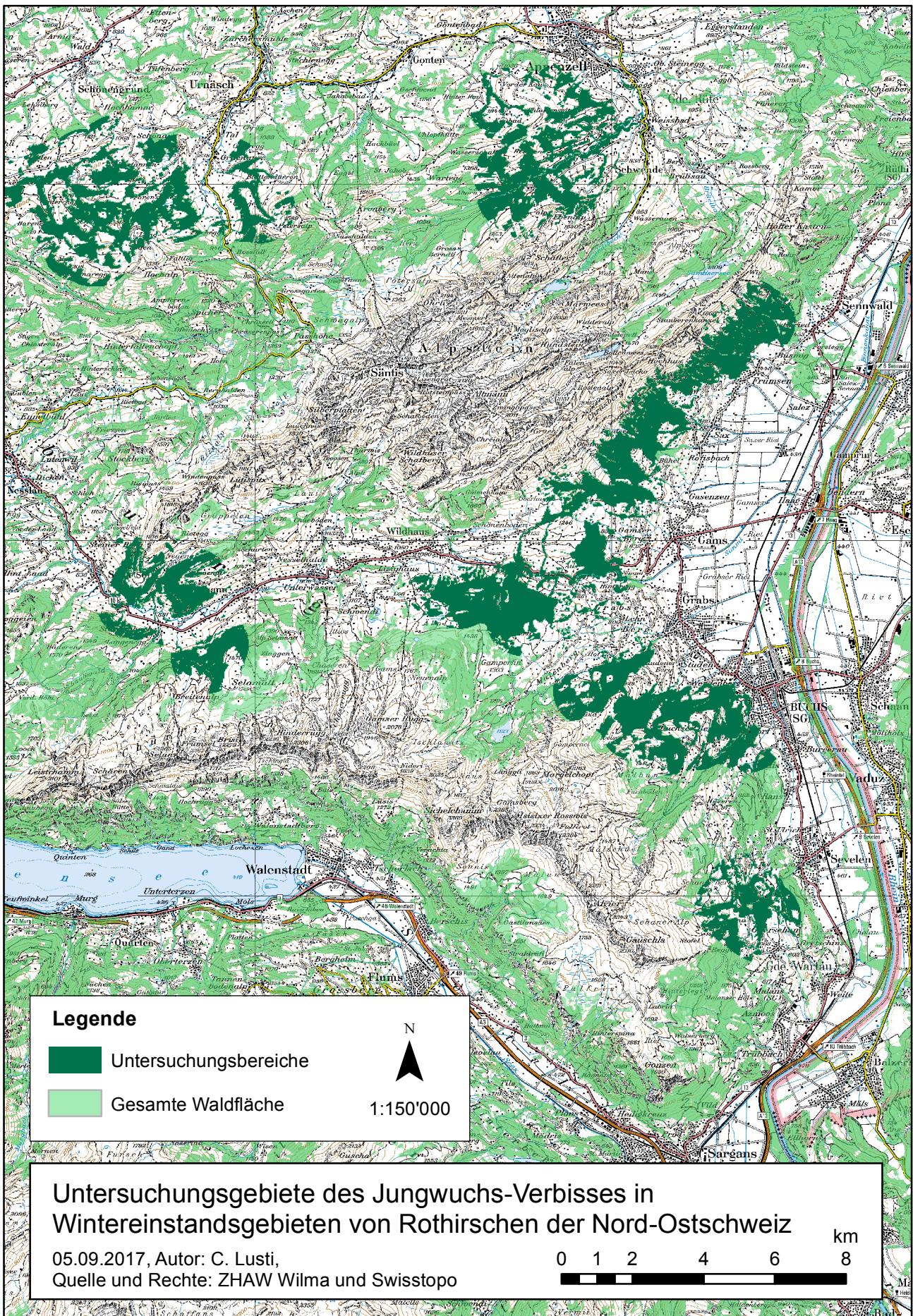


Abb. 3: Übersichtskarte der Waldgebiete in den Kantonen Appenzell Innerrhoden, Appenzell Ausserrhoden und St. Gallen in denen Aufnahmen durchgeführt wurden.

2.3. Feldaufnahme

Während des Zeitraumes vom 1. April bis 15. Juni 2017 haben wir 281 Punkte aufgenommen, davon waren 79 Präsenz- und 202 Absenzflächen. Mit einem mobilen GPS Gerät, eTrex 10 der Marke Garmin, wurden von uns die Untersuchungskoordinaten im Gelände angegangen. Um die Peilungsverzögerung des Gerätes auszugleichen haben wir bei einer Distanzangabe von weniger als 2 m bis zur Koordinate gewartet, bevor wir die Richtung angegangen sind. Den Koordinatenpunkt haben wir mit einer gut sichtbaren rot-weissen Textilröhre markiert. Darauffolgend bestimmten wir jeweils die Untersuchungsfläche von 25 x 25 m mit der GPS-Position als Mittelpunkt mit der Kante nach Norden ausgerichtet (Abb. 4).

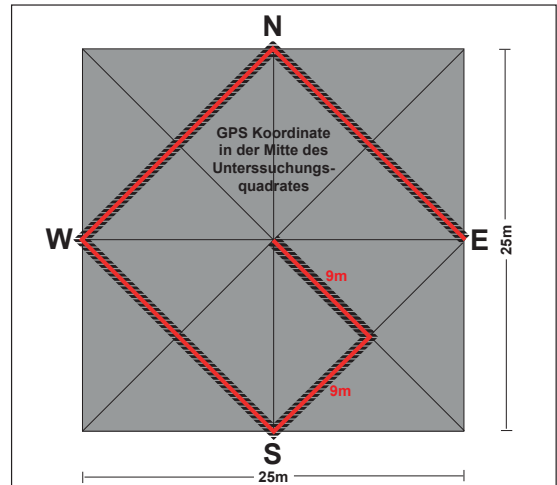


Abb. 4: Schematische Darstellung einer Untersuchungsfläche mit dem Perimeter zur Kothaufen-Zählung welcher mit einer roten Linie markiert ist. Der ganze Perimeter wurde links und rechts mit einem Meter Breite untersucht und alle Kothaufen gezählt welche mehr als 5 Kotstücke aufwiesen.

2.3.1. Verbiss

Wir überprüften die ersten zwei Jungbäume von sechs verschiedenen Baumarten und fünf verschiedenen Grössenkategorien auf Verbiss (Tab. 1). Andere Baumarten wurden unter der Kategorie *Übrige Nadelbaumarten* und *Übrige Laubbaumarten* aufgeführt. Dabei haben wir notiert ob die einzelnen Exemplare einen Frischverbiss (aus dem vergangenen Winter), alten Verbiss (älter als der vergangene Winter) oder kein Verbiss aufwiesen. Falls Verbiss erkennbar war, kategorisierten wir den Baum in leicht oder stark verbissen.

Tab. 1: Aufnahmekategorien der Arten und Grössen der Baumarten die auf Verbiss untersucht wurden.

| Grössen-Kategorien | Art-Kategorien |
|------------------------------|--|
| Kat. 1: 0.1 - 0.4m | FI - Fichte (<i>Picea abies</i>) |
| Kat. 2: 0.4 - 0.7m | TA - Tanne (<i>Abies alba</i>) |
| Kat. 3: 0.7 - 1.0m | BU - Buche (<i>Fagus sylvatica</i>) |
| Kat. 4: 1.0 - 1.3m | BA - Bergahorn (<i>Acer pseudoplatanus</i>) |
| Kat. 5: >1.3m & BHD bis 4 cm | VO - Vogelbeere (<i>Sorbus aucuparia</i>) ES - Esche (<i>Fraxinus excelsior</i>) ÜLH - übriges Laubholz ÜNH - übriges Nadelholz |

2.3.2. Kleinstandortsfaktoren

Eine grosse Anzahl von Kleinstandortsfaktoren wurden aufgenommen, welche einen möglichen Einfluss auf das Vorkommen und den Verbiss von Rothirschen haben könnten.

Sichtdistanz

Mittels Abschreiten oder unter dem Einsatz eines Distanzmessgeräts (Marke Bushnell Sport 850) haben wir in alle vier Himmelsrichtungen die Distanz evaluiert in welcher die Mittelpunktmarkierung des Aufnahmeplots noch sichtbar war und vermerkt, ob die Sichtlimitierung durch Topographie, Vegetation oder sonstige Hindernisse blockiert wurde.

