

Statistische Analyse von Einflussfaktoren auf Höhe und Verteilung von Schäle und Verbiss im Rahmen des Kooperationsprojektes Rotwildmanagement pro Waldumbau

Ronny Peters

Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik
TU Dresden

im Auftrag von Staatsbetrieb Sachsenforst
14.12.2020



FOREST BIOMETRICS
& SYSTEMS ANALYSIS

Inhaltsverzeichnis

1. Voraussetzungen	2
1.1 Variablen und Prozesse für die Untersuchung der Schältschäden	2
1.2 Repräsentativität der Daten räumliche Abhängigkeit der Schältdaten	3
1.3 Verbiss	3
2. Methoden	5
2.1 Strategie für die Identifizierung relevanter Lebensraumvariablen	5
2.2 Variogramme	6
2.3 Lineare Modelle	7
2.4 Ordinary / External Drift Kriging	7
2.5 Künstliche neuronale Netze	7
2.6. Logistische Regression	8
3. Altschäle und zeitlich invariable Größen	8
3.1 Räumliche Unabhängigkeit	8
3.2 Auswahl der Lebensraumvariablen	10
3.3 Autokorrelation der numerischen Inputvariablen	10
3.4 Multiple lineare Regression	10
3.5. Kriging	14
3.6 Analyse mit ANN	16
4. Neuschäle und zeitlich variable Größen	17
4.1 Vorarbeit Kriging der Schneedaten	17
4.2. Schältdaten und untersuchte Einflussvariablen	18
4.3 Winterschäle	19
4.4 Sommerschäle	20
5. Verbiss	21
5.1 Verbissdaten und untersuchte Einflussvariablen	21
5.2 Logistische Regressionsmodelle für die einzelnen Größenklassen	22
5.3 Fazit	24
Anhang	25

1. Voraussetzungen

Die Hypothese, die in dieser Arbeit untersucht werden soll, wurde vom Auftraggeber (Staatsbetrieb Sachsenforst, Kompetenzzentrum für Wald und Forstwirtschaft, KWuF) wie folgt formuliert:

Intensität und räumliche Verteilung von Verbiss und Schäle werden nicht monokausal durch die Höhe des Wildbestandes beeinflusst, sondern durch weitere unabhängige Lebensraumvariablen gesteuert.

Die Untersuchung erfolgt für Schäle und Verbiss getrennt. Da eine räumliche Unabhängigkeit der aufgenommenen Datensätze nicht vorausgesetzt werden kann, sollen für die Untersuchung der Schälenschäden Verfahren der räumlichen Statistik in die Studie einfließen, um den Einfluss räumlicher Korrelation gegebenenfalls zu identifizieren.

1.1 Variablen und Prozesse für die Untersuchung der Schälenschäden

Die Untersuchung wird anhand von in den Forstbezirken Eibenstock, Neudorf, Bärenfels und Neustadt erhobenen Daten durchgeführt. In Bezug auf die Schäle stehen Daten für Altschäle, Neuschäle, Winterschäle und Sommerschäle zur Verfügung. Zur Bearbeitung der Fragestellung wurden im Voraus von Sachsenforst hypothetische Lebensraumvariablen formuliert und in bearbeiteter Form übergeben. Dabei sind die einzelnen Datensätze räumlich durch Forstbezirk, Revier, Waldteil, Abteilung, Unterabteilung, Teilfläche, Bestand und Flächen-ID, sowie georeferenziert mit Hoch- und Rechtswert lokalisierbar. Es liegen Daten für die Jahre 2016, 2017 und 2018 vor. Die vorgeschlagenen unabhängigen Variablen sind in Tabelle 1a zusammengefasst.

Tabelle 1a: Lebensraumvariablen zur Untersuchung auf Einfluss auf die Schäle.

Lebensraumvariable	Bemerkung / [Varianten]	zeitlich variabel
Geografische Variablen		
Hoehenlage		
Exposition		
Hangneigung		
Abstand zu landw. Nutzfläche	Ackerland, Grünland; Datenquelle: [ATKIS], [CORINE]	
Schneehöhen	Nur Punktdaten für Klimastationen	*
Forstliche Variablen		
Bestandsalter		*
Baumhoehe		*
Kronenschlussgrad		(*)
Deckung	[Calamagrostis], [Deschampsia], [Waldsauerklee], [Gras], [Grosskraeuter], [Kleinkraeuter], [winterkahle Zwergstraecher], [Krautschicht], [Strauchschicht]	(*)
Variablen zur Beeinflussung durch den Menschen		
Distanz_Abfuhrweg		
Distanz_Loipe		
Distanz_Erholung	[Stufe 1], [Stufe 2], [Stufen 1 und 2]	
Variablen zum Wildbestand		
Fotofallen-Kontaktrate Rotwild	[Winter 17], [Sommer 17], [Winter 18], [Sommer 18]	*
Jagdstrecken	Jahresweise [Gesamt], [Damwild], [Muffelwild], [Rehwild], [Rotwild], [Sikawild], [Schwarzwild]	*

Folgende Annahmen werden für die Bearbeitung der Aufgabenstellung getroffen:

(i) Es wird vorausgesetzt, dass das Auftreten von Schäle kein deterministischer Prozess ist. Das bedeutet, dass die vorgeschlagenen Variablen lediglich die Wahrscheinlichkeit beeinflussen, dass Schäle auftritt, aber nicht notwendigerweise zu Schäle führen.

(ii) Die Altschäle aggregiert sichtbare Schälereignisse aller Jahre in der bisherigen Lebenszeit der Bäume. Aus statistischer Sicht kann somit angenommen werden, dass im Zufallsprozess des Auftretens von Schäle eine größere Anzahl von Versuchen zugrunde liegt (oder mit anderen Worten, dass öfter gewürfelt wurde). Gleichzeitig können für diese Variable zeitlich definierte Einflussgrößen (siehe Tabelle 1) nicht oder nur bedingt untersucht werden.

(iii) Mündlichen Mitteilungen des KWuF zufolge unterscheiden sich die vier Forstbezirke, für die die Daten vorliegen, sehr stark hinsichtlich Wilddichte und Stand des Waldumbaus.

(iv) Entsprechend der Fragestellung ist davon auszugehen, dass mehrere Variablen das Auftreten von Schäle beeinflussen. Dieser Einfluss muss nicht linear sein. Ferner kann sich die Wirkung von Variablen überschneiden. Die Variablen können nicht als unabhängig voneinander betrachtet werden.

(v) Die räumliche Unabhängigkeit der Daten kann nicht vorausgesetzt werden. (siehe 1.2)

1.2 Repräsentativität der Daten räumliche Abhängigkeit der Schälendaten

In statistischen Modellen wird die Aussagekraft der Parameter anhand der statistischen Signifikanz bewertet. Die Signifikanz wird anhand der Wahrscheinlichkeit p (p -value) bewertet, die angibt, wie wahrscheinlich der jeweilige beobachtete Effekt (der Anstieg, die Verteilung, etc.) wäre, wenn die Daten zufällig gewürfelt würden. Die allgemein angewandte Grenze, die Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha=0.05$, legt das Limit fest, unterhalb dessen diese Wahrscheinlichkeit in das Vertrauen mündet, dass es sich um einen realen Effekt handelt. Eine unabdingbare Voraussetzung dieser Annahme ist bei klassischen (nicht-räumlichen) Verfahren allerdings, dass die Datensätze (Stichproben) voneinander unabhängig sind.

Abb. 1 zeigt die räumliche Verteilung der Schälenschäden. Die Vermutung liegt nahe, dass räumliche Unabhängigkeit nicht vorausgesetzt werden kann. Wenn sich dies bestätigt, können Verfahren, die dies nicht berücksichtigen, nur bedingt aussagekräftige Resultate liefern. Um die räumliche Abhängigkeit zu untersuchen, sollen Variogramme benutzt werden, die anhand der räumlichen Varianz bewerten helfen, wie stark der Bezug zu benachbarten Messpunkten ist und ab welcher Entfernung die räumliche Nähe keine Rolle mehr spielt. Um im Falle räumlicher Abhängigkeit diesen Effekt mit einzubeziehen, soll Kriging als Verfahren der räumlichen Statistik verwendet werden.

1.3 Verbiss

Für die Untersuchung der Verbisschäden lagen Zählendaten für 656 Verjüngungs-Probekreise der Betriebsinventur WISA (Waldinventur Sachsen, 8 im Forstbezirk Adorf, 328 im FOB Eibenstock und 320 im FOB Neudorf) für Ebereschen in den Größenklassen 0, 1 und 2 (Höhe $\geq 20\text{cm}$.. $< 50\text{cm}$; Höhe $\geq 50\text{cm}$ bis $< 130\text{cm}$; Höhe $\geq 130\text{cm}$ und BHD $< 7,0\text{cm}$) vor. Die Eberesche ist nach Aussage des KWuF eine sehr gut geeignete Baumart, um bspw. den Einfluss der Wilddichte und anderer potenzieller Einflussvariablen auf die Überlebensrate ungeschädigter Bäume in verschiedenen Größenklassen (und damit Altersklassen) zu bewerten. Die Eberesche kommt in Sachsen nahezu flächendeckend vor, vermehrt sich ausschließlich natürlich und weist eine hohe Attraktivität als Nahrungskomponente von wiederkäuenden Schalenwildarten auf.

Integriert wurden grundsätzlich nur Stichprobenpunkte, an denen in mindestens einer der genannten Größenklassen Ebereschen vorkamen, die nicht verbissen und gleichzeitig gegen Verbiss nicht geschützt waren. Damit wurden von vornherein Situationen ausgeschlossen, an denen Ebereschen bspw. auf Grund waldbaulicher (Überschirmung, Konkurrenz zu anderen Baumarten) oder standörtlicher Faktoren (Wasserversorgung, Trophie, etc.) nicht wachsen konnten. In dieser Studie wird also angenommen, dass das Vorhandensein unverbissener Ebereschen in den untersuchten Größenklassen von naturräumlichen und waldbaulichen Faktoren unbeeinflusst ist.

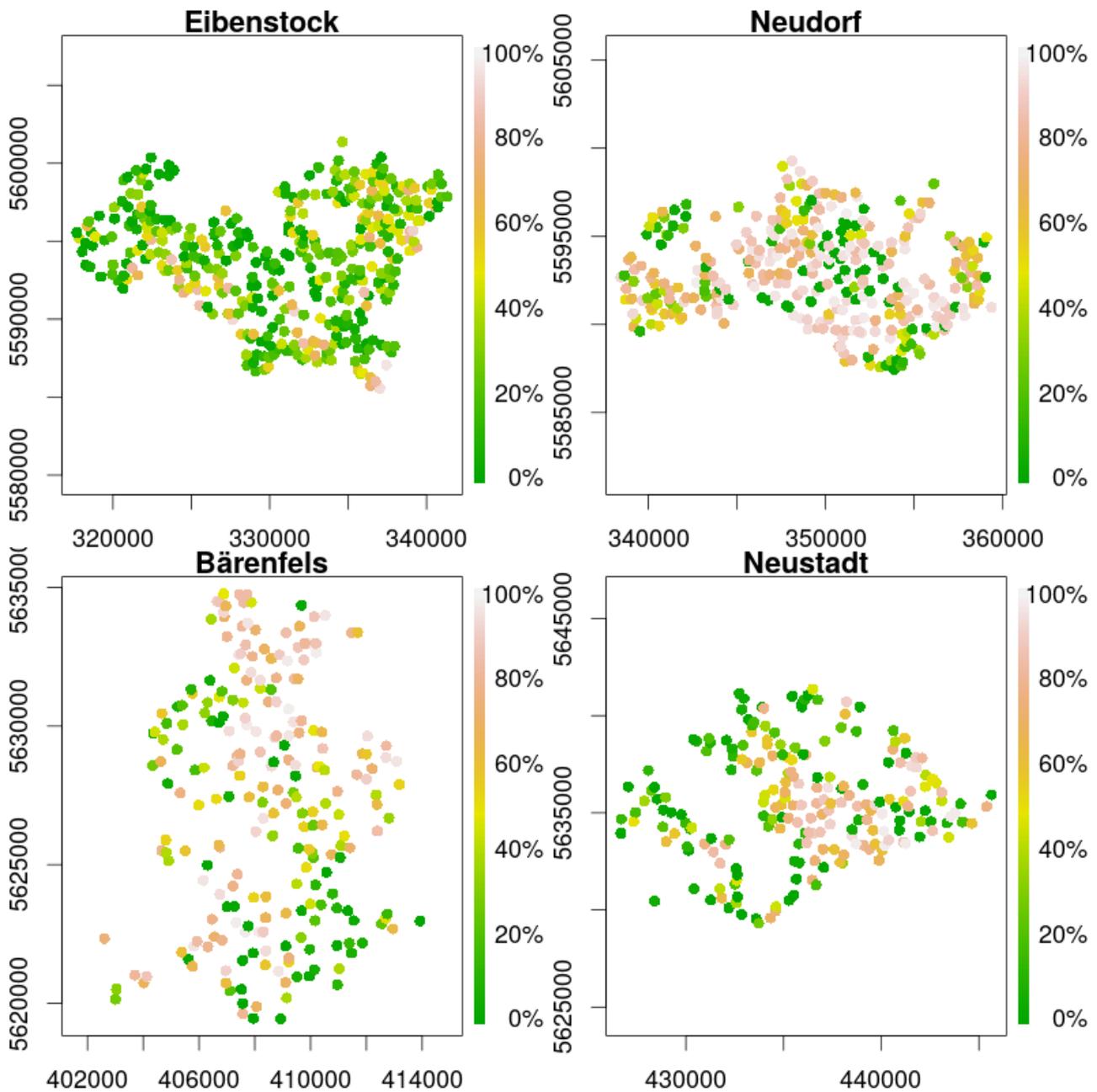


Abbildung 1: Schältschäden Altschäle mit räumlichen Bezug.

Der maximale Zählwert am jeweiligen Plot ist durch eine Erfassungsgrenze von 15 Individuen in einer Merkmalskombination definiert (bspw. 15 Ebereschen der Größenklasse 1, unverbissen und ungeschützt). Damit kann der Wert 15 für 15, aber auch für jede beliebige größere Anzahl an Individuen (bspw. 16, 42 oder 210) im jeweiligen Verjüngungsprobekreis stehen. Es wurde als Unterhypothese postuliert, dass eine nicht vorhandene Größenklasse (Zählwert = 0) ungeschützter Ebereschen am jeweiligen Erfassungspunkt verbissbedingt fehlt. Auf die Nutzung von Verbissprozenten wurde für diese Auswertung verzichtet, weil a) die vorhandenen Zählgrenzen die Berechnung von Verbissprozenten unmöglich machen und b) die Nutzung von Verbissprozenten für die Einschätzung des ökologischen Potenzials einer Baumart, die sich i.d.R. mit hohen Individuenzahlen verjüngt, wenig hilfreich ist. Wesentliches Kriterium für die ökologische Wirksamkeit ist das Erreichen der Größenklasse 2, ab der durch die eingeschränkte Erreichbarkeit des Terminaltriebes die Schädigungswahrscheinlichkeit durch Wildverbiss signifikant sinkt.

Tabelle 1b zeigt die zur Verfügung stehenden Lebensraumvariablen.

Tabelle 1b: Lebensraumvariablen zur Untersuchung auf Einfluss auf den Verbiss.