Entwicklungsstufe

Die Entwicklungsstufen auf dem Plot haben wir in die folgenden Kategorien unterteilt und in Prozent aufgenommen:

Tab. 2: Aufnahmekategorien der Entwicklungsstufe auf dem Plot welche in Prozent erfasst wurden.

| | | | | | |
|---|--|--|---|---|---------------------------|
| Kategorie 1 Jungwuchs Dichtung (<12 cm) | Kategorie 2 Stangenholz (12-30 cm) | Kategorie 3 Schwachtes Baumholz (31-40 cm) | Kategorie 4 Mittleres Baumholz (41-50 cm) | Kategorie 5 Starkes Baumholz (>50 cm) | Kategorie 6 Unbestockt |
|---|--|--|---|---|---------------------------|

Kraut-, Strauch- und Baumschicht

Die Kraut- ($\leq 0.5\text{m}$), Strauch- ($0.5 - 3\text{ m}$) und Baumschicht ($> 3\text{ m}$) haben wir als Deckungsgrad (in % des Aufnahmeplots) aufgenommen. Zusätzlich haben wir jeweils den prozentualen Anteil des Flächenverhältnisses von Nadelbäumen zu Laubbäumen der einzelnen Deckungsgrade erfasst. Auch notierten wir die drei dominierenden Arten der Strauch- und Baumschicht, dazu haben wir bei letzterem die Stammzahlen der dominierenden Arten gezählt. Die Grundfläche der im Plot vorhandenen Bäume haben wir mit dem App Moti nach Rosset et al. (2015) mit dem Faktor 2 als Einstellung berechnet. Als Messpunkt diente die Position des BHD in 1.3 m über dem Boden.

Weitere Variablen

In den Plots massen wir liegendes Totholz mit einem Mindestdurchmesser von 0.2 m und notierten eine allfällige Beastung. Weiter nahmen wir mit einem Sonnenkompass (Marke: Herzog Forsttechnik) im Zentrum der Untersuchungsfläche die Anzahl Sonnenstunden für Februar und Juli auf.

2. 3. 3. Präsenzindikatoren

Als Präsenzindikatoren von Ungulaten zählten wir die Kothaufen von Reh, Gämse und Rothirsch. Dabei sind wir in jedem Plot ein Transekt von 2 m Breite wie in Abb. 4 aufgezeigt, abgeschritten. Ein Kothaufen rechneten wir mit ein, wenn er aus mehr als 5 Kotkügelchen bestand. Im Plot suchten wir auch nach Bäumen welche frische oder alte Schälungen aufwiesen.

2. 3. 4. GIS - Variablen

Die folgenden Faktoren habe ich später zu den einzelnen Aufnahmen hinzugefügt.

Solrad: Sonneneinstrahlung in Wattstunden/Quadratmeter, berechnet mittels des Digitalen Höhenmodells (dhm25) im Zeitraum Januar bis Mitte März, 14 Tage Intervall und einer Auflösung von 0.5 h, Sky 200

Höhe: Meereshöhe in Metern über Meer

Slope: Hangneigung in Grad

2.4. Datenanalyse & Statistik

Die Verbissvariablen wurden pro Plot auf die Verbissanteile aller Baumarten zusammen, sowie für die Laub- und Nadelbäume getrennt, aufgeschlüsselt. Folgend habe ich auf Artniveau die Verbissintensität nach Eiberle & Nigg (1987) berechnet, welche aus dem Anteil der verbissenen Gipfeltriebe

an der Gesamtzahl der vorhandenen Bäume kalkuliert wird.

Alle statistischen Analysen und Plots habe ich mit dem Programm R (Version 3.2.1) ausgeführt. Um die Mittelwerte zu vergleichen, verwendete ich den Wilcoxon Rangsummentest (Signifikanzniveau 0.05). Die aufgenommenen Faktoren wurden mittels Spearman's Korrelations-Koeffizient mit der Menge an Jungwuchs und Verbissanteil überprüft.

Um eine räumliche Korrelation der Anteile des Gesamt-, Laubbaum- und Nadelbaumverbisses zu überprüfen, führte ich einen Mantel Test (Befehl `correlog` des `Packetes ncf`) durch, welches bei univariaten Daten mit dem Moran's I Index arbeitet (Moran, 1948). Berechnet wurde die mittlere Korrelation der ersten 11 Nachbarn, gruppiert in 200 m Distanzeinheiten und maskiert, wenn signifikante Werte vorhanden waren.

Den Einfluss von Habitatsvariablen auf den Verbiss erklären zu können, untersuchte ich mit `rcorr` (Packet `Hmisc`) ob der Jungwuchs in direkter Beziehung mit Faktoren steht. Mittels Boxplots wie auch einer lokal gewichteten Regressionslinie und einem Konfidenzintervall stellte ich diese dar (Cleveland, 1981). Weiter erstellte ich ein multiples Regressionsmodell (Backhaus et al., 2016). Dazu überprüfte ich die Verbissanteile auf Normalverteilung mit dem Shapiro Test und einem QQ-Plot. Die Verbissprozente des gesamten Jungwuchs, wie auch die Anteile der Laubbäume zusammengefasst, bestätigten mit $\text{Shapiro} < 0.001$ die Normalverteilungsannahme nicht. Jedoch weisen sie im QQ-Plot nur geringe Abweichungen auf. Im QQ-Plot mit den Verbissanteilen der Nadelbäume als abhängige Variable ist die Abweichung leicht grösser.

Weiter suchte ich vorab nach korrelierenden Variablen um diese auszuschliessen. Mittels dem Befehl `rcorr` mit Spearman Korrelation (Packet `Hmisc`) stellte ich eine gegenseitige Variablen Beziehung fest. Faktoren mit einer positiven oder negativen Korrelation grösser als 0.3 und Signifikanz ($p < 0.05$) habe ich aus dem Modell entfernt. Mittels Step Analyse wurden nicht signifikante Variablen ebenfalls ausgeschlossen. Ich führte die Step Analyse manuell mit Vorwärts- und Rückwärtsschritten durch, um die Robustheit des Modells zu evaluieren. Der Befehl `regsubset` (Packet `leaps`) zeigte auf, für welche Verbissanteile welche Faktoren verwendet werden können. Schliesslich habe ich eine multivariate lineare Regressionsanalyse durchgeführt, um die Beziehung des Verbisses in den Plots mit den Faktoren feststellen zu können. Im Feld aufgenommene Werte, welche ausserhalb der 1.5-fachen Interquartilsabstand liegen ($1.5 * \text{IQR}$), wurden ausgeschlossen um das Modell nicht zu verfälschen. Ich standardisierte die verwendeten Variablen und verwendete das beste Modell basierend auf Akaike's Information Criterion (AIC) (Burnham & Anderson, 2002). Um herauszufinden, welchen Einfluss die mittels Kothaufen gemessene Rothirschpräsenz auf das Verbissaufkommen hatte, habe ich weitere Modelle mit der Kothaufenzählung als einzelne unabhängige Variable erstellt. R^2 habe ich mit dem Verbissvorkommen als abhängige Variable und den Rothirschkothaufen als unabhängige Variable berechnet. So erhielt ich den Anteil der Varianz, welcher den Verbiss durch die Rothirschpräsenz erklärt.

3. Ergebnisse

3.1. Allgemein

JUNGWUCHS

Gesamt untersuchten wir 281 Flächen, wovon wir bei 22.4% keinen Jungwuchs feststellen konnten (63 Plots). Der Median des Jungwuchses betrug 6 Exemplare pro Plot, alle Alterskategorien und Arten miteinbezogen (\bar{x} 7.6). Rund die Hälfte des gesamten Jungwuchses der Plots bestand aus Fichten und Buchen, wobei die Buche mit 27% Jungwuchs am meisten vorhanden war. Esche, Tanne, Vogelbeere und Bergahorn wiesen einen Anteil von 8 - 13% des

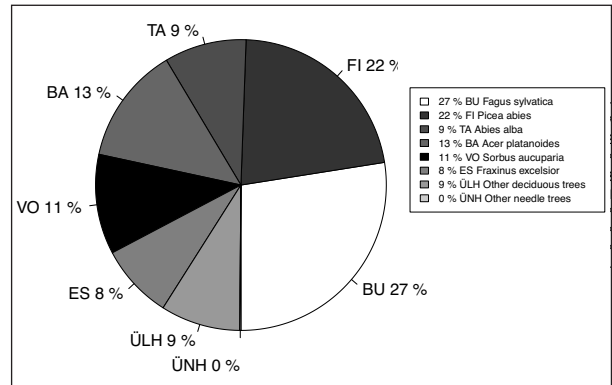


Abb. 5: Die Anteile der gefundenen Arten in allen Plots zusammengefasst.

gesamten Jungwuchses auf (Abb. 5). Mittels Spearman Rang Korrelation konnte ich eine signifikante Beziehung zwischen der Anzahl Jungbäume und vier der gemessenen Faktoren feststellen. Die gemessenen Sonnenstunden im Juli, wiesen mit +0.27 eine leicht positive Beziehung auf. Die Stammgrundfläche wie auch der Baumdeckungsgrad zeigten eine negative Korrelation auf mit -0.31 und -0.40 (Abb. 6-8). Die Kothaufen-Zählung brachte zwar eine signifikante, jedoch nur leicht negative Beziehung mit dem Jungwuchs hervor (Abb. 9).

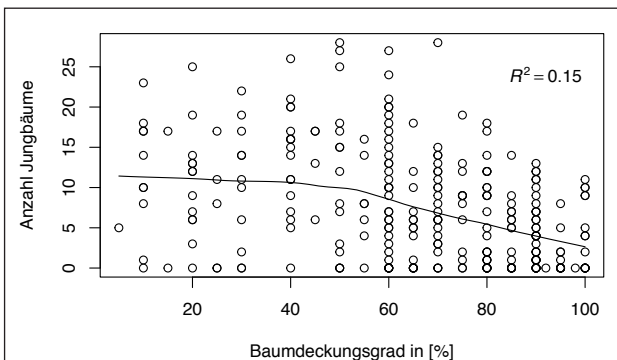


Abb. 6: Abnahme des Jungwuchses bei Zunahme des Baumdeckungsgrades, mit lokal gewichteter geglätteter Regressionslinie (Loess).

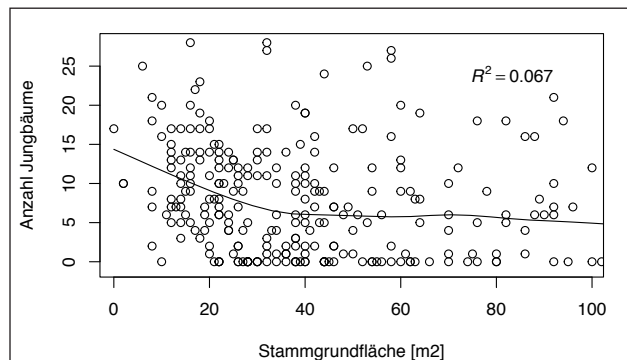


Abb. 7: Abnahme des Jungwuchses bei Zunahme der Stammgrundfläche m² pro Hektare, mit lokal gewichteter geglätteter Regressionslinie (Loess).

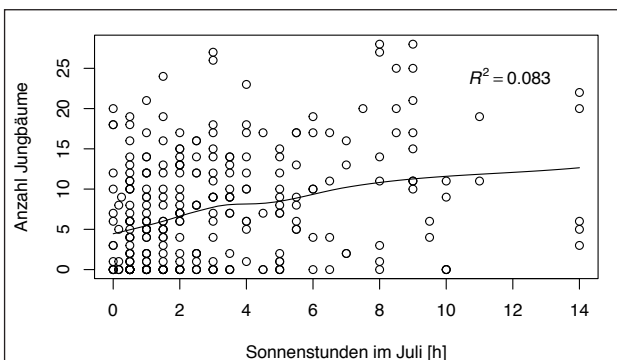


Abb. 8: Zunahme des Jungwuchses bei Zunahme der Sonnenscheindauer im Juli, mit lokal gewichteter geglätteter Regressionslinie (Loess).

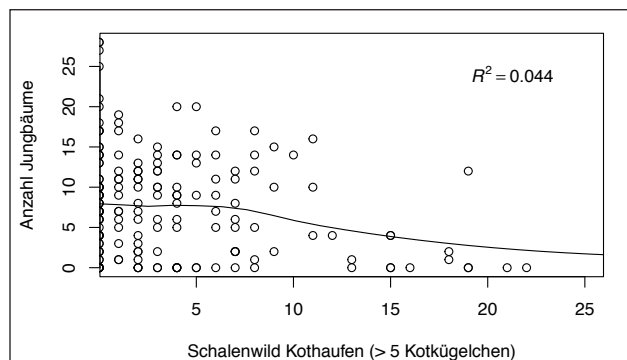
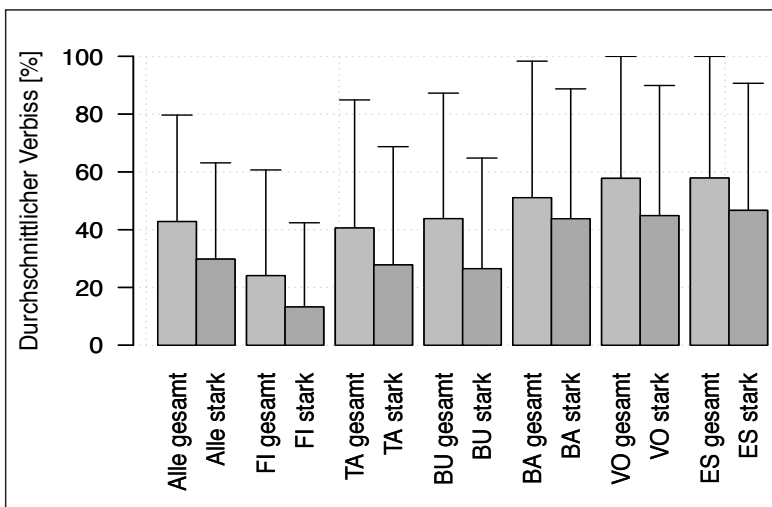


Abb. 9: Leichte negative Korrelation (-0.18) zwischen Anzahl Jungbäumen und der Anzahl Kothaufen der Wildhuftiere Rothirsch, Reh und Gämse, mit lokal gewichteter geglätteter Regressionslinie (Loess).

VERBISS

Auf den Untersuchungsplots waren die Eberesche/Vogelbeere mit einem Verbissanteil von durchschnittlich 57.8% (Median 70%) und die Esche mit 57.9% (Median 67%) am meisten verbissen. Danach folgte der Bergahorn mit 51.0% (Median 50%). Aufgrund der kleinen Jungwuchsanteile lag die Weisstanne im Median auf einem tiefen Verbissanteil von 16.7% doch mit einem Durchschnitt von 40.6%. Der grosse Anteil an unverbissenen Fichten ergab ein Median von 0% mit einem Durchschnitt von 24.0% (Abb. 10). Werden die Verbissanteile mit der Intensität ausgewertet und mit den ergänzten Verbiss-Grenzwerten von Rüegg (2013) verglichen, liegen die Verbissintensitäten aller Arten über den Grenzwerten (Tab. 3). Die Tanne weist mit 27.8% Starkverbiss drei Mal höheren Verbiss als der Grenzwert auf. Am kleinsten ist der Unterschied bei der Fichte mit 1.2% Unterschied zum Grenzwert.



| Verbissanteil in Prozent | Gesamt | Starker Trieb Verbiss | Differenz zu Grenzwerten |
|--|--------|-----------------------|--------------------------|
| Gesamt | 42.8 | 29.8 | |
| Fichte - FI (<i>Picea abies</i>) | 24.0 | 13.2 | 1.2 |
| Tanne - TA (<i>Abies alba</i>) | 40.6 | 27.8 | 18.8 |
| Buche - BU (<i>Fraxinus excelsior</i>) | 43.8 | 26.5 | 6.5 |
| Bergahorn - BA (<i>Acer platanoides</i>) | 51.0 | 43.8 | 13.8 |
| Eberesche - VO (<i>Sorbus aucuparia</i>) | 57.8 | 44.9 | 9.9 |
| Esche - ES (<i>Fraxinus excelsior</i>) | 57.9 | 46.7 | 11.7 |

Abb. 10: Gesamtverbissanteil der Baumarten in allen Plots zusammengefasst mit Standardabweichung. Alle Baumarten zusammengefasst, wie auch Fichte (FI), Tanne (TA), Buche (BU), Bergahorn (BA), Vogelbeere/Eberesche (VO), Esche (ES) sind mit dem gesamten Anteil des Verbisses wie auch mit dem stark verbissenen Anteil dargestellt.

Tab. 3: Verbissintensität aufgeteilt auf die Baumarten, in allen Plots zusammengefasst, mit der Differenz zu den Verbissgrenzwerten von Rüegg (Eiberle & Nigg, 1987; Rüegg, 2013).

3.2. F1: Einfluss der Wintereinstandsgebiete von Rothirschen

Im Mittel wiesen die Wintereinstandsflächen (Präsenzplots) mehr als doppelt so hohe Verbiss-Werte wie die Absenzplots auf (Abb. 11). Der gesamte Verbiss, mit allen Baumarten eingeschlossen, betrug 17.2% im Vergleich dazu 5.5% bei den Absenz Plots (Tab. 4). Der Gesamtverbiss in den Präsenzplots war signifikant höher als in den Absenzplots (Wilcoxon Test; $p = 0.010$).