Lebensraumvariable	Bemerkung / [Varianten]
Geografische Variablen	
Höhenlage Exposition Hangneigung Abstand zu landw. Nutzfläche	[ATKIS], [CORINE]
Forstliche Variablen	
Anzahl Baumarten Waldentwicklungsphase Deckung Krautschicht Deckung Strauchschicht	zifferncodiert
Variablen zur Beeinflussung durch den Menschen	
Distanz_Abfuhrweg Distanz_Loipe	
Variablen zum Wildbestand	
Fotofallen-Kontaktrate Rotwild Fotofallen-Kontaktrate Rehwild Sommerschäle Winterschäle Neuschäle	

Analog zu 1.1 gelten für den Verbiss die Annahmen i, iii, iv und v. Aus Gründen des Bearbeitungsaufwandes wurden für den Verbiss keine Untersuchungen bezüglich der Nichtlinearität (iv) und der räumlichen Unabhängigkeit durchgeführt. Es kann aber angenommen werden, dass für Verbiss ähnliche Mechanismen zugrundegelegt werden können und die diesbezüglichen Ergebnisse für die Schälenschäden wahrscheinlich auch für den Verbiss gelten.

2. Methoden

2.1 Strategie für die Identifizierung relevanter Lebensraumvariablen

a) Schäle

Aus Annahme (ii) im Kapitel 1.1 kann abgeleitet werden, dass aufgrund der höheren Anzahl von Versuchen (d.h. Jahre, in denen Schäle auftreten kann) und der aggregierenden Natur der Altschäle ein sehr hoher Informationsgehalt steckt, der allerdings nur auf die zeitlich invariablen Größen zu beziehen ist. Daher soll in einem ersten Schritt untersucht werden, inwieweit die Altschäle mit den zeitlich invariablen Größen zusammenhängt und erklärt werden kann.

Bei der Beschreibung der Neuschäle (und damit auch Winter- und Sommerschäle) ist aufgrund der Vielzahl der unabhängigen Variablen jedoch eine Vorauswahl sinnvoll. Daher soll die Analyse in zwei Stufen beschränkt werden:

1. Die Altschäle wird als Proxy der zeitlich invariablen Größen betrachtet, da angenommen wird, dass die im ersten Schritt ermittelten Größen (und möglicherweise bislang unberücksichtigte Faktoren) in dieser Variablen aggregiert sind und die Altschäle damit eine wichtige Prädiktorvariable für die Neuschäle darstellt. Daher sollen zunächst Größen identifiziert werden, die die Altschäle beeinflussen. Als zeitlich invariabel werden Distanz zum Abfuhrweg, Distanz zur nächstgelegenen Waldfläche mit Erholungsnutzungsfunktion, Distanz zur Loipe, Höhenlage, Exposition, Hangneigung und Abstand zum Offenland (landwirtschaftliche Nutzfläche, im folgenden vereinfacht auch als „Feld“ bezeichnet) betrachtet.

2. Die im ersten Teil ermittelten Größen werden für die Vorhersage der Neuschäle nur indirekt über die Einbeziehung der Altschäle einbezogen. Als zeitlich variable Größen fließen in die Analyse das Bestandsalter, die Baumhöhe, Kronenschlussgrad, Deckung der Krautschicht, Deckung der Strauchschicht, Gesamtjagdstrecke und Kontaktraten (mittelwertgefilterte Fotofallennachweise in Individuen von Rothirschen pro 24 Stunden innerhalb der 1.000m - Rasterzellen) getrennt für Winter und Sommer sowie Schneehöhe (nur Winterschäle) ein. Winter- und Sommerschäle werden getrennt untersucht.

Anhand der Altschäle wird zunächst mittels Variogrammen die räumliche Korrelation untersucht. Danach wird getestet, ob die unabhängigen Variablen untereinander korrelieren. Mittels linearer Modelle sollen dann Abhängigkeiten der Altschäle von den gewählten unabhängigen Variablen untersucht werden. Auf der Basis der Variogramme und der linearen Modelle kann dann mit Krigingmethoden beleuchtet werden, inwiefern die Erklärung der Altschäle mit den unabhängigen Variablen auf räumliche Effekte zurückführbar ist. Als letztes wird dann mit Hilfe künstlicher neuronaler Netze ergründet, ob nichtlineare Zusammenhänge möglicherweise zu einer besseren Erklärung führen können.

Für die Neuschäle werden auch zuerst die unabhängigen Variablen auf Autokorrelationen untersucht. Winterschäle und Sommerschäle wird danach getrennt untersucht. Aufgrund der Vielzahl der Probekreise ohne Schälsschäden wird die Schädigung nur als logische Variable betrachtet. Nach einer Vorauswahl nach dem Wertebereich der Variablen mit und ohne Schälsschäden werden logistische Modelle angepasst, um mögliche Umweltvariablen mit Einfluss auf die Neuschäle zu identifizieren.

b) Verbiss

Die Identifikation von Umweltvariablen, die das Auftreten von Verbiss beeinflussen könnten, erfolgt nach der gleichen Vorgehensweise wie für die Neuschäle. Hierbei werden getrennt Modelle für alle drei Größenklassen der Ebereschen erstellt (siehe 1.3).

Im folgenden werden verwendete statistische Methoden kurz vorgestellt.

2.2 Variogramme

Variogramme (auch „Semivariogramme“ genannt) sind statistische Werkzeuge, um räumliche Zusammenhänge zu erfassen. Für sinnvolle Klassen von Abständen h zwischen den Messpunkten s_i wird die Semivarianz $\hat{\gamma}(h)$ der gemessenen Werte $Z(s_i)$ bzw. $Z(s_i+h)$ der betreffenden Variable berechnet:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2} \cdot E(Z(s_i) - Z(s_i+h))^2 \quad (1)$$

Ab einem bestimmten Abstand zwischen Messpunkten ist die Semivarianz konstant. Kleinere Semivarianzen für geringere Abstände zwischen den Punkten weisen auf einen räumlichen Zusammenhang hin, d.h. die Messwerte sind nicht mehr unabhängig. Variogramme sind die Grundlage für das Kriging, ein Verfahren zur räumlichen Interpolation der Daten (siehe unten). Hier werden Variogramme für die Daten der Altschäle angewendet, um zu testen, ob die Messwerte räumlich unabhängig sind. Räumliche Unabhängigkeit ist eine essentielle Voraussetzung, um mit klassischen statistischen Tests korrekte Signifikanzwerte (p-Werte) zu berechnen. Wenn räumliche Unabhängigkeit der Stichproben nicht gegeben ist, können p-Werte unterschätzt werden und Zusammenhänge fälschlicherweise häufiger als signifikant bewertet werden. Tests usw. lassen sich immer noch anwenden, wenn man die räumlichen Abhängigkeiten herausrechnet – das ist letztlich auch der Ansatz bei Kriging (siehe unten). Eine Voraussetzung, damit man sinnvoll Variogramme betrachten kann, ist, dass die Daten räumlich stationär sind, d. h. die gemeinsame Verteilung ändert sich nicht bei Verschiebung.)

2.3 Lineare Modelle

Lineare Modelle sind ein gängiges statistisches Verfahren, um lineare Abhängigkeiten der Zielgröße (abhängige Variable) von anderen, als unabhängig angenommenen Variablen nachzuweisen. Bei Ablehnung der Nullhypothese, dass der lineare Anstieg gleich Null ist, kann von einem signifikanten Trend ausgegangen werden. Sind die unabhängigen Größen numerischen Typs, werden Koeffizienten a_0, a_1, \dots, a_n ermittelt, die eine lineare Abhängigkeit der Zielgröße Y von den Variablen $1, X_1, \dots, X_n$ beschreiben.

$$Y_i = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \dots \\ a_n \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ X_{1,i} \\ \dots \\ X_{n,i} \end{pmatrix} + \varepsilon_i \quad (2)$$

Die Varianz der Residuen $\text{var}(\varepsilon)$ entspricht dem mit dem linearen Modell nicht erklärten Teil der Gesamtvarianz $\text{var}(Y)$. Ein solches lineares Modell ist wie alle Verfahren, die Aussagen über Irrtumswahrscheinlichkeiten u. ä. machen (wie Tests, Konfidenzintervalle) nur gültig, wenn die Residuen ε normalverteilt und unabhängig von Y sind. Da diese Arbeit rein exploratorisch ist und darauf abzielt, mögliche Einflussgrößen zu identifizieren, sollen diese Kriterien hier nicht in den Vordergrund gerückt werden.

2.4 Ordinary / External Drift Kriging

Kriging ist ein geostatistisches Verfahren zur räumlichen Interpolation von Daten, die an festen Messstellen ermittelt wurden, aber in der Fläche kontinuierlich auftreten. Die Basis für das Kriging sind Variogramme (siehe oben). Dabei wird die räumliche Korrelation der Daten genutzt. Die in Variogrammen festgestellte Abhängigkeit der Werte von räumlich benachbarten (in Abhängigkeit zur Distanz) bestimmt die Wichtung der umliegenden Werte.

Beim ordinary Kriging (OK) wird dabei die Zielgröße direkt interpoliert. *External drift Kriging* (EDK) bezieht bekannte Abhängigkeiten zu Prädiktorvariablen in die Interpolation ein. Dabei wird ein lineares Modell zugrundegelegt, mit welchem die Zielgröße an allen Punkten zunächst (ortsunabhängig) aus diesen Prädiktorvariablen vorhergesagt wird. Die dabei verbleibende (vom linearen Modell nicht erklärte) Restvarianz wird dann räumlich interpoliert und durch die räumliche Abhängigkeit der Werte erklärt.

Für diese Studie wird EDK für die Untersuchung der Winterschäle verwendet. Die Schneehöhe ist im Allgemeinen von der Höhenlage abhängig. Die mit der Höhenlage nicht erklärbare Restvarianz resultiert vor allem aus witterungsbedingten räumlichen Schneefallmustern, deren mittlere räumliche Ausdehnung mit Variogrammen beschrieben werden kann und mittels Kriging im entsprechenden räumlichen Bezug aus benachbarten Wetterstationen interpoliert wird.

Des Weiteren sollen beide Krigingvarianten genutzt werden, die Abhängigkeiten der Altschäle von den identifizierten Lebensraumvariablen (lineare Modelle) der räumlichen Korrelation der Daten gegenüberzustellen. Wenn eine ähnliche räumliche Korrelation der Lebensraumvariablen vorliegt, sollten die Ergebnisse des EDK gegenüber dem OK der Altschäle keine deutliche Verbesserung zeigen. Wenn aber mit EDK (Kriging der Residuen des linearen Modells) bessere Vorhersagen der Altschäle möglich sind, ist die räumliche Korrelation der Altschäle unabhängig von den gefundenen Zusammenhängen mit den identifizierten Lebensraumvariablen.

2.5 Künstliche neuronale Netze

Die am häufigsten zum Erlernen unbekannter funktionaler Zusammenhänge verwendete Architektur künstlicher neuronaler Netze (ANN, Artificial Neural Networks) sind Multilayer Perceptron Netze (MLP, auch Multilayer Feedforward Networks, MLFN). Eine Einführung und Beschreibung der Grundlagen, des Aufbaus und des Trainingsalgorithmus findet sich z.B. in Hagan et al. (1996)¹.

¹ Hagan, M. T., Demuth, H. B., Beale, M., Neural Network Design, Boston, MA: PWS Publishing Company, 1996.

MLP sind in der Lage, beliebige funktionale Zusammenhänge zu erlernen, ohne dass die beschreibende Funktion bekannt sein muss (im Gegensatz zu nichtlinearer Regressionsanalyse). Die große Flexibilität der MLP birgt jedoch die Gefahr, dass zufällige Abweichungen mit erlernt werden. Daher muss der Datensatz in mindestens 2 Datensätze geteilt werden, wovon einer zum Training und einer zur unabhängigen Evaluierung des Modells verwendet werden. Nur so kann das trainierte MLP sinnvoll validiert werden. Von den 2368 kompletten Datensätzen wurden 1000 zufällig für die Validierung ausgewählt.

Um die Güte des trainierten MLP mit einem gängigen Gütemaß zu veranschaulichen, wurde für die 1000 Validierungsdaten analog zum Bestimmtheitsmaß für die linearen Modellen der Anteil der erklärten Varianz r^2 bestimmt. Um den Einfluss der einzelnen Variablen zu ermitteln, wurde die Modellgüte jeweils mit dem kompletten Satz an Lebensraumvariablen ermittelt und in einem zweiten Schritt jede einzeln entfernt. Hat eine Lebensraumvariable einen großen Einfluss auf die Altschäle, ist die Verschlechterung der Modellgüte ohne diese Variable stärker.

Da das trainierte Modell abhängig von der zufälligen Initialisierung der Gewichtungsfaktoren ist, wurden jeweils 5 MLP trainiert und das zweitbeste für die Auswertung verwendet. Es wurden MLP mit einer verdeckten Schicht mit jeweils 10-16 Neuronen verwendet.

Da die 1000 Validierungsdatensätze nur eine zufällige Auswahl des kompletten Datensatz (der für die linearen Modelle verwendet wurde) sind, ist die Modellgüte nicht unmittelbar mit den linearen Modellen vergleichbar. Allerdings könnte eine deutlich höhere Modellgüte der MLP ein Indiz für nichtlineare Abhängigkeiten oder multiplikative Effekte der Lebensraumvariablen sein.

2.6. Logistische Regression

Die Daten für Winter- und Sommerschäle wurden jeweils jahresweise erhoben. Schälsschäden konnten in nur 30% der Datensätze für den Winter und 14% für den Sommer festgestellt werden. Das bedeutet, dass 70% bzw. 86% der Werte gleich 0 sind. Damit ist es nicht zielführend, einfache lineare Modelle zu verwenden. Die Schälsschäden wurden daher in ein logisches Format umgewandelt (WAHR - Schäle tritt auf, FALSCH - Schäle tritt nicht auf). Damit wurden logistische Modelle angepasst.

$$\hat{Z}_i = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \dots \\ a_n \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ X_{1,i} \\ \dots \\ X_{n,i} \end{pmatrix} \quad (3a)$$

$$\hat{P}(Y_i = WAHR) = \frac{1}{1 + e^{-\hat{Z}}} \quad (3b)$$

Während die Messdaten in Form von Werten von WAHR und FALSCH vorliegen, ist die Vorhersage des logistischen Modells eine Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Schälsschäden aus den unabhängigen Variablen. Eine Einstufung in WAHR und FALSCH kann durch eine Zuordnung für Wahrscheinlichkeiten $>$ bzw. $<$ 0,5 erfolgen.

3. Altschäle und zeitlich invariable Größen

3.1 Räumliche Unabhängigkeit

Gesamtgebiet

Das Variogramm für das Gesamtgebiet ist in Abb. 2 zu sehen. Die Parameter der Anpassung des theoretischen Variogramms (Linie) an das empirische (Punkte) ergibt eine Semivarianz für benachbarte Schälsschäden (Abstand = 0m) von 610 (Tabelle 2); räumliche Unabhängigkeit besteht ab einer Entfernung von 3420 m (wenn die Semivarianz konstant 954 beträgt und mit zunehmender Entfernung nicht mehr steigt). Die Vorhersage der Altschäle für einen Probekreis aus den Probekreisen der Umgebung erklärt 33% der Varianz (Bestimmtheitsmaß von 0.33).