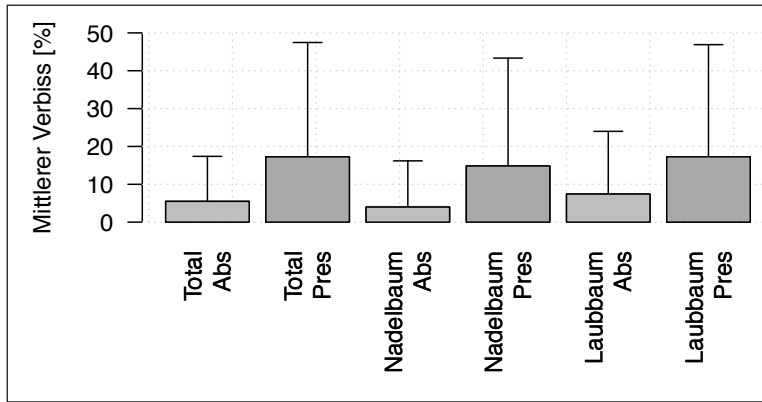


Abb. 11: Durchschnittlicher frischer Verbiss (aus vergangemem Winter) in den Präsenzplots (Pres) und Absenzplots (Abs) für alle Bäume zusammen (Total) sowie getrennt für Laub- und Nadelbäume.

| | | Durchschnitt | SA |
|-----------|------|--------------|------|
| Gesamt | Abs | 5.5% | 11.9 |
| | Pres | 17.2% | 30.2 |
| Nadelbaum | Abs | 4.0% | 12.2 |
| | Pres | 14.8% | 28.5 |
| Laubbaum | Abs | 7.4% | 16.6 |
| | Pres | 17.2% | 29.6 |

Tab. 4: Prozentualer Durchschnittsverbiss in den Präsenz- und Absenzplots mit Standardabweichung (SA).

3.3. F2: Räumliche Korrelation des Verbissaufkommens

Bei allen durchgeführten räumlichen Korrelationsüberprüfungen zeigt der Mantel-Test bis zum Abstand von 900 m eine konstante Abnahme der räumlichen Zusammenlagerung des Verbissaufkommens (Abb. 12). Der Test der Verbissprozent aller Baumarten zusammengefasst, weist bis zu einer Distanz von 698 m signifikante Werte auf ($p = 0.024$ bis 0.049). Diese Werte zeigen eine positive räumliche Beziehung von über 0.57 bei der ersten Nachbarklasse bis 200 m Entfernung, mit einer mittleren Distanz von 124 m (Anhang C). Bis in einer Distanz von 300 m ist ein ähnliches Verbissvorkommen wahrscheinlich. Ab 800 m ist der Wert bei 0 und zeigt eine zufälliges Vorkommen der Verbissanteile. Bei der räumlichen Analyse auf Verbissvorkommen von Nadelbäumen weist nur die zweite Nachbarschaftskategorie eine Signifikanz mit einem P-Wert <0.05 auf, mit einer leicht positiven Korrelation von 0.2 bei einer Distanz von 305 m. Der Verbiss der Laubbäume hingegen, weist wie auch der Gesamt-Verbiss, bei den ersten vier Nachbarschaftskategorien Signifikanz auf ($p = 0.02$). Die räumliche Korrelation liegt bei einem Moran's I Wert von über 0.34 in einer Distanz bis zu 497 m mit einem Maximum der ersten Kategorie von 0.51 im Abstand von 126 m.

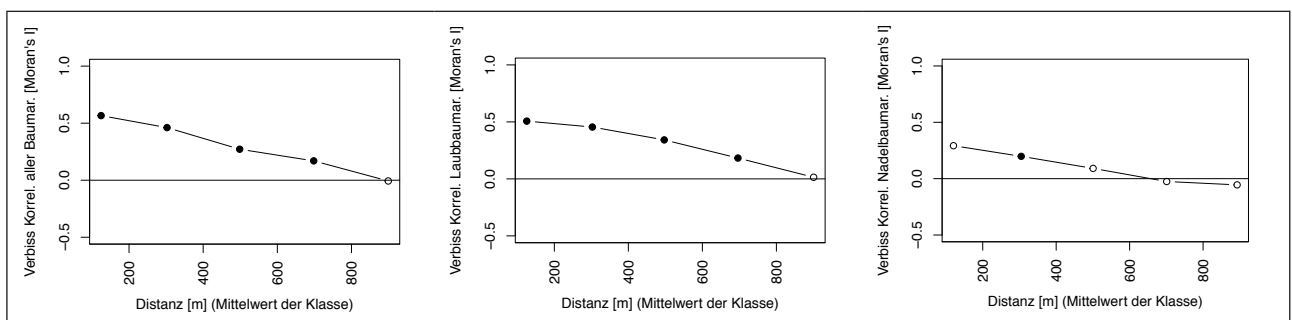


Abb. 12: Räumliche Autokorrelation des Verbissaufkommens mit Moran's I in Abhängigkeit der Nachbardistanzen; untersucht auf die Mittelwerte von fünf Klassen in 200 m Distanzen. Gefüllte Punkte markieren signifikante Werte. Die Analyse wurde auf das Verbissvorkommen aller Baumarten zusammen sowie für die Laub- und Nadelbaumarten durchgeführt

3.4. F3: Einflussfaktoren auf den Verbiss

DIREKTE FAKTOREN KORRELATION

Im Spearman Korrelationstest zeigte der prozentuale Anteil des Gesamtverbisses eine negative Beziehung mit Solrad (-0.22) und einen positiven mit Stammgrundfläche (0.27) auf. Bei den Laubbäumen bestand bei der Stammgrundfläche mit 0.27 und bei der Meereshöhe mit 0.27 eine positive Beziehung. Die Solrad wies auf eine negative Beziehung mit -0.23 wie auch die Sonnenstunden Februar mit -0.27 auf. Bei den restlichen untersuchten Faktoren waren die Beziehungen nicht signifikant oder lagen die Werte unter 0.20/-0.20. Verbissdruck nimmt bei einer Stammgrundfläche bis ca. 30m² von 50% auf 20% ab und steigt dann wieder leicht an (Abb. 13). Mit rund 20-30 m² ist der Anteil an verbissenem Jungwuchs am kleinsten.

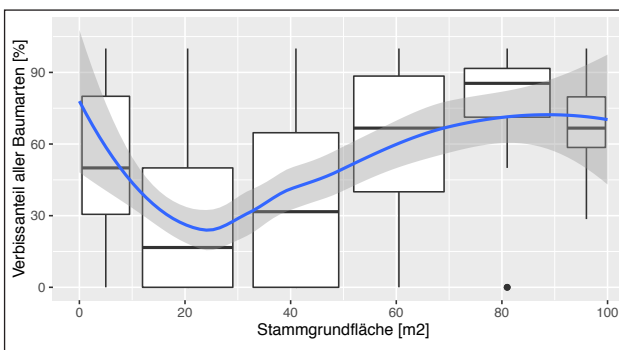


Abb 13: Anteil des Verbisses (%) in Abhängigkeit mit der Stammgrundfläche (m²), mit lokal gewichteter Regressionslinie (Loess) und 95% Vertrauensintervall

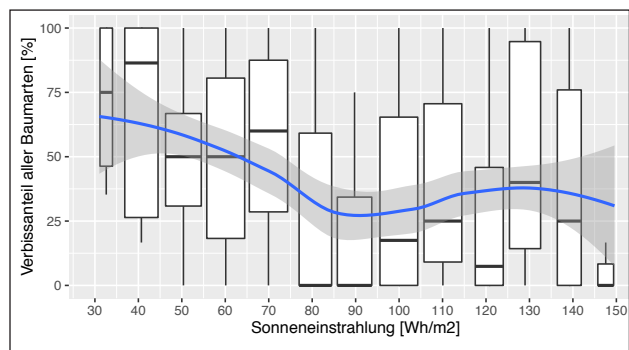


Abb 14: Anteil des Verbisses (%) mit einer negativen Beziehung zur Solarradiation, mit lokal gewichteter Regressionslinie (Loess) und 95% Vertrauensintervall

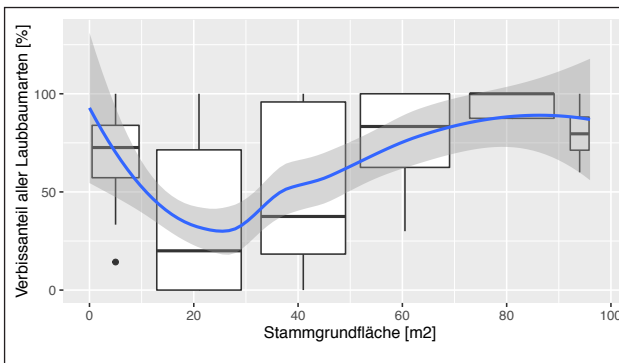


Abb 15: Verbiss (%) bei Zunahme der Stammgrundfläche (m²) bei Laubbäumen, mit lokal gewichteter Regressionslinie (Loess) und 95% Vertrauensintervall