Variogramm für das Gesamtgebiet

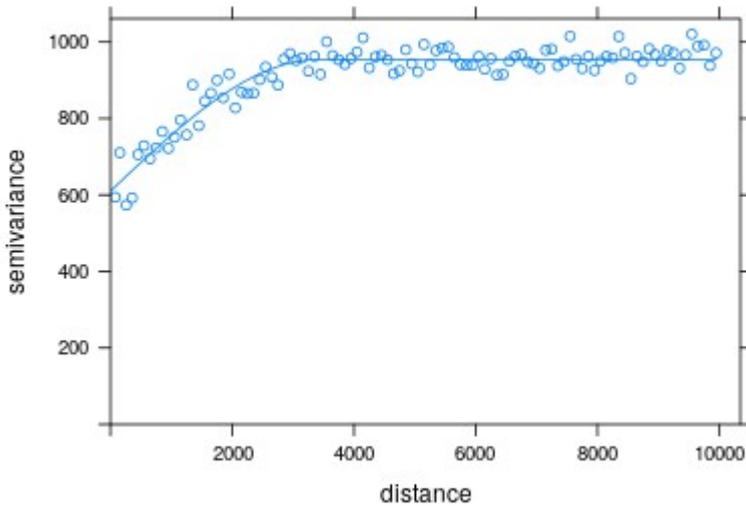


Abb. 2: Variogramm für die Altschäle für das Gesamtgebiet.

Tabelle 2: Parameter für das theoretische Variogramm, Gesamtgebiet.

Semivarianz bei 0m	Räumlich unabh. ab	Max. Semivarianz	r^2
610	> 3420 m	954	0.3263

Forstbezirke

Die Ergebnisse für die Forstbezirke sind in Abb. 3 und Tab. 3 dargestellt. Generell bestätigt sich das Bild aus dem gesamten Datensatz. In Neudorf ist die Semivarianz am größten, sowohl insgesamt als auch für kurze Distanzen. Insgesamt können durch den räumlichen Bezug in den Forstbezirken 11%-27% der Varianz erklärt werden.

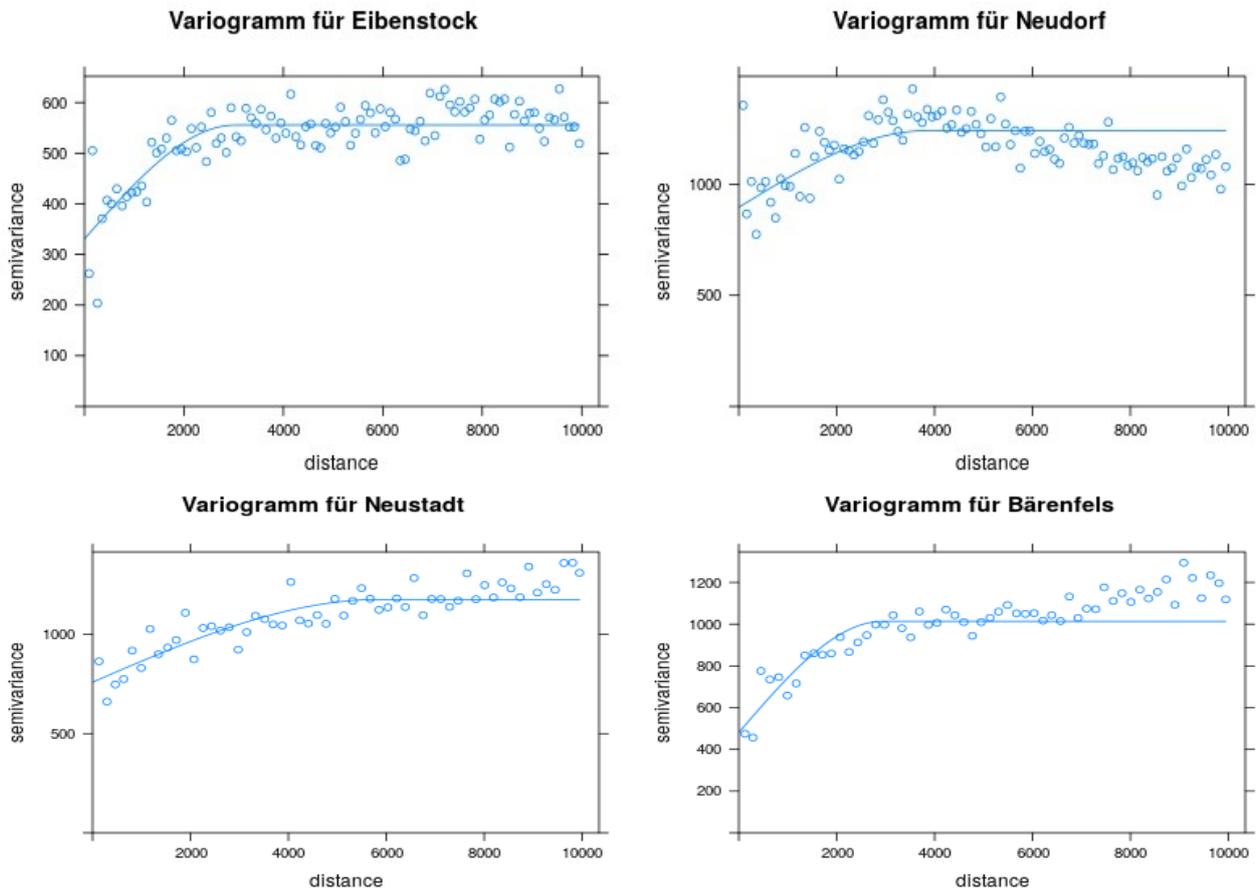


Abb. 3: Variogramme für die Altschäle für die Forstbezirke.

Tabelle 3: Parameter für die theoretischen Variogramme und Bestimmtheitsmaße für die Vorhersage der Altschäle mit dem Krigingmodell, Forstbezirke.

	Semivarianz bei 0m	Räumlich unabh. ab	Max. Semivarianz	r ²
Eibenstock	331	> 3031 m	556	0.2017
Neudorf	896	> 3823 m	1241	0.1125
Neustadt	760	> 5859 m	1176	0.2239
Bärenfels	481	> 2933 m	1014	0.2653

Die deutlich geringeren Semivarianzen für benachbarte Punkte zeigen die räumliche Autokorrelation der Meßwerte. Damit ist die Bewertung linearer Modelle ohne Raumbezug nur bedingt durch die übliche Schätzung der Signifikanz (p-value) möglich.

3.2 Auswahl der Lebensraumvariablen

Auf der Grundlage von Tabelle 1 werden als unabhängige Größen ohne zeitlichen Bezug folgende Lebensraumvariablen gewählt:

- Forstbezirk ²
- Distanz_Abfuhrweg
- Distanz_Erholung_Stufe1 ³
- Distanz_Loipe
- Höhenlage
- Exposition_OW Exposition (Ost-West-Anteil)⁴ x Hangneigung⁵
- Exposition_NS Exposition (Nord-Süd-Anteil)⁴ x Hangneigung⁵
- Hangneigung
- Abstand zum Feld⁶

3.3 Autokorrelation der numerischen Inputvariablen

Tabelle 4 zeigt die Korrelationsmatrix zwischen den gewählten Lebensraumvariablen. Dabei zeigt sich generell ein sehr geringer Zusammenhang zwischen den Variablen untereinander. Mit Ausnahme von dem recht starken Zusammenhang von Höhenlage und Distanz zur nächsten Loipe ($r = -0.806$, $r^2 = 0.650$) können die Variablen als unabhängig angenommen werden ($|r| < 0.290$, $r^2 < 0.084$).

Tabelle 4: Korrelationsmatrix zwischen den gewählten Lebensraumvariablen, Altschäle.

	Dist_Erhol.	Dist_Loipe	Höhenlage	Hangneig.	Abst_Feld	Exp_OW	Exp_NS
Dist_Abfuhrweg	0,004	-0,095	0,071	0,013	-0,104	-0,031	0,001
Dist_Erholung	-	0,139	-0,102	0,055	0,009	-0,019	0,032
Dist_Loipe	-	-	-0,806	0,132	0,085	0,073	0,009
Höhenlage	-	-	-	-0,289	0,131	-0,032	0,101
Hangneigung	-	-	-	-	-0,080	-0,013	0,058
Abstand_Feld	-	-	-	-	-	0,033	0,048
Exp_OW	-	-	-	-	-	-	0,11

3.4 Multiple lineare Regression

Gesamtgebiet

Tabelle 5 zeigt die ANOVA-Tabelle für das lineare Modell (Modell1). Zu sehen sind deutliche Abhängigkeiten der Altschäle vom Forstbezirk, der Distanz zum Abfuhrweg und der Hangneigung. Ferner besteht ein signifikanter Zusammenhang zum Abstand zur Loipe und zur

² nicht in Tabelle 1, gewählt wegen Erklärung systematischer Unterschiede zwischen den 4 FoB

³ stärker frequentiert (> 10 Besucher/ha/d) → deutlicheres Signal zu erwarten als bei Stufe 2 (<10 Besucher/ha/d)

⁴ in den Originaldaten Exposition von 0-359,9° (0° Nord, 90° Ost, 180° Süd, 270° West). Da ähnliche nördliche Richtungen extrem hohe und niedrige Werte umfassen, werden die Daten in Exposition_OW (Sinus, -1 entspricht westlicher, 1 entspricht östlicher Ausrichtung) und Exposition_NS (Kosinus, -1 entspricht südlicher, 1 entspricht nördlicher Ausrichtung)

⁵ Da bei geringen Hangneigungen die Ausrichtung eine kleinere Rolle spielt, wurde auf Vorschlag von KWuF die Interaktion (Produkt) der Exposition mit der Hangneigung verwendet.

⁶ ATKIS

Ost-West-Exposition. Zusammenhänge zur Höhenlage sind schwach und nicht signifikant. Die Frequentierung mit Besuchern und die Nord-Süd-Ausrichtung scheint keine Rolle zu spielen. Das Bestimmtheitsmaß des Modells beträgt $r^2 = 0.223$.

Tabelle 5: Varianzanalyse für das lineare Modell Altschäle vs. zeitlich invariable Größen. Test auf Nullhypothese, dass jeweiliger Koeffizient Null beträgt

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Forstbezirk	3	238480	79493	89.3124	<2.2e-16	***
Dist_Abfuhrweg	1	17350	17350	19.4927	1.10e-05	***
Dist_Erholung	1	1174	1174	1.3191	0.250997	
Dist_Loipe	1	4553	4553	5.1155	0.023896	*
Hoehenlage	1	2963	2963	3.3292	0.068315	.
Hangneigung	1	9061	9061	10.1801	0.001457	**
Abstand_Feld	1	20136	20136	22.6227	2.22e-06	***
Exp_OW	1	3686	3686	4.1410	0.042081	*
Exp_NS	1	271	271	0.3050	0.580891	
Residuals	1169	1040856	890			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tabelle 6: Lineare Koeffizienten der Lebensraumvariablen in Modell4.

	Einheit	Koeffizient	Std. Error
(Intercept)	-	54.9	7.63
Eibenstock	-	-25.2	2.58
Neudorf	-	7.98	2.91
Neustadt	-	-22.4	4.30
Dist_Abfuhrweg	[m]	0.0331	0.00672
Hoehenlage	[m]	-0.0227	0.00962
Hangneigung	[°]	0.569	0.190
Abstand_Feld	[m]	0.00712	0.00148
Exp_OW		0.217	0.104

Aufgrund der Autokorrelation zwischen Höhenlage und Distanz zur Loipe soll das Modell (Modell1) mit Varianten ohne die Variable Dist_Loipe (Modell2), bzw. ohne Höhenlage (Modell3) verglichen werden. Die ANOVA-Tabellen finden sich im Anhang. Bei Modell2 zeigt sich erwartungsgemäß eine signifikante Beziehung zur Höhenlage, ansonsten ergeben sich keine größeren Unterschiede zu Modell1. Die Bestimmtheitsmaße ändern sich daher auch nur marginal. (Modell2: $r^2 = 0.222$, Modell3: $r^2 = 0.221$). Die Varianzanalyse zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Modellen (Modell1-Modell2: $p=0.221$, Modell1-Modell3: $p=0.084$). Aus statistischer Sicht kann also nicht entschieden werden, ob die Distanz zur Loipe oder die Höhenlage die Schäle beeinflusst. Für die weitergehende Regressionsanalyse der Altschäle wird unterstellt, dass die Höhenlage ausschlaggebend ist und das Modell2 als Referenz verwendet.

Modell4 verzichtet auf die nicht signifikanten Lebensraumvariablen Dist_Erholung und Exp_NS, Modell5 weiterhin auf die Ost-West-Exposition Exp_OW (Anhang A1). Die Bestimmtheitsmaße sind ähnlich (Modell4: $r^2 = 0.221$, Modell5: $r^2 = 0.218$). Die Varianzanalyse zum Modellvergleich zeigt, dass sich Modell4 ($p = 0.775$) nicht signifikant von Modell2 unterscheidet, jedoch Modell5 ($p = 0.037$) signifikant abweicht. Modell4 repräsentiert somit am besten die Beeinflussungsfaktoren der Altschäle.

Tabelle zeigt die Koeffizienten des linearen Modells.

Fazit:

- Die Altschäle unterscheidet sich zwischen den Forstbezirken. (Neudorf 8% mehr, Eibenstock 25% weniger und Neustadt 22% weniger als Bärenfels, Standardfehler siehe Tabelle 6)
- Einen starken positiven Einfluss hat die Distanz zum Abfuhrweg (0.03% mehr Schäle je Meter Entfernung, Wertebereich WB: 16m - 1120m, Mittelwert MW: 177m)

- Einen positiven Einfluss hat die Distanz zur nächsten landwirtschaftlichen Nutzfläche (0.007% je Meter, WB: 10m – 3326m, MW: 785m)
- Einen positiven Effekt hat die Hangneigung: stärkeres Gefälle begünstigt die Schäle (0.6% je Grad, WB: 1° - 27°, MW: 9°)
- Es gibt einen Effekt, der nicht mit Sicherheit zur Höhenlage oder zur Distanz von der Loipe zugeordnet werden kann. Eine geringere Höhenlage (0.02% je Höhenmeter, WB: 195m – 1195m, WM: 688m), bzw. größere Entfernung von der Loipe begünstigt die Schäle.
- Ein schwacher, aber signifikanter Zusammenhang kann zur Ost-West-Ausrichtung hergestellt werden. (WB -25 .. 27, Osthang stärker geschädigt)

Eibenstock

Für den am geringsten von Schäle betroffenen Forstbezirk Eibenstock konnte kein signifikanter Zusammenhang zur Höhenlage, allerdings zur Entfernung von der Loipe festgestellt werden. Darüberhinaus ist hier eine Abhängigkeit zur Nord-Süd-Exposition (mehr Altschäle am Nordhang) anstelle der Ost-West-Exposition festzustellen. Analog den oben ausführlich vorgestellten Schritten wurde das beste Modell ermittelt (Tabellen 7 und 8). Das deutlich geringere Bestimmtheitsmaß ($r^2 = 0.137$) ist u.a. darauf zurückzuführen, dass die stark erklärende Variable Forstbezirk hier nicht mehr verwendet wird. Bemerkenswerterweise nimmt die Schäle hier zur Loipe hin zu (Tabelle 8).

Tabelle 7: Varianzanalyse für das lineare Modell Altschäle vs. zeitlich invariable Größen für Eibenstock.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Dist_Abfuhrweg	1	10046	10045.9	20.3774	8.44e-06	***
Dist_Loipe	1	1989	1989.1	4.0346	0.04527	*
Hangneigung	1	11449	11448.8	23.2231	2.07e-06	***
Abstand_Feld	1	3661	3661.3	7.4267	0.00672	**
Exp_NS	1	3253	3253.0	6.5985	0.0106	*
Residuals	388	191281	493.0			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tabelle 8: Lineare Koeffizienten der Lebensraumvariablen im Modell für Eibenstock.

	Einheit	Koeffizient	Std. Error
(Intercept)	-	11.8	3.61
Dist_Abfuhrweg	[m]	0.0325	0.00764
Dist_Loipe	[m]	-0.00321	0.000858
Hangneigung	[°]	1.49	0.278
Abstand_Feld	[m]	0.0062	0.00233
Exp_NS		0.501	0.195

Neudorf

Die Lebensraumvariablen mit signifikantem Einfluss auf die Altschäle beschränken sich im FoB Neudorf auf Dist_Loipe und die Ost-West-Exposition Exp_OW (Tabelle 9). Dabei hat die Distanz zur Loipe einen positiven Einfluss auf die Schäle (Tabelle 10). Generell weist auch das Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0.027$ darauf hin, dass hier die Schäle nur äußerst vage mit den zeitinvariablen Größen erklärt werden kann.

Tabelle 9: Varianzanalyse für das lineare Modell Altschäle vs. zeitlich invariable Größen für Neudorf.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Dist_Loipe	1	4725	4724.7	4.2366	0.04033	*
Exp_lat	1	5918	5918.1	5.3068	0.02185	*
Residuals	338	376941	1115.2			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tabelle 10: Lineare Koeffizienten der Lebensraumvariablen im Modell für Neudorf.

	Einheit	Koeffizient	Std. Error
(Intercept)	-	56.6	3.40
Dist_Loipe	[m]	1.31e-03	7.09e-04
Exp_OW		0.491	0.213

Neustadt

Für Neustadt ist keine Abhängigkeit der Schale von der Höhenlage festzustellen. Ebenso wie in Eibenstock findet sich eine negative Beziehung zum Abstand von den Loipen. Das Modell mit den vier Lebensraumvariablen (Tabellen 11 und 12) erreicht ein Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0.173$.

Tabelle 11: Varianzanalyse für das lineare Modell Altschale vs. zeitlich invariable Größen für Neustadt.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Dist_Abfuhrweg	1	4268	4267.8	4.3878	0.03741	*
Dist_Loipe	1	5909	5908.6	6.0747	0.01452	*
Hangneigung	1	4118	4118.3	4.2341	0.04087	*
Abstand_Feld	1	28066	28065.6	28.8550	2.08e-07	***
Residuals	208	202310	972.6			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tabelle 12: Lineare Koeffizienten der Lebensraumvariablen im Modell für Neustadt.

	Einheit	Koeffizient	Std. Error
(Intercept)	-	38.2	18.7
Dist_Abfuhrweg	[m]	0.0336	0.0190
Dist_Loipe	[m]	-0.00123	0.000812
Hangneigung	[°]	0.874	0.362
Abstand_Feld	[m]	0.0160	0.00298

Bärenfels

Für Bärenfels treten signifikante Zusammenhänge mit der Altschale ausschließlich für die Entfernung zur Loipe und die Entfernung zur nächsten Waldfläche mit Erholungsfunktion auf. (Tabelle 13, $r^2 = 0.136$). Hierbei ist die Distanz zur Loipe (positive Wirkung, Tabelle 14) allerdings mit der Höhenlage austauschbar (allerdings zulasten des Bestimmtheitsmaßes $r^2 = 0.115$).

Tabelle 13: Varianzanalyse für das lineare Modell Altschale vs. zeitlich invariable Größen für Bärenfels.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Dist_Erholung	1	13085	13085.3	14178	0.000211	***
Dist_Loipe	1	20386	20385.8	22088	9.49e-06	***
Residuals	230	212272	922.9			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tabelle 14: Lineare Koeffizienten der Lebensraumvariablen im Modell für Bärenfels.

	Einheit	Koeffizient	Std. Error
(Intercept)	-	40.3	3.15
Dist_Erholung	[m]	6.62e-03	6.36e-03
Dist_Loipe	[m]	4.28e-03	9.12e-04

Fazit

Bei der einzelnen Betrachtung der Forstbezirke treten sehr widersprüchliche Effekte zutage. In den beiden Forstbezirken **Eibenstock** und **Neustadt** mit den geringeren Schälschäden bestätigen sich nur teilweise die Ergebnisse für das Gesamtgebiet:

- Einen starken positiven Einfluss hat die Distanz zum Abfuhrweg.
- Ebenso wirkt sich größere Entfernung zu Feldern begünstigend auf das Auftreten von

Schälschäden auf.

- Im Gegensatz zum Gesamtbild ist die Entfernung zur Loipe nicht mit der Höhenlage substituierbar. Außerdem tritt Schale tendentiell näher an Loipen auf.

In den stärker geschädigten Forstbezirken **Bärenfels** und **Neudorf** treten andere, wenn auch hier nicht ganz einheitliche Charakteristiken auf:

- Ein positiver Einfluss der Entfernung zur Loipe entspricht dem Trend, der für dem gesamten Datensatz festgestellt wurde.
 - Der Effekt der Ost-West-Exposition findet sich nur bei Neustadt wieder (Osthang geschädigter als Westhang).
 - In Bärenfels konnte ein Zusammenhang zum Abstand von Wäldern mit Erholungsnutzungsfunktion gefunden werden.
- Durch die räumliche Autokorrelation und die nicht gegebene Unabhängigkeit von Messpunkten bei Distanzen unter 3 km (siehe Abschnitt 3.1) sind die gefundenen Zusammenhänge allerdings sehr kritisch zu hinterfragen und könnten keine systematischen Ursachen haben. Darauf deuten auch die zum Teil unterschiedlichen Lebensraumvariablen in den Forstbezirken hin.

3.5. Kriging

Mithilfe der Variogramme (Abschnitt 3.1) können Vorhersagen aus den rein räumlichen Beziehungen der Messpunkte ohne Berücksichtigung der Lebensraumvariablen durchgeführt werden (*ordinary kriging*). Die Ergebnisse der Kreuzvalidierung (Berechnung jedes Wertes der Altschale aus allen anderen) wurden den gemessenen Werten gegenübergestellt. Die Ergebnisse in Form von Bestimmtheitsmaßen sind bereits in Tab. 2 und 3 aufgeführt und wurden zur Begründung der räumlichen Abhängigkeiten herangezogen.

Tabelle 15: Parameter für die theoretischen Variogramme und Bestimmtheitsmaße für die Vorhersage der Altschale mit EDK. In Klammern die Verringerung der Semivarianz durch die Einbeziehung der Lebensraumvariablen.

	Semivarianz bei 0m	Räumlich unabh. ab	Max. Semivarianz	r ²
Eibenstock	319 (-12)	> 3623 m	502 (-54)	0.2733
Neudorf	891 (-5)	> 4029 m	1215 (-26)	0.1279
Neustadt	760 (-0)	> 7198 m	997 (-179)	0.2948
Bärenfels	448 (-33)	> 1963 m	913 (-101)	0.2633
gesamt	598 (-12)	> 3818 m	953 (-1)	0.3602

Das Verfahren des *external drift Kriging* (EDK) bezieht die Abhängigkeit von externen Variablen mit ein, indem die räumliche Interpolation (*Kriging*) auf die Residuen des linearen Modells angewendet wird. Dazu wurden die im vorherigen Abschnitt festgestellten linearen Abhängigkeiten verwendet, so dass die dort identifizierten Lebensraumvariablen verwendet wurden. Tab. 15 zeigt die Krigingparameter und Abb. 4 stellt die Ergebnisse gegenüber. Aufgrund der Tatsache, dass die erklärte Varianz der linearen Modelle (3% bis 17%) sehr gering ist, unterscheiden sich die Ergebnisse der Krigingmethoden wenig und die räumliche Autokorrelation ist auch unter Einbeziehung der Lebensraumvariablen dominierend.

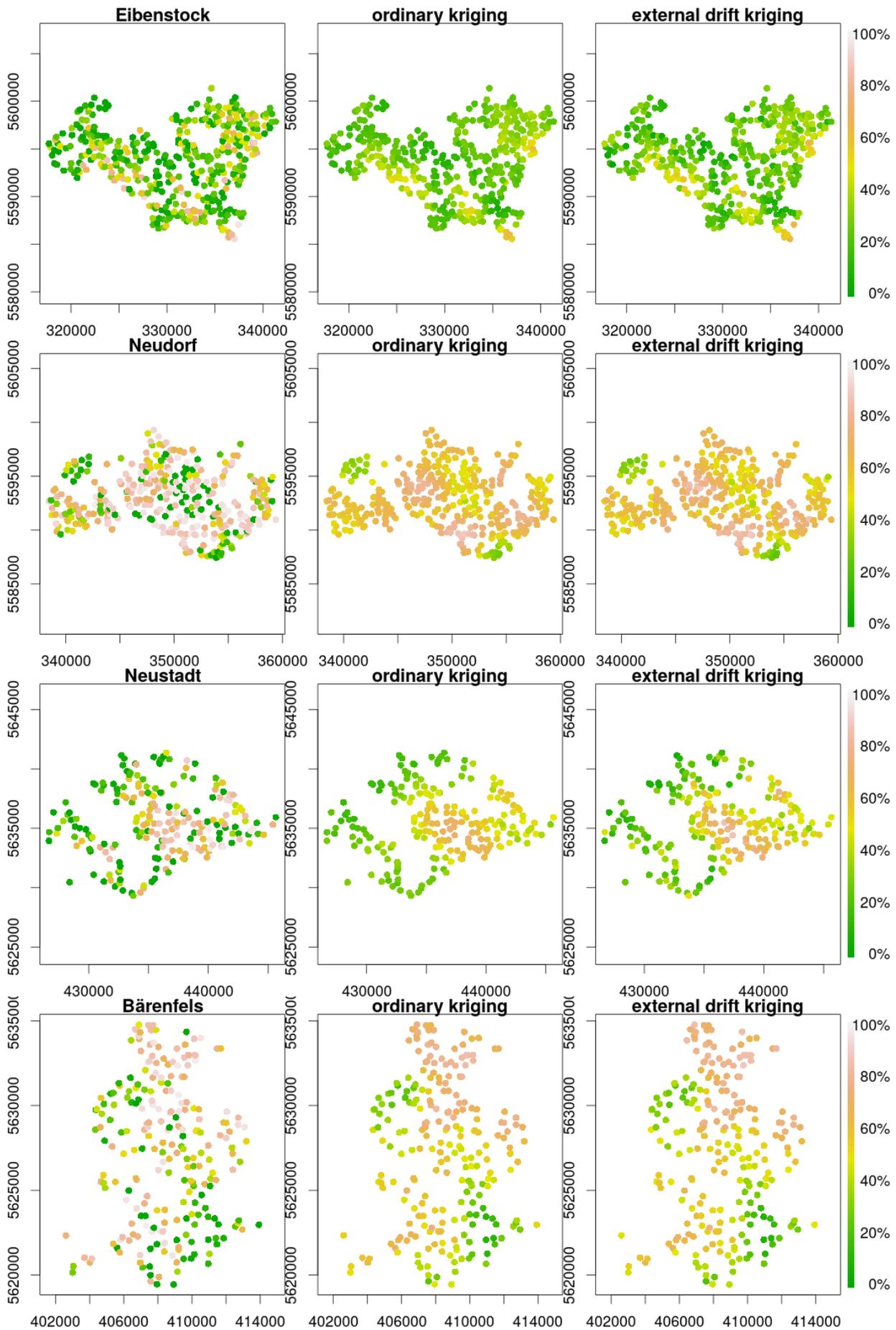


Abbildung 4: Gegenüberstellung der realen Altschäle mit den Ergebnissen der räumlichen Interpolation für die einzelnen Forstbezirke.

3.6 Analyse mit ANN

Für das Training der ANN (engl.: Artificial Neuronal Networks, dt.: Künstliche Neuronale Netze) wurden jeweils ein Testdatensatz von 100 Probekreisen zufällig ausgewählt, welcher nicht für das Training verwendet wurde. Die Ergebnisse (Anhang A2) beziehen sich ausschließlich auf den jeweiligen Testdatensatz. Alle ANN für den Modellvergleich in einer Spalte nutzen gleiche Trainings- und Testdatensätze. Die Werte unterschiedlicher Spalten sind nur bedingt vergleichbar, da sie sich auf unterschiedliche Testdaten beziehen. Die Modellanpassung ist darüber hinaus von der zufälligen Initialisierung der Gewichtungsfaktoren vor dem Training abhängig. Um die Vergleichbarkeit der Modelle zu verbessern, ist jeweils das zweitbeste von 6 trainierten Modellen (10-15 verdeckte Neuronen) aufgeführt.

Generell gelingt es auch mit ANN nicht, Modelle mit einer zufriedenstellenden Prognosegüte zu erstellen. Aufgrund der möglicherweise nichtlinearen Berücksichtigung von Variablen, treten teilweise andere Größen in den Vordergrund. Teilweise ist auch eine ähnliche Prognosegüte mit anderen Lebensraumvariablen möglich (siehe Tabelle für Bärenfels, gelb hervorgehoben: Höhenlage/Hangneigung bzw. Distanz_Erholung/Höhenlage). Bestätigt aus der Analyse mit linearen Modellen wird:

- im FoB Eibenstock ist die Hangneigung ein vergleichsweise starker Prädiktor.
- für Neudorf ist keine Anpassung möglich.
- im FoB Neustadt ist der Abstand zum Feld ein vergleichsweise starker Prädiktor.
- im FoB Bärenfels ist Dist_Erholung ein vergleichsweise starker Prädiktor.
- die wichtigsten Einflussfaktoren unterscheiden sich zwischen den Gebieten.

3.7 Fazit

Der Anteil der mit den Lebensraumvariablen erklärbaren Varianzen der Altschäle mit den linearen Modellen ist in allen Forstbezirken deutlich geringer als mit einer reinen räumlichen Interpolation (Ordinary Kriging, Tab. 16). Da sich die Ergebnisse der räumlichen Interpolation unter Einbeziehung der gefundenen linearen Abhängigkeiten nicht deutlich verbessern, scheint nicht nur die Altschäle, sondern auch die Prädiktorvariablen räumlich zu korrelieren, welche dann bei der Anpassung der linearen Teilgebietsmodelle als Proxy für eine bevorzugte räumliche Aggregation wirken können. Dafür spricht auch, dass in den einzelnen Forstbezirken komplett unterschiedliche Lebensraumvariablen als Prädiktoren für die Altschäle identifiziert wurden.

Tabelle 16: Bestimmtheitsmaße für die Anpassungen der linearen Modelle und der Kriging-Vorhersagen mit und ohne Berücksichtigung der linearen Abhängigkeiten.

	Lineares Modell	Ordinary Kriging	External Drift Kriging
Gesamtgebiet	0.222	0.326	0.360
Eibenstock	0.132	0.202	0.273
Neudorf	0.026	0.113	0.128
Neustadt	0.173	0.224	0.295
Bärenfels	0.115	0.265	0.263

Dieser räumliche Effekt führt weiterhin dazu, dass die Datensätze nicht als unabhängig angesehen werden können und die Signifikanz der gefundenen Zusammenhänge als fragwürdig bewertet werden muss.