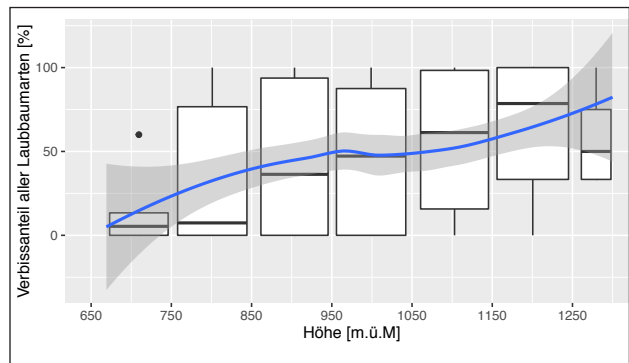


Abb 16: Positive Beziehung des Verbisses mit der Höhe (m.ü.M) bei Laubbäumen. Plot mit lokal gewichteter Regressionslinie (Loess) und 95% Vertrauensintervall

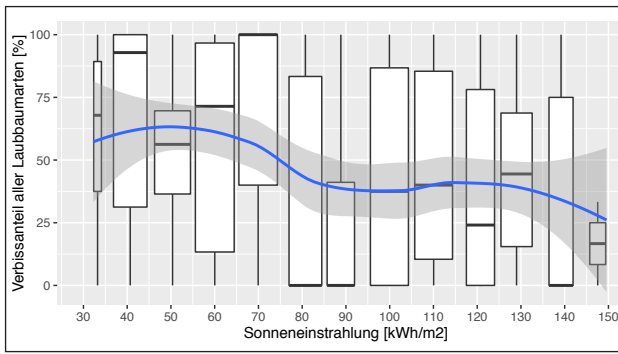


Abb 17: Verbissanteile bei Laubbäumen je grösser die Sonneneinstrahlung auf die Versuchsflächen einwirkte, mit lokal gewichteter Regressionslinie (Loess) und 95% Vertrauensintervall

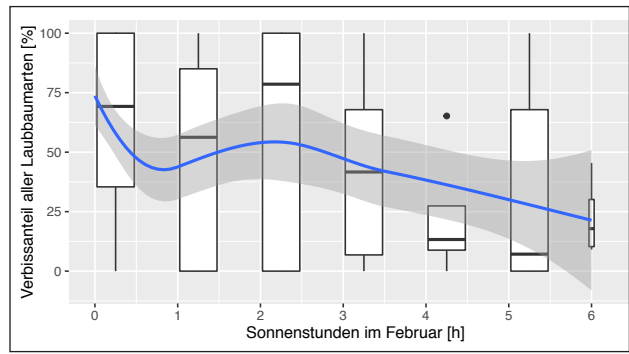


Abb 18: Verbissanteile bei Laubbäumen bei einer Zunahme der Sonnenstunden im Februar, mit lokal gewichteter Regressionslinie (Loess) und 95% Vertrauensintervall

MODELLAUSWAHL

Die Step Analyse ergab die folgende Modelformel:

$$\text{Verbissprozente} = \text{Intercept} + \text{Meereshöhe} * \text{Koeff. 1} + \text{Deckungsgrad Baumschicht} * \text{Koeff. 2} + \text{Solrad} * \text{Koeff. 3} + \text{Stammgrundfläche} * \text{Koeff. 4} + \text{Strauchschicht DG} * \text{Koeff. 5}$$

Der für die Modellselektion verwendet Leaps-Plot (Anhang D), zeigte für Laubbaum, Nadelbaum und Gesamtverbissprozente verschiedene Variablen, welche für ein optimales Modell verwendet werden sollten.

GLM MODELL ZUM GESAMTVERBISS

Das beste Model erklärte den Gesamt-Verbiss zu 26.8% und beinhaltet die Faktoren Meereshöhe, Stammgrundfläche, Solarradiation und den Deckungsgrad der Baum- und Strauchschicht. Die Stammgrundfläche, die Meereshöhe und der Deckungsgrad der Strauchschicht führen zu einer Erhöhung des gesamten Verbissanteils, hingegen der Deckungsgrad der Baumschicht wie auch die Sonneneinstrahlung (Solrad) verkleinern ihn (Tab. 6). Die Stammgrundfläche wies im Modell den grössten Einfluss auf den Verbiss auf. Der Beitrag der Rothirschpräsenz am Gesamtverbiss wird mit einem R^2 von 14.4% (AIC 1364) teilweise erklärt (Anhang E).

| Abhängige Variable: | Gesamtverbiss [%] | | | Laubbaum Verbiss [%] | | | Nadelbaum Verbiss [%] | | |
|---------------------|---|---------|---------|---|---------|---------|---------------------------|-------|---------|
| Modell | Meereshoehe + Stammgrundflaeche + Baumschicht DG + Solrad + Strauchschicht DG | | | Meereshoehe + Stammgrundflaeche + Baumschicht DG + Solrad + Strauchschicht DG | | | Stammgrundflaeche | | |
| | Estimate | SE | P-Value | Estimate | SE | P-Value | Estimate | SE | P-Value |
| Stammgrundflaeche | 13.140 | 2.483 | <0.001 | 15.728 | 3.184 | <0.001 | 14.652 | 5.157 | 0.006 |
| Baumschicht DG | -7.126 | 2.568 | 0.006 | -7.783 | 3.116 | 0.013 | Nicht im Modell enthalten | | |
| Solrad | -5.666 | 2.471 | 0.023 | -6.838 | 3.091 | 0.029 | Nicht im Modell enthalten | | |
| Meereshoehe | 7.742 | 2.502 | 0.002 | 11.074 | 2.902 | <0.001 | Nicht im Modell enthalten | | |
| Strauchschicht DG | 7.887 | 2.619 | 0.003 | 9.132 | 3.019 | <0.003 | Nicht im Modell enthalten | | |
| | R ² : | 0.268 | | R ² : | 0.342 | | R ² : | 0.128 | |
| | P-Wert: | < 0.001 | | p-value: | < 0.001 | | p-value: | 0.006 | |
| | AIC | 1601 | | AIC | 1187 | | AIC | 477 | |

Tab. 5: Beziehung von Laubbaum-, Nadelbaum- und Gesamtverbissanteilen zu den aufgenommenen Variablen Stammgrundfläche, Baumschicht Deckungsgrad (DG), Solrad, Höhe über Meer (Altitude), Strauchschicht Deckungsgrad (DG), nur Variablen welche Signifikanz aufwiesen wurden in den jeweiligen Modellformeln verwendet

MODELL ZUM LAUBBAUMVERBISS

Der Laubbaumverbiss wird mit dem besten Modell zu 34.2% erklärt. Dabei steigt der Verbiss mit zunehmender Stammgrundfläche und mit der Höhe über Meer. Wie beim Modell zum Gesamtverbiss, weist im Modell zum Laubbaumverbiss die Stammgrundfläche den grössten Einfluss auf. Jedoch erhöhte sich der Einfluss der Höhe und des Deckungsgrades der Strauchschicht. Die Sonneneinstrahlung und der Deckungsgrad der Baumschicht führen zu weniger Verbiss. Im Modell erklärt die gemessene Rothirschpräsenz die Varianz des Laubbaumverbisses mit einem R^2 Wert von 17.9% (AIC 1009) (Anhang E).

MODELL ZUM NADELBAUMVERBISS

Das Modell für den Nadelbaumverbiss wies nur eine signifikante Variable auf. Die Stammgrundfläche führte zu einem erhöhten Verbissanteil und erklärte die Varianz zu 12.8%. Mit den gezählten Kothaufen als Präsenzindikator und als alleiniger Faktor im Modell wurde keine Signifikanz festgestellt, so kann die Rothirschpräsenz die Varianz des Verbissvorkommens nicht erklären (Anhang E).

4. Diskussion

4.1. Auftreten von Jungwuchs und Verbiss

Die festgestellte, negative Beziehung der Anzahl Jungbäume mit der Stammgrundfläche, deckt sich mit der Abnahme der Jungbäume, wenn die Menge der Adultbäume zunimmt (Suter, 2005a). Auch nahm der Jungwuchs mit der Zunahme des Baumdeckungsgrades ab. Bei der Zunahme des Baumdeckungsgrades wäre gleichzeitig eine Abnahme des Jungwuchses durch die Verringerung der Sonnenscheindauer zu erwarten. In dieser Untersuchung stellte ich das Gegenteil fest, es besteht gleichzeitig eine positive Korrelation zwischen Anzahl Jungwuchs und der Sonnenscheindauer im Juli. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die zwei am häufigsten festgestellten Baumarten, die Fichte und die Buche, schattentolerante Arten sind.