Das Training von künstlichen neuronalen Netzen sollte gegenüber den linearen Modellen die Möglichkeiten erweitern, durch nichtlineare oder kombinierte Effekte den Einfluss von einzelnen Lebensraumvariablen auf die Altschäle zu identifizieren. Durch das Splitten des Datensatzes für Training und Validierung sind die Ergebnisse nur bedingt vergleichbar. Allerdings zeigte sich auch hier, dass sowohl innerhalb als auch zwischen den Forstbezirken Prädiktorvariablen teilweise austauschbar sind.

Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass für keine von den untersuchten zeitlich invariablen Größen mit hinreichender Sicherheit ein Einfluss auf die Altschäle festgestellt werden konnte.

4. Neuschäule und zeitlich variable Größen

4.1 Vorarbeit Kriging der Schneedaten

Die Daten der Schneehöhen lagen in Tageswerten für 32 Messstationen vor. In Absprache mit dem KWuF wurde entschieden, für die Plots maximale Schneehöhen (diese korrelieren gleichzeitig sehr stark mit der Dauer einer geschlossenen Schneedecke) für die jeweiligen Winterhalbjahre zu verwenden, die mittels *external drift Kriging* unter Berücksichtigung der Geländehöhe aus den Stationsdaten interpoliert werden.

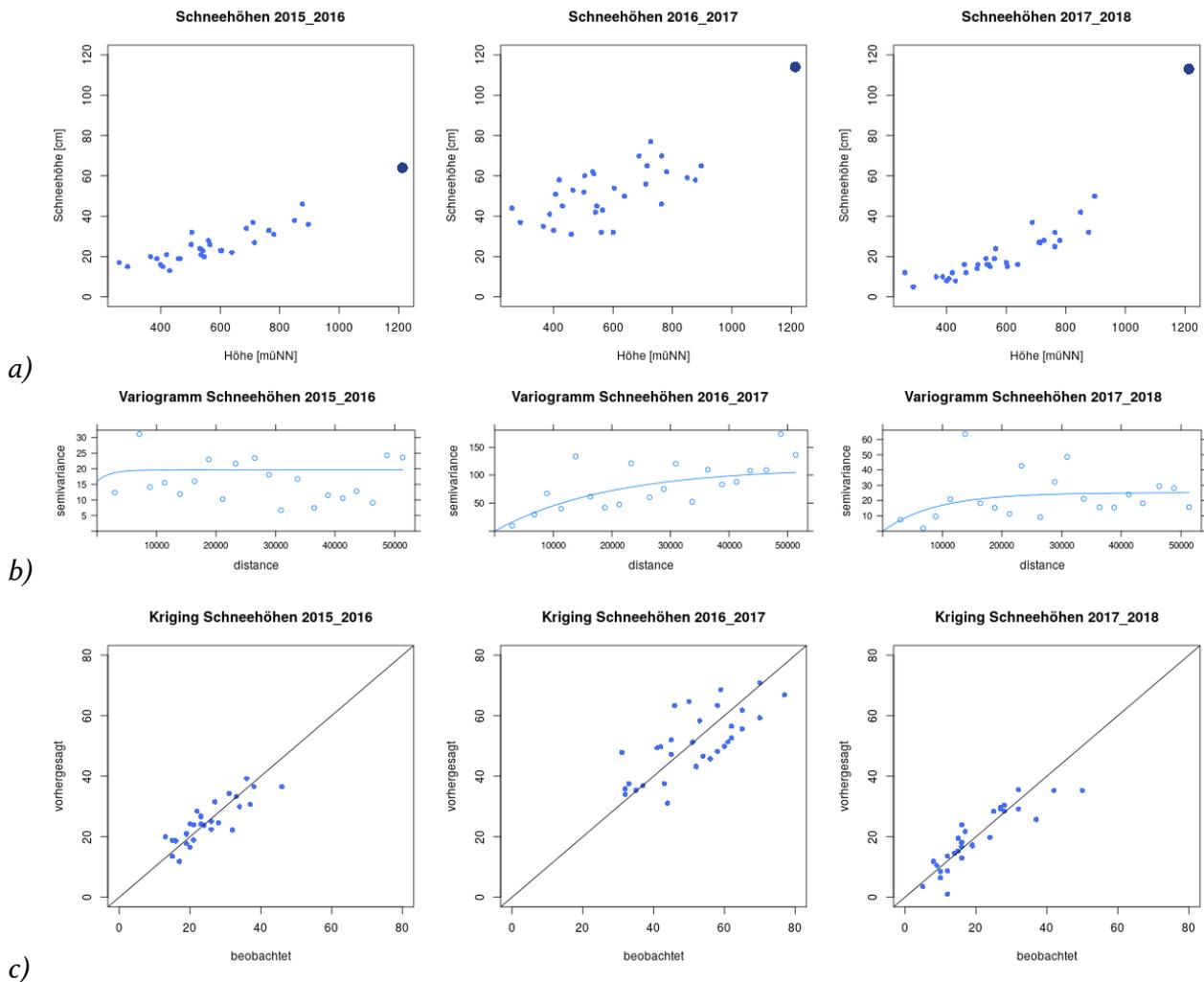


Abbildung 5: a) Maximale Schneehöhen der Messstationen in Abhängigkeit der Höhe. Der fette Punkt ist jeweils der Fichtelberg. b) Variogramme der Residuen der linearen Modelle der Schneehöhe in Abhängigkeit der Geländehöhe. c) Ergebnisse der Kreuzvalidierung der Schneehöhen. Jeweils von links nach rechts: Winterhalbjahre 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018.

Abbildung 5a) bestätigt, dass besonders in den Jahren 2015/2016 und 2017/2018 eine starke Abhängigkeit der Schneehöhen von der Geländehöhe besteht. Die hervorgehobenen Datenpunkte für den Fichtelberg stechen durch besonders hohe Werte für Geländehöhe und Schneehöhe heraus. Außer im letzten Jahr weichen sie allerdings nicht besonders stark vom linearen Trend der restlichen Punktwolke ab. Für das Kriging wurde der Fichtelberg entfernt, da (i) die Geländehöhen der restlichen Daten den Bereich der Untersuchungsflächen überwiegend abdecken und der einzelne Datenpunkt das lineare Modell sehr stark beeinflusst. Außerdem treten (ii) durch die räumliche Nähe zur Station Oberwiesental und den großen Höhenunterschied sehr unterschiedliche Messwerte auf, die bei der linearen Regression relativ große Residuen erzeugen. Dieses Wertepaar (Residuen Fichtelberg und Oberwiesental) führt im

Variogramm zu einer sehr hohen Semivarianz für geringe Distanzen und macht ein sinnvolles Kriging unmöglich (siehe Anhang A3). Abb. 5b) zeigt die Variogramme der Residuen für die 3 Beobachtungswinter und Abb. 5c) die Ergebnisse der Kreuzvalidierung für die Messstationen. Der Anteil der erklärten Varianz an der Gesamtvarianz (Bestimmtheitsmaß r^2) für die Modelle für die drei Jahre beträgt 0.72, 0.55 und 0.77.

4.2. Schäldaten und untersuchte Einflussvariablen

Neue Schältschäden (Neuschäle) traten nur in 35% der Datensätze für Plots und Jahre auf (30% für Winter- und 14% für Sommerschäle). Die überwiegende Mehrzahl der Werte der abhängigen Variablen betragen somit 0. Da aus diesem Grunde eine modellbasierte Quantifizierung der Schältschäden schwierig ist, sollen zunächst die unabhängigen Variablen auf ihren Einfluss getestet werden, ob überhaupt Schältschäden aufgetreten sind. Die Schältschäden werden also - analog zum oben beschriebenen Verfahren für die Altschäle - nur in Qnd 1 unterschieden.

Als unabhängige Variablen werden

- Altschäle
- Bestandesalter
- Baumhöhe
- Kronenschlussgrad
- Deckung Krautschicht
- Deckung Strauchsicht
- Winterkontakt Fotofalle (nur Winter)
- Sommerkontakt Fotofalle (nur Sommer)
- Gesamtstrecke Jagd (alle Wildarten, verortet auf Abteilungsebene)
- Schneehöhe (nur Winter)

getestet. Die Altschäle soll als Proxy der zeitlich invarianten Größen dienen, da dieser Größe eine Aussagekraft für die Vorgeschichte der Attraktivität des jeweiligen Plots unterstellt wird.

In Tabelle 17 wird deutlich, dass die hier betrachteten Lebensraumvariablen stärker untereinander korrelieren, als bei der Altschäle. Insbesondere Bestandesalter, Baumhöhe und Kronenschlussgrad zeigen jeweils positive Zusammenhänge.

Tabelle 17: Korrelationsmatrix zwischen den gewählten Lebensraumvariablen, Neuschäle.

	B.-Alter	Baumh.	K.-schl.	Krautsch.	Str.-sch.	Winterk.	Som.-k.	Ges.-str.	Schneeh.
Altschäle	0.141	0.255	0.191	-0.058	-0.313	0.215	-0.210	-0.001	-0.081
Bestandesalter	-	0.679	0.321	-0.043	-0.202	0.059	-0.143	0.007	-0.090
Baumhöhe	-	-	0.554	NA	NA	NA	-0.409	0.141	-0.149
Kronenschluss	-	-	-	NA	NA	NA	-0.441	0.213	-0.156
Krautschicht	-	-	-	-	0.099	0.074	0.268	-0.235	0.413
Strauchsicht	-	-	-	-	-	-0.222	0.195	-0.053	0.349
Winterkontakt	-	-	-	-	-	-	0.298	0.106	-0.062
Sommerkontakt	-	-	-	-	-	-	-	-0.125	-0.043
Gesamtstrecke	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.099

In einem ersten Schritt werden forstbezirksweise jeweils für Sommerschäle und Winterschäle in Form von Boxplots und Wilcoxon-Rangsummen-Tests untersucht, ob es Unterschiede in der Ausprägung der Variablen für Plots mit und ohne Schäle gibt. Das Ergebnis ist hier beispielhaft für Winterschäle im Forstbezirk Neustadt dargestellt (Abb. 6, die anderen Varianten finden sich im Anhang).

Es kann festgestellt werden, dass Plots mit Winterschäle signifikant mehr Altschäle und ein geringeres Bestandesalter aufweisen. Mit Ausnahme des Forstbezirkes Bärenfels führten auch größere Schneehöhen zu höherer Neuschäle. In Eibenstock und Neudorf zeigen sich Abhängigkeiten von der Baumhöhe (-, negativer Zusammenhang), in Eibenstock allein ergeben sich signifikante Unterschiede hinsichtlich des Kronenschlussgrades (-) und der Krautschicht (+, positiv).

Hinsichtlich der Sommerschäle zeigen sich in Neustadt keine signifikanten Unterschiede in der

Ausprägung der Variablen, bei allen anderen Forstbezirken aber für Altschäle (+), Bestandesalter (-) und Baumhöhe (-). Die Jagdstrecke scheint einen Einfluss in Eibenstock (-) zu haben, Kronenschlussgrad (-) und Strauchschicht (+) in Neudorf.

Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass (i) räumliche Effekte (siehe Altschäle) hierbei nicht einbezogen sind und außerdem (ii) die Irrtumswahrscheinlichkeit für jeden Test 5% beträgt. Die Wahrscheinlichkeit, dass bei 66 Tests (wie hier) mit Zufallszahlen (also ohne Zusammenhang!) bei mindestens einem ein Zusammenhang gefunden wird, ca. 97% ($1 - (1 - 0.05)^{66} = 0.966$) beträgt.

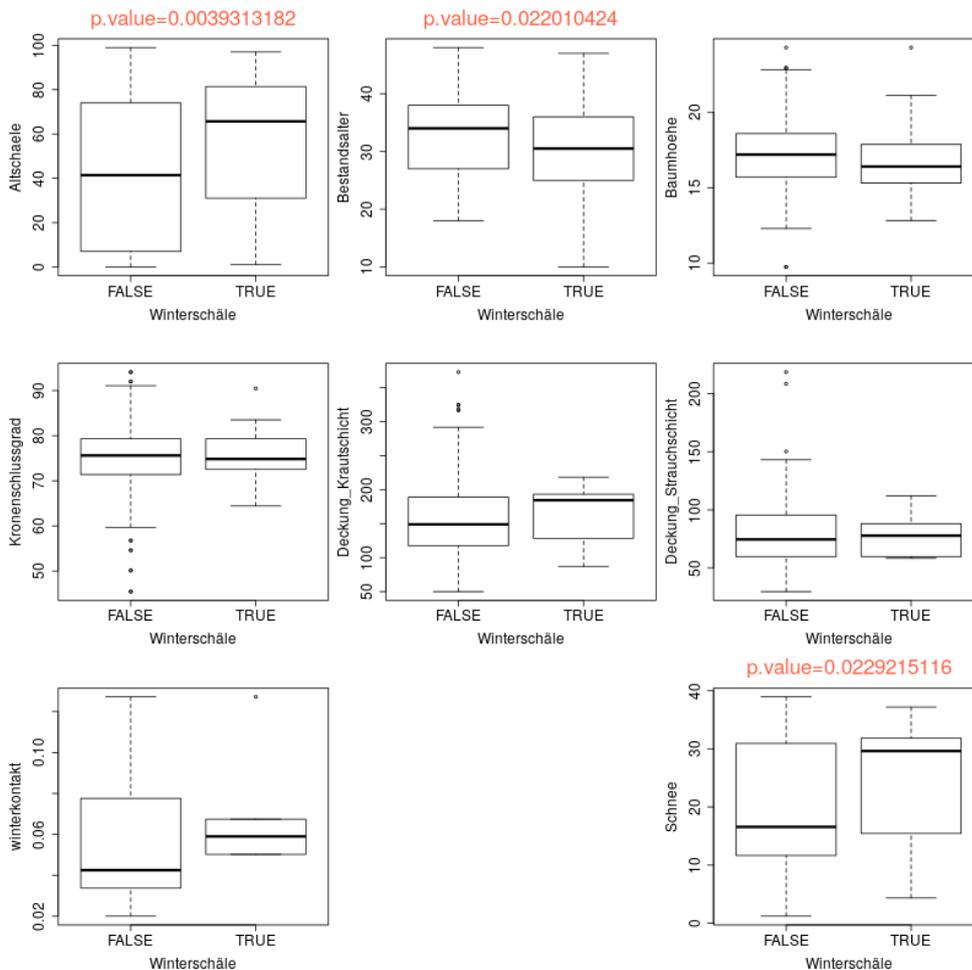


Abbildung 6: Ausprägung der vermuteten Einflussgrößen für Plots ohne (FALSE) und mit (TRUE) Winterschälenschäden im Forstbezirk Neustadt. Räumlich auf Abteilungen verortete Jagdstreckendaten lagen für Neustadt nicht vor. Signifikante Unterschiede der Variablen hinsichtlich der Klassen sind durch angegebene p-values der Wilcoxon-Rangsummen-Tests angegeben.

4.3 Winterschäle

Auf Grundlage der im vorigen Abschnitt gefundenen, vermuteten Einflussgrößen soll die Abhängigkeit der Neuschäle von diese Variablen mittels logistischer Regression (Logit-Modell) getestet werden. Dabei wird mit den in 4.2 identifizierten Umweltvariablen begonnen und nichtsignifikante Variablen werden (schrittweise) entfernt. Alle anderen Größen wurden je einzeln ergänzt, um zu testen, ob sich durch das parametrische Modell Abhängigkeiten erkennen lassen, die in 4.2 nicht erkannt wurden. Die korrelierten Größen Baumhöhe und Bestandesalter sind in den Modellen teilweise austauschbar, wobei die statistische Signifikanz jeweils für nur eine der beiden Größen nachweisbar ist, nicht aber für beide gleichzeitig. Aufgeführt sind die Modelle mit ausschließlich signifikanten unabhängigen Größen (Tab. 18). Ein deutlicher Einfluss auf die Winterschäle ist für alle Forstbezirke für die Altschäle und Baumhöhe/Bestandesalter gegeben. In Neustadt und Eibenstock ist die maximale Schneehöhe ein signifikanter Faktor.

Tabelle 18: Logistische Regressionsmodelle für die Forstbezirke, Winter.

Eibenstock	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	-1.073440	0.633723	-1.694	0.0903	.
Altschaele	0.022506	0.004133	5.446	5.16e-08	***
Baumhoehe	-0.137735	0.028215	-4.882	1.05e-06	***
Schnee	0.020054	0.007800	2.571	0.0101	*

Neudorf	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	1.15733	0.36328	3.186	0.001444	**
Altschaele	0.01103	0.00237	4.655	3.24e-06	***
Baumhoehe	-0.07155	0.02144	-3.337	0.000846	***

Neustadt	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	-1.203344	0.949861	-1.267	0.205204	
Altschaele	0.022027	0.005829	3.779	0.000157	***
Bestandsalter	-0.116466	0.030323	-3.841	0.000123	***
Schnee	0.046751	0.017788	2.628	0.008583	**

Bärenfels	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	1.289770	0.388492	3.320	9e-04	***
Altschaele	0.021091	0.002689	7.844	4.37e-15	***
Bestandsalter	-0.086235	0.012833	-6.720	1.82e-11	***

Tabelle 19: Logistische Regressionsmodelle für die Forstbezirke, Sommer.

Eibenstock	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	-0.085460	0.502471	-0.170	0.8649	
Altschaele	0.020682	0.004407	4.693	2.69e-06	***
Bestandsalter	-0.093175	0.017898	-5.206	1.93e-07	***
Gesamtstrecke	-0.045758	0.019208	-2.382	0.0172	*

Neudorf	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	0.882636	0.716012	1.233	0.217684	
Altschaele	0.017965	0.004744	3.787	0.000152	***
Bestandsalter	-0.118619	0.021966	-5.400	6.66e-08	***
Strauchsicht	0.007778	0.003309	2.351	0.018728	*

Neustadt	kein signifikanter Zusammenhang				
-----------------	---------------------------------	--	--	--	--

Bärenfels	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	3.691802	1.400183	2.637	0.00837	**
Altschaele	0.030980	0.008057	3.845	0.00012	***
Bestandsalter	-0.201421	0.042653	-4.722	2.33e-06	***
Krautschicht	-0.008569	0.004268	-2.008	0.04468	*

4.4 Sommerschäle

Analog dazu wurde die Analyse der Sommerschäle durchgeführt. In Tab. 19 sind die Ergebnisse aufgezeigt. Für den Forstbezirk Neustadt konnten keine signifikanten Variablen identifiziert werden. Ansonsten bestätigt sich der Einfluß von Altschäle und Bestandsalter (/Baumhöhe). Weiterhin zeigte sich, dass für Eibenstock die Gesamtjagdstrecke, für Neudorf die Deckung der Strauchsicht und für Bärenfels die Krautschicht einen Einfluss zu haben scheinen. Allerdings sollten diese letztgenannten Variablen mit Vorsicht als Einflussgrößen erwogen werden, da diese Effekte nur einmalig beobachtet werden und daher auch zufällig sein können. Hier nicht ernsthaft aufgeführt (Anhang A5), aber erwähnt werden soll ein Modell, welches für den Sommer die Schneehöhe des letzten Winters als signifikante Lebensraumvariable erkennt. Mögliche Gründe sind die oben erwähnte Verfälschung der Irrtumswahrscheinlichkeit durch die Vielzahl der Tests, räumliche Zusammenhänge, wie im Kapitel zur Altschäle untersucht, oder

Abhängigkeiten verwendeter und nicht verwendeter Variablen untereinander (z.B. Schneehöhe-Geländehöhe).

4.5 Fazit

Als maßgebliche Einflussgrößen auf sowohl Winter- und Sommerschäle konnte die Altschäle als Proxyvariable für zeitinvariable und langjährig annähernd konstante Größen (Altschäle begünstigt Neuschäle), und Bestandesalter bzw. die damit korrelierende Baumhöhe (negativer Effekt) identifiziert werden. Im Winter konnte für die Forstbezirke Eibenstock und Neustadt ein Einfluss der Schneehöhe nachgewiesen werden (Winterschäle wahrscheinlicher bei tieferem Schnee).⁷ Im Sommer traten jeweils einmalig Gesamtstrecke (schälrisikosenkend, Eibenstock)⁸, Strauchschicht (schälrisikofördernd, Neudorf) und Krautschicht (schälrisikosenkend, Bärenfels) als signifikante Größen in Erscheinung. Analog zur Altschäle ist auch hier davon auszugehen, dass räumliche Unabhängigkeit nicht gegeben ist. Daher sind die letztgenannten Zusammenhänge möglicherweise nicht maßgeblich.

Im Anhang A6 ist in Form von Kontingenztabelle die Vorhersagegenauigkeit für die Schäle mit den logistischen Modellen dargestellt. In der Tendenz liegen die Modelle richtig, aber von einer sicheren Vorhersage kann nicht ausgegangen werden.

5. Verbiss

5.1 Verbisssdaten und untersuchte Einflussvariablen

Da in der Mehrheit der Plots (nach Größenklassen 216, 379 und 462 von 656) die Anzahl der Ebereschen im Plot Null beträgt, wird auch hier das Vorhandensein von Ebereschen als logische Variable beschrieben. Keine Ebereschen in der jeweiligen Größenklasse werden mit dem Wert FALSE belegt (siehe Kapitel 1), das Vorhandensein von mindestens einer Eberesche belegt den Wert TRUE.

Ferner sind nach Aussage des KWuF die nur 8 Probekreise im Forstbezirk Adorf an der Grenze zum Forstbezirk Eibenstock und können diesem zugeschlagen werden.

Tabelle 20: Korrelationsmatrix der Lebensraumvariablen

	Distanz Abf.-w.	Distanz Loipe	Höhenlage	Hang-Neigg.	Kontakt Rotwild	Kontakt Rehwild	Kraut-Schicht	Strauch-Schicht	Abstd. Feld	Expos. N-S	Expos. O-W
Anzahl Baumarten	-0.046	-0.006	-0.242	0.093	0.003	0.096	0.002	-0.002	-0.114	-0.027	-0.112
Distanz_Abfuhrweg	-	-0.072	0.007	-0.061	-0.026	0.029	0.021	0.074	-0.203	-0.015	-0.00
Distanz_Loipe	-	-	-0.382	0.153	0.537	0.313	-0.598	-0.506	0.003	0.040	-0.053
Höhenlage	-	-	-	-0.327	-0.172	-0.256	0.437	0.293	0.185	-0.039	0.108
Hangneigung	-	-	-	-	0.179	0.055	-0.215	-0.281	-0.107	0.170	-0.021
Kontakt_Rotwild	-	-	-	-	-	0.422	-0.422	-0.291	-0.002	0.058	-0.019
Kontakt Rehwild	-	-	-	-	-	-	-0.227	-0.133	-0.155	0.036	-0.085
Krautschicht	-	-	-	-	-	-	-	0.284	0.113	-0.009	0.037
Strauchschicht	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.052	0.036	0.051
Abstand_Feld	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.037	0.031
Expos. N-S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.158

Die Autokorrelationsmatrix (Tab. 20) zeigt Zusammenhänge zwischen dem Abstand von der Loipe, den Wildkontakten mit den Fotofallen (Rot- und Rehwild) sowie der Bedeckung mit Kraut- und Strauchschicht.

Getrennt für die drei Größenklassen werden analog zu den Schäldata (Kap. 4.2) zunächst Lebensraumvariablen ausgeschlossen, die einzeln mit Wilcoxon-Rangsummen-Test oder Chi-

⁷ Anmerkung: Das ist eine durchaus plausible Beobachtung: Bei steigenden Schneehöhen kann (nach Aussage örtlicher Akteure) sowohl in Eibenstock, als auch in Neustadt eine verstärkte Zuwanderung (witterungsbedingte Ausweichbewegung) von Rotwild aus dem tschechischen Raum beobachtet werden.

⁸ Anmerkung: Das widerspricht der landläufigen Hypothese, dass Jagddruck (neben anderen Störungen) der wesentliche Auslöser für Schältschäden ist.

Quadrat-Test (für kategorische Variablen Schäle und Forstbezirk) keinen Zusammenhang mit dem Vorhandensein von Ebereschen zeigen (Anhang A7). Damit konnten Distanz zum Abfuhrweg, Höhenlage und OW-Exposition von vornherein ausgeschlossen werden. Ein Zusammenhang zu Schältschäden scheint gegeben zu sein, der am deutlichsten bei Winterschäle ausfällt. In den Abbildungen im Anhang ist daher nur die Winterschäle abgebildet. Zusammenfassend sind diese Tendenzen in Tabelle 21 dargestellt. Auffällig ist, dass sich Trends zwischen Größenklasse 0 und den beiden anderen konsequent umkehren. Die hierbei identifizierten Lebensraumvariablen bilden die Grundlage für die Ermittlung logistischer Regressionsmodelle.

Tabelle 21: Nach einzelnen Tests vermutete Lebensraumvariablen mit Zusammenhang zur Anwesenheit von Ebereschen. Das angegebene Vorzeichen steht für vermutlich fördernden (+) oder hemmenden (-) Zusammenhang. Forstbezirke sind aufsteigend nach höherem Ebereschenanteil sortiert (E=Eibenstock, N= Neudorf). Leere Felder stehen für keine Tendenz. Die variable Waldentwicklungsphase ist eine kategorische Variable, daher kann keine Tendenz angegeben werden.

Größenklasse	0	1	2
Anzahl Baumarten	-	+	+
Distanz_Loipe	+	-	-
Hangneigung	+		
Fotofallen-Kontaktrate Rotwild	+	-	-
Fotofallen-Kontaktrate Rehwild	+		
Waldentwicklungsphase	*		*
Deckung Krautschicht	-		+
Deckung Strauchschicht	-	+	+
Forstbezirk	E-N	N-E	N-E
Abstand zu landw. Nutzfläche	+	-	-
NS-Exposition			-
Winterschäle	+	-	-

5.2 Logistische Regressionsmodelle für die einzelnen Größenklassen

Es wurden für alle 3 Größenklassen logistische Regressionsmodelle erstellt, indem zunächst komplette Modelle mit den Variablen aus Tabelle 21 getestet wurden und dann schrittweise die nichtsignifikanten Größen entfernt wurden, bis Modelle mit ausschließlich signifikanten Effekten (entsprechend den p-Werten) übrigblieben (Tab. 22). Aufgrund von Abhängigkeiten von Variablen untereinander (siehe Korrelationsanalyse) und typischen Variablenausprägungen in den Forstbezirken, können auch alternative Modelle erstellt werden, bei denen sich alle Einflüsse als signifikant darstellen (Tab. 23). Die Kontingenztabelle für die Modellvorhersagen finden sich in Tab. 24.

Die gefundenen Einflussgrößen sind für die Größenklassen der Ebereschen relativ konsistent (Tab. 22). Die Anzahl der Baumarten und der Abstand zum Feld ist in allen Größenklassen von signifikantem Einfluss. Ferner treten Kontaktraten (Rotwild) und Neuschäle bei 2 Größenklassen und die Distanz zur Loipe nur bei Größenklasse 2 als Einflussfaktoren auf das Vorkommen von Ebereschen zutage. Aufgrund der gegebenen Korrelation zwischen der Distanz zur Loipe und dem Rotwildkontakt (Tab. 20) könnte die gefundene Abhängigkeit von der Distanz zur Loipe auch daher resultieren. Ein Modell für Größenklasse 2 ohne die Distanz zur Loipe zeigt eine signifikante Abhängigkeit von den Rotwildkontaktraten.

In den alternativen Modellen ersetzt der Forstbezirk die genannten Größen außer der Anzahl der Baumarten im Plot und die Winterschäle. Abb. 7 zeigt die Ausprägung der entfallenden Variablen „Kontaktraten Rotwild“ und „Abstand Feld“. Für die Kontaktraten ist zu erkennen, dass sich diesbezügliche Unterschiede in den Forstbezirken finden und sich damit unterschiedliche Modelle ähnlicher Gültigkeit erstellen lassen. Sicherlich erscheint es sinnvoll und wahrscheinlich, dass Verbissschäden mit Wilddichten zusammenhängen. Allerdings ist nicht zweifelsfrei

auszuschließen, dass es andere Mechanismen sind, die sich ebenso unterschiedlich in den Forstbezirken manifestieren und dann mit Kontaktraten erklärt werden können. Eine Auffälligkeit, die auch bereits bei der Vorbetrachtung der Daten in 5.1 festgestellt werden konnte, ist auch hier, dass der Effekt der Variablen für die Größenklasse 0 genau entgegengesetzt ist, wie bei den anderen Größenklassen. Beispielsweise führt eine erhöhte Baumartenanzahl zu einer Verringerung des Vorkommens von kleinen Ebereschen, aber andererseits zu einer Erhöhung des Vorkommens größerer Bäumen. Das gilt sowohl für die Modelle in Tab. 22 als auch in Tab. 23. Inwieweit diese Beobachtung realistisch ist, muss anhand forstlicher Kriterien und unter Beurteilung der Datenerhebung bewertet werden und kann hier nicht beantwortet werden.

Tabelle 22: Effekte der signifikanten Variablen in den logistischen Modellen für die 3 Größenklassen.

Größenklasse	0		1		2	
	Effekt	Signifikanz	Effekt	Signifikanz	Effekt	Signifikanz
(Intercept)		**				***
Anzahl Baumarten	-	***	+	**	+	***
Kontakt_Rotwild	+	**	-	***		
Distanz Loipe					-	***
Abstand_Feld	+	*	-	***	-	*
Winterschäle	+	**			-	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tabelle 23: Effekte der signifikanten Variablen in den alternativen logistischen Modellen für die 3 Größenklassen.

Größenklasse	0		1		2	
	Effekt	Signifikanz	Effekt	Signifikanz	Effekt	Signifikanz
(Intercept)		***				***
Anzahl Baumarten	-	***	+	**	+	***
Forstbezirk Neudorf	+	***	-	**	-	***
Winterschäle	+	*	-	*	-	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

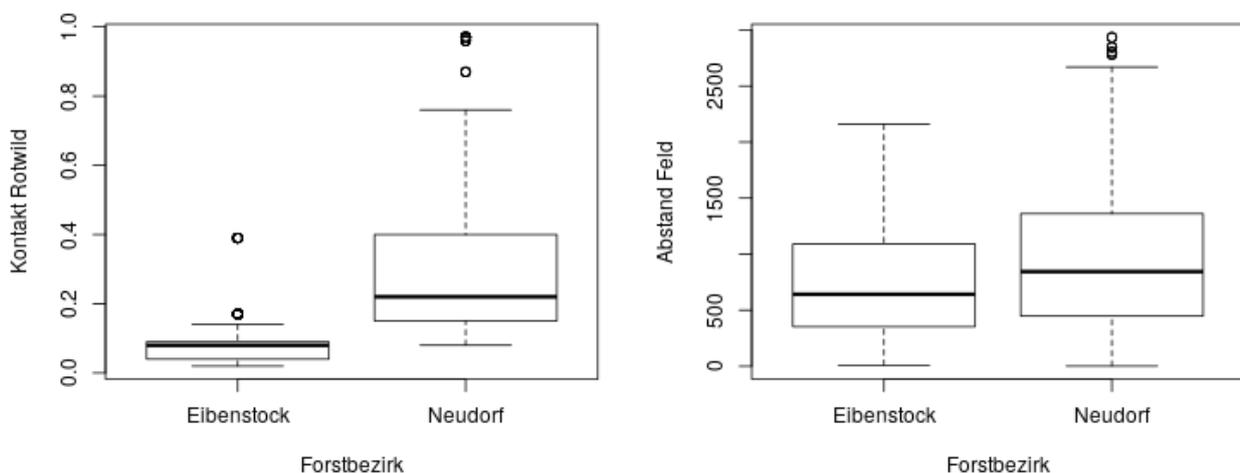


Abbildung 7: Ausprägung der Variablen „Kontaktraten Rotwild“ und „Abstand Feld“ in den Forstbezirken.