Die in dieser Untersuchung am meisten verbissenen Baumarten Tanne, Ahorn, Vogelbeere und Esche deckten sich mit den Präferenzen der Ungulaten reportiert in anderen Studien (Brändli, 1996; Senn et al., 2012). Wenn man die Verbisswerte der einzelnen Baumarten mit den kritischen Verbissprozenten vergleicht, werden diese klar überschritten. Dies zeigt speziell bei der Weisstanne ein fehlen von Jungwuchs in den untersuchten Regionen. Da diese jedoch ohne die entsprechenden waldbaulichen Verjüngungsziele betrachtet werden und kleinräumig aufgenommen wurden, lässt sich keine klare Aussage über ein Jungwuchs-Defizit in den einzelnen Regionen treffen. Bei einer kleinräumigen Untersuchung die Verbissprozente schwierig in ein Verhältnis zu setzen, da nicht auf jeder Teilfläche im Wald-Wild Management für eine genügende Verjüngung gesorgt werden kann (Odermatt, 2009). Die festgestellte Standardabweichung ist vermutlich auf die Grösse der Stichprobenfläche zurückzuführen. In der Praxis bewährten sich Flächen grösser als 30 ha (BAFU, 2010). Die gemessenen Verbissprozente als Einfluss auf die Waldverjüngung zu messen, wäre jedoch ein Fehler, da sie nur das Verhältnis von verbissenen, zuvor schon vorhandenen Jungbäumen darstellen (Odermatt, 2009).

4.2. F1: Verbiss in Abhängigkeit der Rothirschpräsenz

Der Verbiss in den Präsenzaufnahmen des Rothirsches zeigte signifikant grössere Durchschnittswerte. Es ist daher anzunehmen, dass die Wintereinstandsgebiete des Rothirsches unter erhöhtem Verbissdruck stehen. Das GLM-Modell der Verbissanteile zeigte mit den Kothaufen als alleinigen Faktor nur ein kleiner Teil des Verbisses durch die Rothirsch-Präsenz in den Plots erklärt werden kann. Das Wissen über den Wintereinstand der Rothirsche, kombiniert mit dem Verbisszeitpunkt der jeweiligen Baumarten könnte zu einem gezielteren Waldbau führen, da Wintereinstände teilweise über Jahre hinweg dieselben aufgesucht werden (Haller, 2002). So könnten Förster Schutzmassnahmen auch da einsetzen, wo sie benötigt werden. Dies betrifft vorwiegend die Baumarten Tanne, Fichte und Buche da diese im Winter dem Rothirsch am meisten als Nahrung dienen (Odermatt, 2014). Gerade die Weisstannen, welche im Schutzwald besonders benötigt werden, liegen schweizweit über den Grenzwerten der Verbissintensität (Kupferschmid, 2015). Diese Baumart könnte mit diesem Wissen gezielter gefördert werden.

4.3. F2: Räumliche Korrelation des Verbissaufkommens

Die Kartenausschnitte mit den Verbisswerten im Anhang B deuteten auf eine Ähnlichkeit der Verbissstärke von nahe beieinander liegenden Plots. Dass das Verbissvorkommen nicht zufällig verteilt ist, wird durch die Analyse mit Moran's I aufgezeigt. Über die Verteilung des Nadelbaumverbiss lässt sich weniger aussagen, da der Moran's I näher bei einer zufälligen Verteilung liegt nur in teilweise Signifikanz aufwies. Doch zeigte sich, dass beim Gesamt- und Laubbaumverbiss in einer Distanz von 300 m eine räumliche Gruppierung (Moran's I 0.45) die grösser ist, als wenn die Verbisszahlen zufällig wären. Eine Aussage dieser räumlichen Beziehung ist örtlich limitiert, da die Rothirschnahrung nicht nur saisonal, sondern auch entsprechend seinem Habitat variiert (Gebert & Verheyden-Tixier, 2001). Der Rothirsch besiedelt verschiedene Lebensräume und selektioniert seine Nahrung quantitativ und verstärkt auch qualitativ (Suter, 2005b). Es ist daher anzunehmen, dass Verbisswerte in anderen Regionen der Schweiz unterschiedlich miteinander in Beziehung stehen.

4.4. F3: Verbiss und landschaftliche Faktoren

In dieser Studie bestand eine signifikante und positive Beziehung zwischen Höhe und Laubbaumverbiss (+0.26). Diese erhöhte sich (+0.38) wenn auf Plots mit mindestens fünf Bäumen (Höhenbereich von 0.1 m bis BHD 4 cm) eingegrenzt wurde. Zudem wies die Variable Höhe beim Laubbaummodell eine hohe Signifikanz auf, wie auch den zweithöchsten Einfluss der verwendeten Variablen. Dieser Einfluss in der Höhe lässt sich vermutlich mit der reduzierten Abundanz von Laubbäumen und dem Winterhabitat der Rothirsche begründen. Die meisten Laubbaumarten wie die Buche haben die besten Wachstumsbedingungen im montanen Bereich und nehmen mit der Höhe ab. Zusätzlich wird die Buche, welche die meist vorhandene Laubbaumart auf den Plots war, im Spätwinter bevorzugt verbissen (Odermatt, 2014). Diese Baumart könnte dem Rothirsch während des Wechsels in höhere Lagen vermehrt zum Opfer fallen. Es gilt zu beachten, dass alle untersuchten Flächen in der montanen Stufe liegen und sich die Auswirkungen auf den Verbiss in der hochmontanen oder subalpinen Stufe ändern können. Im Gegensatz zur Höhe, nahm der Verbissanteil bei zunehmender Sonneneinstrahlung ab. Die Sonneneinstrahlung wurde im Frühjahr ausgewertet und ist vorwiegend in nach Süden ausgerichteten Hanglagen gross. Die Habitatbevorzugung von Rothirschen im Winter sind nach Norden ausgerichtete Lagen (Haller, 2012). Diese Präferenz kann so den kleineren Verbissdruck in Waldflächen mit grosser Sonneneinstrahlung erklären.

Als weiterer gemessener Faktor führte auch die Anzahl Sonnenstunden im Februar bei Zunahme zu einer Reduktion des Verbissanteils. Dieser Faktor ist von der Topographie wie auch vom Waldstruktur abhängig, deshalb sollte er zu einem landschaftlichen, wie auch waldbaulichen Faktor gezählt werden. Eine grosse Anzahl Sonnenstunden im Februar geht mit einer fehlenden Deckung zu dieser Zeit einher. Dieser fehlende Schutz könnte zu einer Vermeidung dieser Bereiche führen. Zudem würde Schnee, welcher sich vermehrt in offeneren Waldbereichen ansammelt, den Verbiss von kleinen Jungbäumen verhindern.

4.5. F3: Verbiss in Abhängigkeit der Waldstrukturen

Die Stammgrundfläche zeigte eine positive direkte Korrelation mit dem Verbissaufkommen und hatte auch im Modell den grössten Einfluss auf den Verbiss. Lichte Bereiche mit Stammgrundflächen von weniger als 30 m² wiesen am meisten Jungwuchs wie auch am meisten Verbiss auf. Das kleinste Verbissaufkommen war bei einer Stammgrundfläche von 20-30 m² zu verzeichnen, in diesem Bereich pendelt sich auch die Jungwuchszahl bei einem Schnitt von ca. 6 Stück ein. Somit hat eine überdurchschnittliche Menge an Jungwuchs in Verbindung mit der Stammgrundfläche einen erhöhten Verbissdruck zur Folge. Dieser reduziert sich beim durchschnittlichen Jungwuchsbestand und kleiner Stammgrundfläche auf ein Minimum, nimmt jedoch mit sich erhöhender Stammgrundfläche wieder zu. Dies bestätigt eine vergangene Studie welche erhöhten Verbissdruck mit der Zunahme der vorhandenen Jungbäume aufzeigt (Kramer et al. 2006). Der steigende Verbissanteil bei einer Zunahme der Anzahl Jungbäume könnte auf eine grosse Schalenwildichte in dieser Region hindeuten. Doch kann dies auch mit dem opportunistische Äsungsverhalten des Rothirsches begründet werden. So wird akkumulierter Jungwuchs durch längere Präsenz des Rothirsches mehr verbissen und einzelner Jungwuchs weniger angegangen (Hofmann, 1989).

Ein kleinerer Baumdeckungsgrad hatte einen erhöhenden Effekt auf das Verbissaufkommen, dies lässt sich wiederum mit der erhöhten Stammzahl von Jungbäumen in aufgelichteten Waldpartien erklären, was zu einer Nutzungspräferenz dieser Bereiche führen könnte. Zusätzlich wird diese Präferenz durch mehr Deckungsgrad der Strauchschicht erhöht. Neben dem zusätzlichen Nahrungsangebot führt dies auch zu mehr Sichtschutz, was die Attraktivität für die Hirsche steigert.