Tabelle 24: Kontingenztabelle der Modellvorhersagen, FALSCH - keine Ebereschen, WAHR – Ebereschen vorhanden, Tabellen links nach Modellen in Tab. 22, Tabellen rechts entsprechen Alternativmodellen mit Forstbezirk nach Tab. 23, von oben nach unten Größenklassen 0-2. Die Spalten der Kontingenztabelle entsprechen dem Verbiss nach den Felddaten, die Zeilen den Vorhersagen der logistischen Modelle (z.B. das obere linke Feld, FALSCH-FALSCH, entspricht jeweils der Anzahl Plots ohne Ebereschen, die vom Modell als „ohne Ebereschen“ vorhergesagt wurden).

			Modell Tabelle 22		Modell Tabelle 23	
			Felddaten			
			FALSCH	WAHR	FALSCH	WAHR
Größe 0	Vorhersage	FALSCH	43	24	41	25
		WAHR	156	388	158	387
Größe 1		FALSCH	290	163	259	139
		WAHR	89	114	91	122
Größe 2		FALSCH	401	108	416	129
		WAHR	36	66	21	45

5.3 Fazit

Für die alle Größenklassen können ähnliche Lebensraumvariablen identifiziert werden, die einen Einfluss auf das Vorkommen der Ebereschen zeigen. Als wesentlich können Anzahl der Baumarten, Kontaktraten (Rotwild), Abstand von der nächsten landwirtschaftlichen Nutzfläche und Winterschäle eingestuft werden. Es zeigt sich allerdings, dass Unterschiede zwischen den Forstbezirken Eibenstock und Neudorf in den Modellen eine ähnlich gute Erklärung geben, wie die Variablen Kontaktraten (Rotwild) und Abstand vom Feld.

Tabelle 25: Häufigkeiten des Auftretens der Größenklasse 0 in Abhängigkeit des Auftretens höherer Klassen.⁹

		Größenklassen 1 oder 2	
		FALSCH	WAHR
Größenklasse 0	FALSCH	0	216
	WAHR	276	164

Eine mögliche kausale Erklärung der gegenläufigen Tendenzen könnte sein, dass stärkerer Verbiss seltener Beobachtungen von Ebereschen höherer Größenklassen zulässt. Andererseits führen Standorte ohne Ebereschen dieser Klassen möglicherweise zu einer höheren Wahrscheinlichkeit, dass kleine Ebereschen anwachsen. Tabelle 25 zeigt die Tendenz, dass das Vorhandensein von Größenklasse 0 sich oft mit dem Auftreten der höherer Größenklassen ausschließt.

⁹ Es wurden nur Probekreise betrachtet, wo mindestens eine Größenklasse auftrat.

Anhang

A1: Modell2 (ohne Distanz zur Loipe), Modell3 (ohne Höhenlage), Modell4 (ohne Dist_Loipe, Dist_Erholung, Exp_NS) und Modell5 (ohne Dist_Loipe, Dist_Erholung, Exp_OW, Exp_NS)

Tabelle A1.1: Varianzanalyse Modell2

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Forstbezirk	3	238480	79493	89.2741	<2.2e-16	***
Dist_Abfuhrweg	1	17350	17350	19.4843	1.11e-05	***
Dist_Erholung	1	1174	1174	1.3185	0.251098	
Hoehenlage	1	5727	5727	6.4316	0.011340	*
Hangneigung	1	8612	8612	9.6719	0.001916	**
Abstand_Feld	1	20739	20739	23.2910	1.58e-06	***
Exp_OW	1	3953	3953	4.4390	0.035339	*
Exp_NS	1	302	302	0.3388	0.560640	
Residuals	1170	1041819	890			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tabelle A1.2: Varianzanalyse Modell3

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Forstbezirk	3	238480	79493	89.1600	<2.2e-16	***
Dist_Abfuhrweg	1	17350	17350	19.4594	1.12e-05	***
Dist_Erholung	1	1174	1174	1.3168	0.2514010	
Dist_Loipe	1	4553	4553	5.1068	0.0240153	*
Hangneigung	1	11876	11876	13.3198	0.0002742	***
Abstand_Feld	1	17982	17982	20.1682	7.79e-06	***
Exp_OW	1	3434	3434	3.8511	0.0499501	*
Exp_NS	1	156	156	0.1752	0.6756310	
Residuals	1170	1043151	892			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tabelle A1.3: Varianzanalyse Modell4

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Forstbezirk	3	238480	79493	89.3878	<2.2e-16	***
Dist_Abfuhrweg	1	17350	17350	19.5092	1.09e-05	***
Hoehenlage	1	6325	6325	7.1121	0.007762	**
Hangneigung	1	8871	8871	9.9753	0.001627	**
Abstand_Feld	1	20955	20955	23.5630	1.37e-06	***
Exp_OW	1	3903	3903	4.3890	0.036387	*
Residuals	1172	1042272	889			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tabelle A1.4: Varianzanalyse Modell5

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Forstbezirk	3	238480	79493	89.1303	<2.2e-16	***
Dist_Abfuhrweg	1	17350	17350	19.4530	1.13e-05	***
Hoehenlage	1	6325	6325	7.0916	0.007851	**
Hangneigung	1	8871	8871	9.9466	0.001652	**
Abstand_Feld	1	20955	20955	23.4951	1.42e-06	***
Residuals	1173	1046175	892			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

A2: Künstliche Neuronale Netze, Bestimmtheitsmaße. Die Werte beziehen sich jeweils auf Modelle ohne die entsprechende Variable. Höhere Bestimmtheitsmaße bedeuten also bessere Modelle unter Auslassung der jeweiligen Variable.

Gesamtgebiet	1.Lauf	2.Lauf	3.Lauf	4.Lauf	5.Lauf	6.Lauf
alle Variablen	0.2049	0.2843	0.2254	0.2540	0.2153	0.2471
Forstbezirk	0.1584	0.1936	0.1435	0.1362	0.0938	0.1028
Dist_Abfuhrweg	0.1914	0.2572	0.2012	0.2429	0.2124	-
Dist_Erholung	0.1919	0.2913	0.2294	-	-	-
Dist_Loipe	0.2113	0.2692	0.1961	0.1837	0.1477	0.2348
Hoehenlage	0.2037	0.3115	-	-	-	-
Hangneigung	0.1930	0.2701	0.2281	0.2497	-	-
Abstand_Feld	0.1993	0.2796	0.2103	0.2291	0.1992	0.2269
Exp_OW	0.2162	-	-	-	-	-
Exp_NS	0.2171	-	-	-	-	-

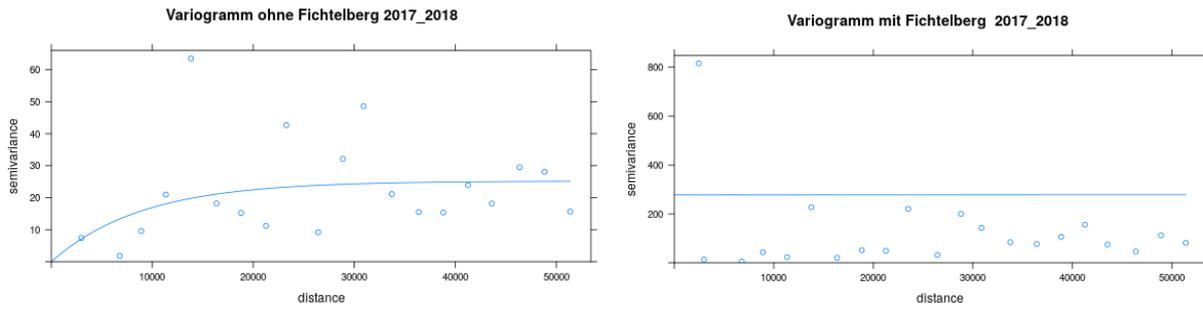
Eibenstock	1.Lauf	2.Lauf	3.Lauf	4.Lauf	5.Lauf
alle Variablen	0.1416	0.1056	0.1301	0.1380	0.1316
Dist_Abfuhrweg	0.0895	0.0747	0.1567	-	-
Dist_Erholung	0.0879	0.0747	0.1087	0.0853	0.0804
Dist_Loipe	0.1020	0.0998	0.0890	0.0277	0.0276
Hoehenlage	0.1459	0.1159	-	-	-
Hangneigung	0.0988	0.0445	0.0734	0.1214	0.0753
Abstand_Feld	0.1954	0.1058	0.1247	0.1445	-
Exp_OW	0.1685	-	-	-	-
Exp_NS	0.1760	-	-	-	-

Neudorf	1.Lauf
alle Variablen	0.0315
Dist_Abfuhrweg	0.0277
Dist_Erholung	0.0260
Dist_Loipe	0.0145
Hoehenlage	0.0282
Hangneigung	0.0642
Abstand_Feld	0.0498
Exp_OW	0.0451
Exp_NS	0.0538

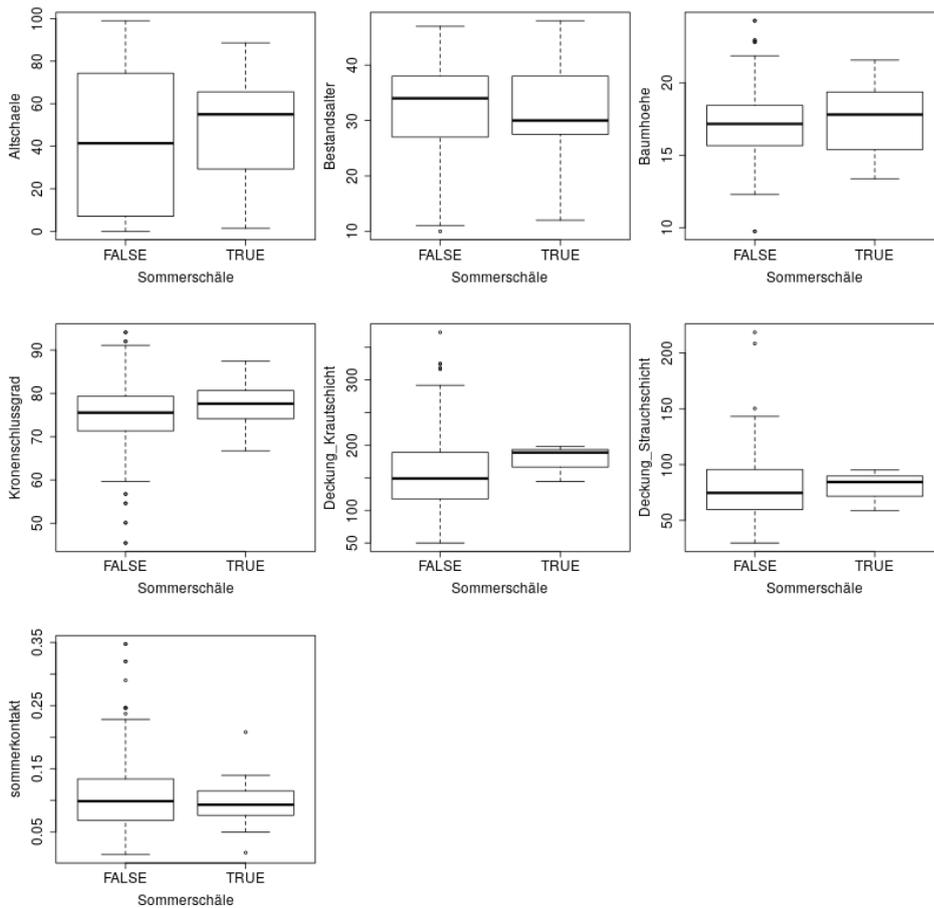
Neustadt	1.Lauf	2.Lauf	3.Lauf	4.Lauf	5.Lauf	6.Lauf
alle Variablen	0.1533	0.1859	0.1851	0.1834	0.1356	0.1852
Dist_Abfuhrweg	0.1433	0.1776	0.1750	-	-	-
Dist_Erholung	0.1697	0.2090	-	-	-	-
Dist_Loipe	0.1501	0.1760	0.1707	0.1636	0.1568	-
Hoehenlage	0.1270	0.1575	0.1692	0.1394	0.1029	0.1305
Hangneigung	0.1735	0.1506	0.1707	0.1789	-	0.1382
Abstand_Feld	0.0524	0.0953	0.0856	0.0855	0.0091	0.0795
Exp_OW	0.1860	-	-	-	-	-
Exp_NS	0.1564	-	-	-	-	-

Bärenfels	1.Lauf	2.Lauf	3.Lauf	4.Lauf	5.Lauf	6.Lauf	7.Lauf
alle Variablen	0.1904	0.2877	0.1941	0.1995	0.2630	0.1363	0.1462
Dist_Abfuhrweg	0.1762	0.2528	0.1770	0.1664	0.2712	-	-
Dist_Erholung	0.1529	0.1965	0.1375	0.1310	0.2110	0.1660	0.0885
Dist_Loipe	0.1514	0.2586	-	-	-	-	-
Hoehenlage	0.1693	0.2481	0.1182	0.1858	0.1827	0.0562	0.1312
Hangneigung	0.1378	0.2147	0.1987	0.0973	0.2849	0.1463	0.1150
Abstand_Feld	0.1972	0.2594	0.1815	0.1510	0.2331	0.1145	0.1289
Exp_OW	0.2329	-	-	-	-	-	-
Exp_NS	0.2019	-	-	-	-	-	-