Untersuchungen zeigten einen reduzierenden Einfluss einer für die Rothirsche geniessbaren Krautschicht auf das Verbissaufkommen (Ward et al. 2008). Dieser konnte in dieser Arbeit nicht festgestellt werden. Es könnte daran liegen, dass bei unseren Feldaufnahmen keine Artenaufnahme der Krautschicht durchgeführt wurde.

4.6. Ausgeschlossene Faktoren

Durch die Step Analyse wurden diverse Variablen von der Modellformel ausgeschlossen. Aufgrund der festgestellten und auch offensichtlichen Korrelation von Nadelbaumanteil der Baumschicht mit der Höhe über Meer, wäre es von Vorteil, den Faktor Nadelbaumanteil mit mehr Untersuchungsflächen in tieferen Lagen klären zu können. So könnte sicher gestellt werden, dass dieser Faktor auch wirklich ausgeschlossen werden kann. Auch die Menge an Sonnenstunden im Juli ist mit Krautbewuchs, Entwicklungsstufe 1 und dem Deckungsgrad korreliert. Dass diese Variablen dennoch einen Einfluss auf den Verbiss haben, ist anzunehmen.

4.7. Interpretation der Resultate

Die Modellformeln von Gesamt, Laubbaum und Nadelbaum weisen unterschiedliche Variablensignifikanzen in den Auswertungen auf. Daher ist davon auszugehen, dass das jeweilige Verbissaufkommen nur durch unterschiedliche Faktoren erklärt werden kann. Dies lässt sich ebenfalls mit den zeitlich verschobenen Nahrungspräferenzen begründen (Odermatt, 2014). Da alle Variablen vor der Auswertung skaliert wurden um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen, lassen sich die Variablen nur in der Priorität und Einflussstärke vergleichen. Eine direkte Faktorenänderung einer einzelnen Variable auf Einheitsbasis lässt sich nicht aus dem Modell herauslesen. Da einzelne korrelierende Faktoren schon ab einem Beziehungswert von 0.3 vom Modell ausgeschlossen wurden, sollte dies bei der Erstellung von weiteren Modellen weniger restriktiv durchgeführt werden. So könnten bei weiteren Untersuchungen Modelle erstellt werden, welche das Verbissaufkommen noch besser erklären.

5. Schlussfolgerungen

Durch Telemetriedaten konnten in dieser Untersuchung die Wintereinstandsgebiete von Rothirschen ausgewertet werden. In Kombination mit der durchgeführten Felduntersuchung von Standortvariablen trägt diese Arbeit zum Wissen über die Abhängigkeit des Verbissaufkommens von Topographie- und Vegetation bei.

Die Resultate zeigten einen mehr als doppelten Verbissdruck auf Jungbäume in den Wintereinstandsgebieten von Rothirschen. Dass der Verbiss von Laub- und Nadelbäumen von unterschiedlichen kleinräumlichen Faktoren abhängig ist, konnte durch die Step Analyse bestätigt werden. Im erstellten GLM-Modell erklären die Faktoren Stammgrundfläche, Höhe über Meer, Deckungsgrad der Baum- und Strauchschicht wie auch die Sonneneinstrahlung das Verbissaufkommen signifikant. Dabei wirkt sich der Faktor Stammgrundfläche am meisten auf das Modell aus. Dieser steht jedoch in einer unimodalen Beziehung. Der Tiefstwert des Verbissaufkommens liegt bei einer Stammgrundfläche von 30 m². Zunahme des Deckungsgrades der Baumschicht wie auch der Sonneneinstrahlung führen im Modell zu einer Reduktion des Verbissaufkommens. Die Höhe und die Strauchschicht führen zu einer Erhöhung. Die Auswertung dieser Arbeit deutet auf ein erhöhtes Verbissrisiko von Buchenjungwuchs in höheren montanen Lagen. Auch zeigt es ein kleineres Verbissrisiko für Jungwuchs auf, welches sich in lichten Waldbereichen mit grosser Sonneneinstrahlung, welche eine Stammzahl von rund 30 m²/ha befindet. Doch muss in Betracht gezogen werden, dass das beste Modell das Verbissaufkommen zu 34% erklärt.

Dieses Wissen über die kleinräumigen Habitatsfaktoren und die Raumnutzung von Rothirschen im Winter könnte bei waldbaulichen Planung in Betracht gezogen werden und könnte so zu verbesserten Ergebnissen führen.

In zukünftigen Studien könnten weitere Faktoren wie Waldgesellschaften und Störungsfaktoren in Modelle integriert werden und so weiteren Aufschluss auf das Äsungsverhalten geben. Mittels weiteren Felderhebungen und Auswertung auf einzelne Baumarten könnten multivariate Modelle mehr spezifiziert und so das Verbissvorkommen der einzelnen Baumarten besser erklärt werden. Damit könnten Waldbereiche aufgezeigt werden, in welchen mit erhöhtem Verbiss zu rechnen ist und der Jungwuchs mehr geschützt werden sollte.

6. Literaturverzeichnis

- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W. & Weiber, R. (2016). *Multivariate Analysemethoden Eine anwendungsorientierte Einführung*. Berlin: Springer Gabler Verlag.
- BAFU. (2010). *Wald und Wild - Grundlagen für die Praxis. Wissenschaftliche und methodische Grundlagen zum integralen Management von Reh, Gämse, Rothirsch und ihrem Lebensraum*. Umwelt-Wissen, 1013, Bern. 232 S.
- BAFU. (2013). *Waldpolitik 2020 Visionen, Ziele und Massnahmen für eine nachhaltige Bewirtschaftung des Schweizer Waldes*. Abgerufen am 10. September 2017 von <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wald/publikationen-studien/publikationen/waldpolitik-2020.html>
- Burnham, K.P., & Anderson, D.R. (2002). *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. Heidelberg: Springer Verlag.
- Brändli, U. B. (1995). *Zur Verjüngungs- und Wildschadensituation im Gebirgswald der Schweiz. Regionale Ergebnisse des ersten Landesforstinventars (LFI), 1983/85*. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 146(5), S. 355-378.
- Cleveland, W.S. (1981). *LOWESS: A program for smoothing scatterplots by robust locally weighted regression*. The American Statistician, 35(1), S. 54.
- Eiberle, K. & Bucher, H. (1989). *Interdependenzen zwischen dem Verbiss verschiedener Baumarten in einem Plenterwaldgebiet*. Zeitschrift Jagdwissenschaft, 35, S. 235–244.
- Eiberle, K. & Nigg, H. (1987). *Grundlagen zur Beurteilung des Wildverbisses im Gebirgswald*. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 138(9), S. 747–785.
- Eidgenössische Jagdstatistik (2017). *Bestand Rothirsch, ganze Schweiz: 2009 – 2016*. Abgerufen am 10. September 2017 von: <https://www.uzh.ch/wild/ssl-dir/jagdstatistik/>
- Gasser, N. (2009). *Ökonomische Bewertung von Schutzwaldpflege und technischen Schutzmassnahmen am Beispiel der Rigi-Nordlehne ein Beitrag zur Wald-Wild-Diskussion im Schutzwald*. Masterarbeit ETH Zürich.
- Gebert, C., & Verheyden-Tixier, H. (2001). Variations of diet composition of Red Deer (*Cervus elaphus* L.) in Europe, *Mammal review*, 31(3-4), S. 189–201.
- Graf, R. F. (2005). *The Importance of Spatial Scale in Habitat Models: Capercaillie in the Swiss Alps*, *Landscape Ecology*, 20(6), S. 703–717.
- Haller, H. (2002). *Der Rothirsch im Schweizerischen Nationalpark und dessen Umgebung: eine alpine Population von Cervus elaphus zeitlich und räumlich dokumentiert*. Nationalpark-Forschung in der Schweiz, Band Nr. 91.
- Hoffmann, R. R. (1989). *Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system*. *Oecologia*, 78, S. 443-457.
- Kramer, K., Groot Bruinderink, G.W.T.A., Prins, H.H.T. (2006). *Spatial interactions between ungulate herbivory and forest management*. *Forest Ecology and Management*, 226, S. 238–247.

- Kupferschmid, A.D., Heiri, C., Huber, M., Fehr, M., Frei, M., Gmür, P., Imesh, N., Zinggeler, J., Brang, P., Clivaz, J.C., Odermatt, O. (2015). *Einfluss wildlebender Huftiere auf die Waldverjüngung: ein Überblick für die Schweiz*. Schweizerisches Forstwesen, 166, S. 420–431.
- Lovari, S., Cuccus, P., Murgia, A., Murgia, C., Soi, F., & Plantamura, G. (2007). *Space use, habitat selection and browsing effects of red deer in Sardinia*. Italian Journal of Zoology, 74(2), S. 179-189.
- Moran, P.A.P. (1948). *The interpretation of statistical maps*. Journal of the Royal Statistical Society, 10(2), S. 243–251.
- Odermatt, O. (2009). *Wildtiereinfluss auf die Waldverjüngung messen: mit Stammzahlen oder mit dem Verbissprozent?* Schweizerisches Forstwesen, 160(10), S. 303–310.
- Odermatt, O. (2014). *Wann sind die kritischen Phasen?* Wald und Holz, 2, S. 23-26.
- Patrick, J. (2017). *Exploring the Impact of Contextual Variables on the Temporal Variability of Grazing and Risk Avoidance Patterns of Red Deer (Cervus elaphus) in an Alpine Environment*. Masterarbeit Universität Zürich.
- Reimoser, F. & Reimoser, S. (1997). *Wildschaden und Wildnutzen - zur objektiven Beurteilung des Einflusses von Schalenwild auf die Waldvegetation*. Zeitschrift für Jagdwissenschaft, 43(3), S. 186-196.
- Robin, K., Graf, R.F. & Schniedrig, R. (2017). *Wildtiermanagement Eine Einführung*. Bern: Haupt Verlag
- Rosset, C., Brand, R., Weber, D., Wuillemin, E., Gollut, C., Caillard, I., Fiedler, U. (2015). *MOTI – ein Tool für die Waldinventur im Taschenformat*. Wald Holz, 96(8), S. 45-48.
- Schmidt, P. (1976). *Das Wild der Schweiz : eine Geschichte der jagdbaren Tiere unseres Landes*. Bern: Hallwag Verlag
- Senn, J. & Suter, W. (2003). *Ungulate browsing on silver fir (Abies alba) in the Swiss Alps: beliefs in search of supporting data*. Forest Ecology and Management, 181, S. 151–164.
- Suter, W. (2005a). *Vom Verbissprozent zur Walddynamik: Der weite Weg zum Verständnis der Wechselbeziehungen zwischen Wald und Huftieren*. Forum für Wissen, S. 7–16.
- Suter, W. (2005b). *Nahrungswahl und Raumnutzung der Huftiere – ein eng verflochtenes System*. Forum für Wissen, S. 31–39.
- Verheyden-Tixier, H., Renaud, P.C., Morrelet, N., Jamot, J., Besle, J.M., Dumont, B. (2008). *Selection for nutrients by red deer hinds feeding on a mixed forest edge*. Oecologia, 156(3), S. 715–726.
- Ward, A.I., White, P.C.L., Walker, N.J., Critchley, C.H. (2008). *Conifer leader browsing by roe deer in English upland forests: Effects of deer density and understorey vegetation*. Forest Ecology and Management, 256, S. 1333–1338.
- Worton, B.J. (1989). *Kernel Methods for Estimating the Utilization Distribution in Home-Range Studies*, Ecology, 70(1), S. 164–168.

7. Abbildung- und Tabellenverzeichnis

Titelbild: Verbissene Weisstanne (Quelle: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/11/Tannenverbiss.jpg>)

| | |
|---|----|
| Abb. 1: Abschusszahlen über die gesamte Schweiz des Rothirsches mit ermitteltem Bestand. Bestandeszahlen welche durch Fallwild und Jagd ermittelt werden, sind jedoch erst ab 1968 verfügbar (Eigene Darstellung, Daten der Eidgenössischen Jagdstatistik). | 3 |
| Abb. 2: Die linke Karte zeigt die Ungulatendichte von Ost nach West (Anzahl/100ha) erfasst durch die kantonalen Jagdstatistiken 1993-1995 (Einheit RE; RE = 1 Rothirsch = 2 Rehe = 3 Gämsen). Die Rechte Karte zeigt nach LFI die verschiedenen Forstregionen und deren Verhältnis der Verjüngungsdichte zu Verbissrate. Karten nach Brändli (1995), aus Senn und Suter (2003). | 4 |
| Abb. 3: Übersichtskarte der Waldgebiete in den Kantonen Appenzell Innerrhoden, Appenzell Ausserrhoden und St. Gallen in denen Aufnahmen durchgeführt wurden. | 8 |
| Abb. 4: Schematische Darstellung einer Untersuchungsfläche mit dem Perimeter zur Kothaufen-Zählung welcher mit einer roten Linie markiert ist. Der ganze Perimeter wurde links und rechts mit einem Meter Breite untersucht und alle Kothaufen gezählt welche mehr als 5 Kotstücke aufwiesen. | 9 |
| Abb. 6: Abnahme des Jungwuchses bei Zunahme des Baumdeckungsgrades, mit lokal gewichteter geglätteter Regressionslinie (Loess). | 12 |
| Abb. 7: Abnahme des Jungwuchses bei Zunahme der Stammgrundfläche m ² pro Hektare, mit lokal gewichteter geglätteter Regressionslinie (Loess). | 12 |
| Abb. 8: Zunahme des Jungwuchses bei Zunahme der Sonnenscheindauer im Juli, mit lokal gewichteter geglätteter Regressionslinie (Loess). | 12 |
| Abb. 9: Leichte negative Korrelation (-0.18) zwischen Anzahl Jungbäumen und der Anzahl Kothaufen der Wildhuftiere Rothirsch, Reh und Gämsen, mit lokal gewichteter geglätteter Regressionslinie (Loess). | 12 |
| Abb. 5: Die Anteile der gefundenen Arten in allen Plots zusammengefasst. | 12 |
| Abb. 10: Gesamtverbissanteil der Baumarten in allen Plots zusammengefasst mit Standardabweichung. Alle Baumarten zusammengefasst, wie auch Fichte (FI), Tanne (TA), Buche (BU), Bergahorn (BA), Vogelbeere/ Eberesche (VO), Esche (ES) sind mit dem gesamten Anteil des Verbisses wie auch mit dem stark verbiessenen Anteil dargestellt. | 13 |
| Abb. 11: Durchschnittlicher frischer Verbiss (aus vergangenem Winter) in den Präsenzplots (Pres) und Absenzplots (Abs) für alle Bäume zusammen (Total) sowie getrennt für Laub- und Nadelbäume. | 14 |
| Tab. 4: Prozentualer Durchschnittsverbiss in den Präsenz- und Absenzplots mit Standardabweichung (SA). | 14 |
| Abb 13: Anteil des Verbisses (%) in Abhängigkeit mit der Stammgrundfläche (m ²), mit lokal gewichteter Regressionslinie (Loess) und 95% Vertrauensintervall | 15 |
| Abb 14: Anteil des Verbisses (%) mit einer negativen Beziehung zur Solarradiation, mit lokal gewichteter Regressionslinie (Loess) und 95% Vertrauensintervall | 15 |
| Abb 15: Verbiss (%) bei Zunahme der Stammgrundfläche (m ²) bei Laubbäumen, mit lokal gewichteter Regressionslinie (Loess) und 95% Vertrauensintervall | 15 |
| Abb 16: Positive Beziehung des Verbisses mit der Höhe (m.ü.M) bei Laubbäumen. Plot mit lokal gewichteter Regressionslinie (Loess) und 95% Vertrauensintervall | 15 |
| Abb 17: Verbissanteile bei Laubbäumen je grösser die Sonneneinstrahlung auf die Versuchsflächen einwirkte, mit lokal gewichteter Regressionslinie (Loess) und 95% Vertrauensintervall | 16 |
| Abb 18: Verbissanteile bei Laubbäumen bei einer Zunahme der Sonnenstunden im Februar, mit lokal gewichteter Regressionslinie (Loess) und 95% Vertrauensintervall | 16 |
| Tab. 1: Aufnahmekategorien der Arten und Grössen der Baumarten die auf Verbiss untersucht wurden | 9 |
| Tab. 2: Aufnahmekategorien der Entwicklungsstufe auf dem Plot welche in Prozent erfasst wurden | 9 |
| Tab. 3: Verbissintensität aufgeteilt auf die Baumarten, in allen Plots zusammengefasst | 13 |
| Tab. 4: Prozentualer Durchschnittsverbiss in Präsenz und Absenz gebieten | 14 |
| Tab. 5: Beziehung von Laubbaum-, Nadelbaum- und Gesamtverbissanteilen zu den aufgenommenen Variablen Stammgrundfläche, Baumschicht Deckungsgrad (DG), Solrad, Höhe über Meer (Altitude), Strauchschicht Deckungsgrad (DG), nur Variablen welche Signifikanz aufwiesen wurden in den jeweiligen Modellformeln verwendet | 16 |