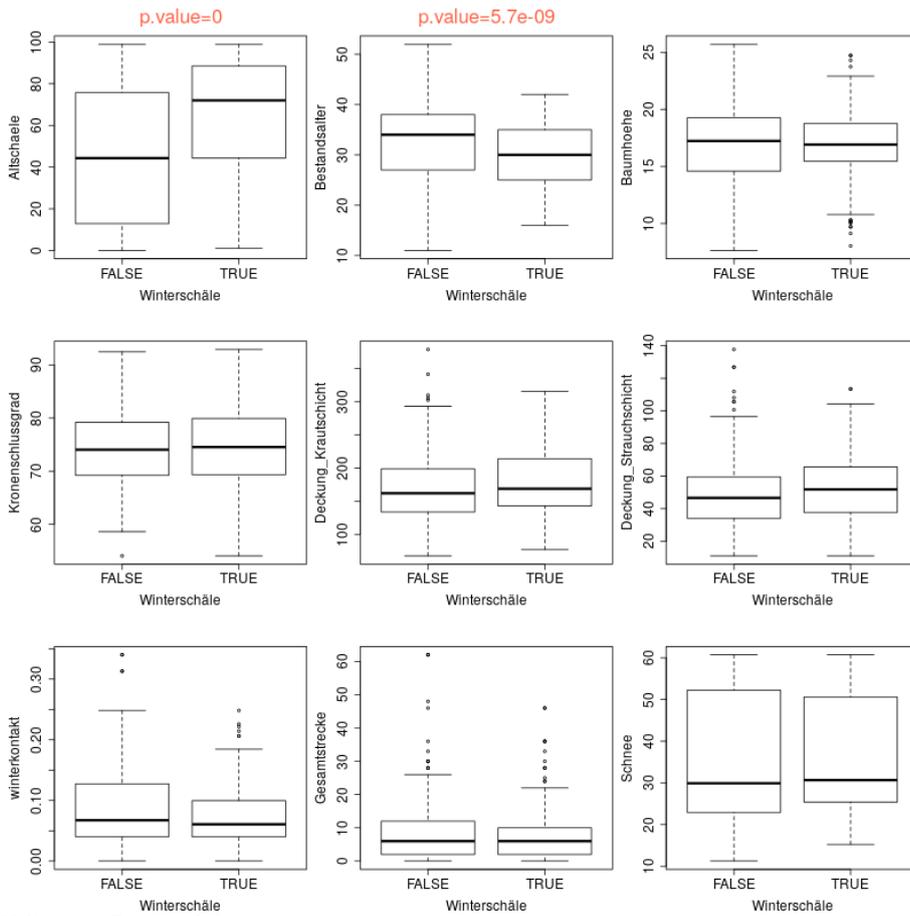
A3: Variogramm für die Schneehöhen 2017/2018 ohne und mit Fichtelberg



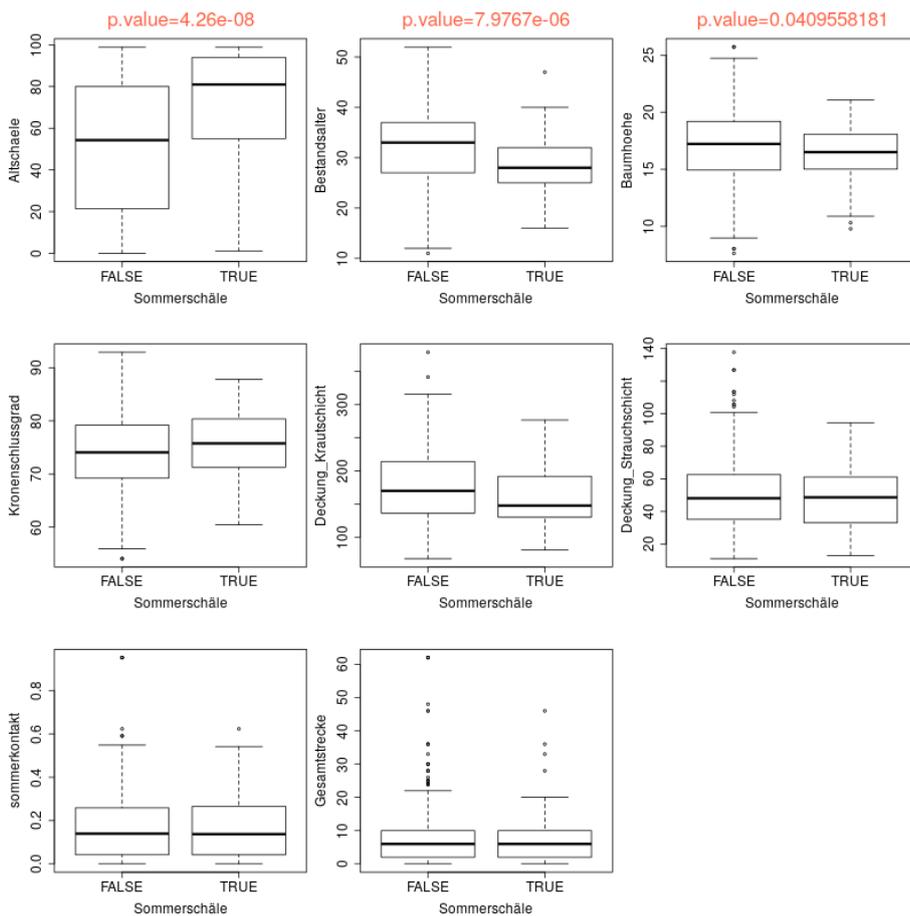
A4: Ausprägung der vermuteten Einflußgrößen für Plot ohne (FALSE) und mit (TRUE) Winter- und Sommerschälchäden in den Forstbezirken. Signifikante Unterschiede der Variablen hinsichtlich der Klassen sind durch angegebene p-values der Wilcoxon-Rangsummen-Tests angegeben.



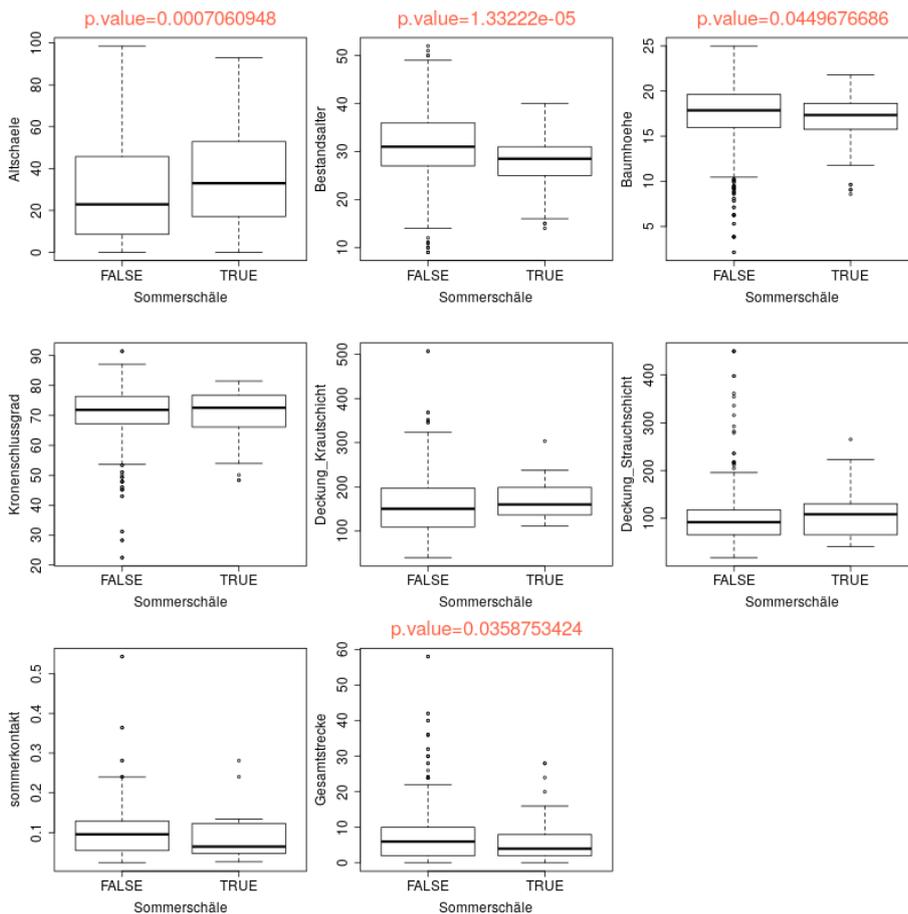
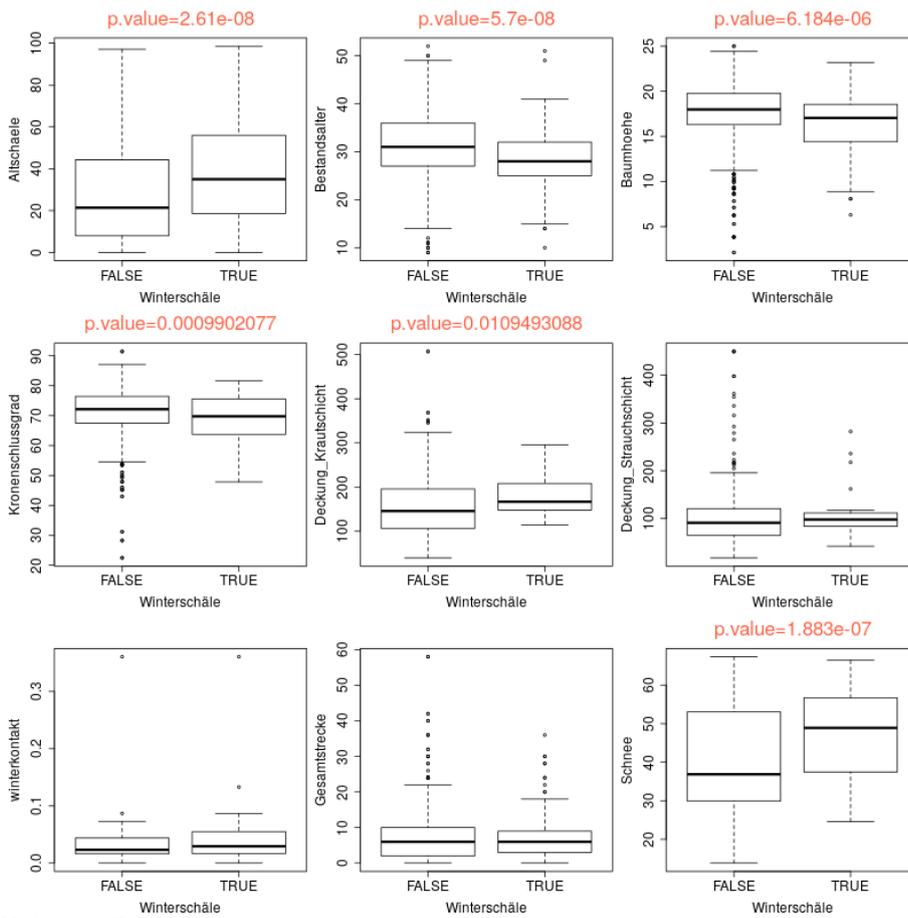
Sommerschäle, Neustadt.

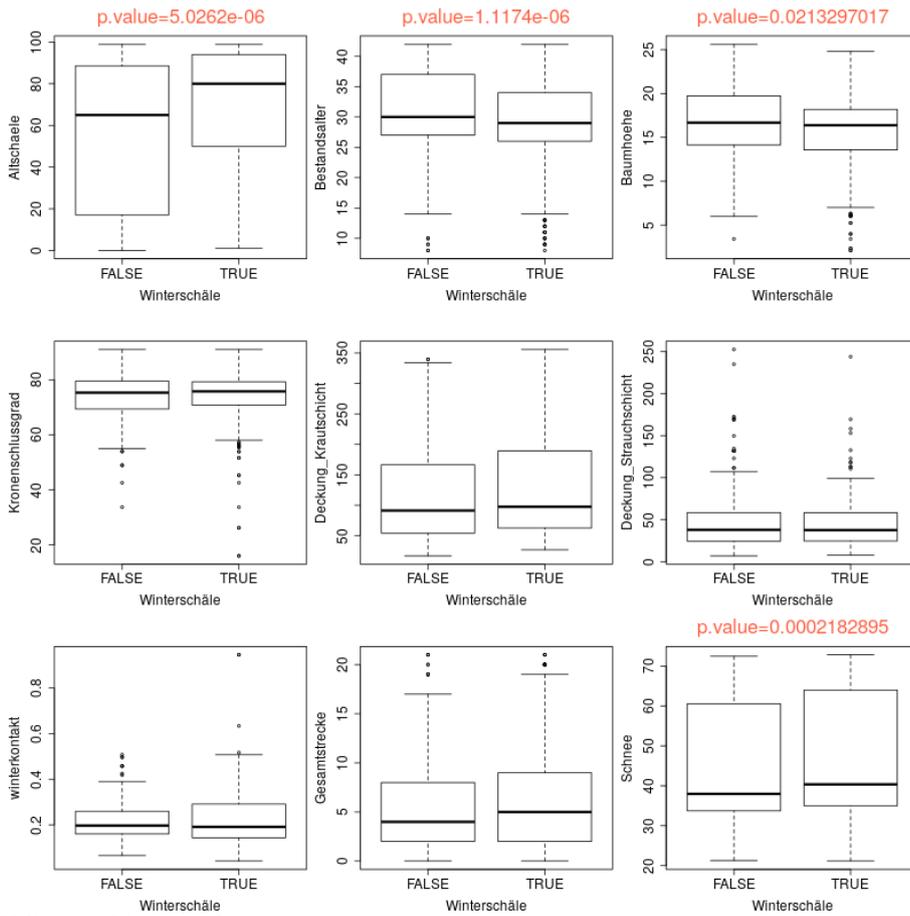


Winter, Bärenfels.

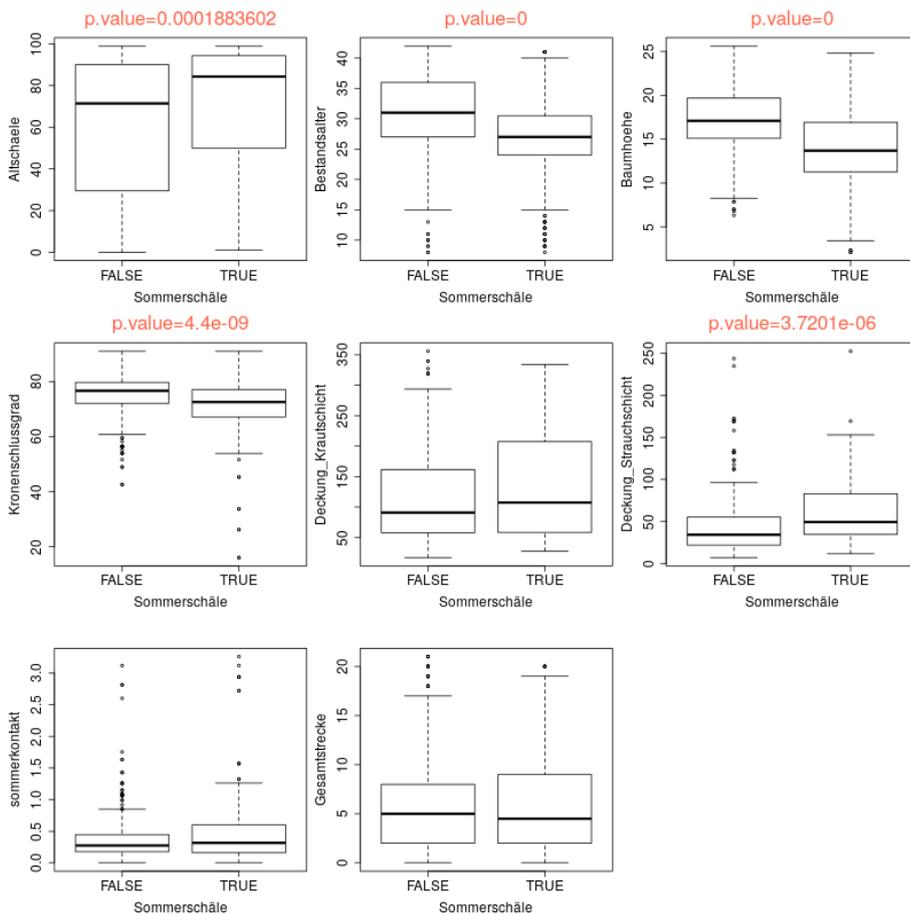


Sommer, Bärenfels.





Winter, Neudorf.



Sommer, Neudorf.

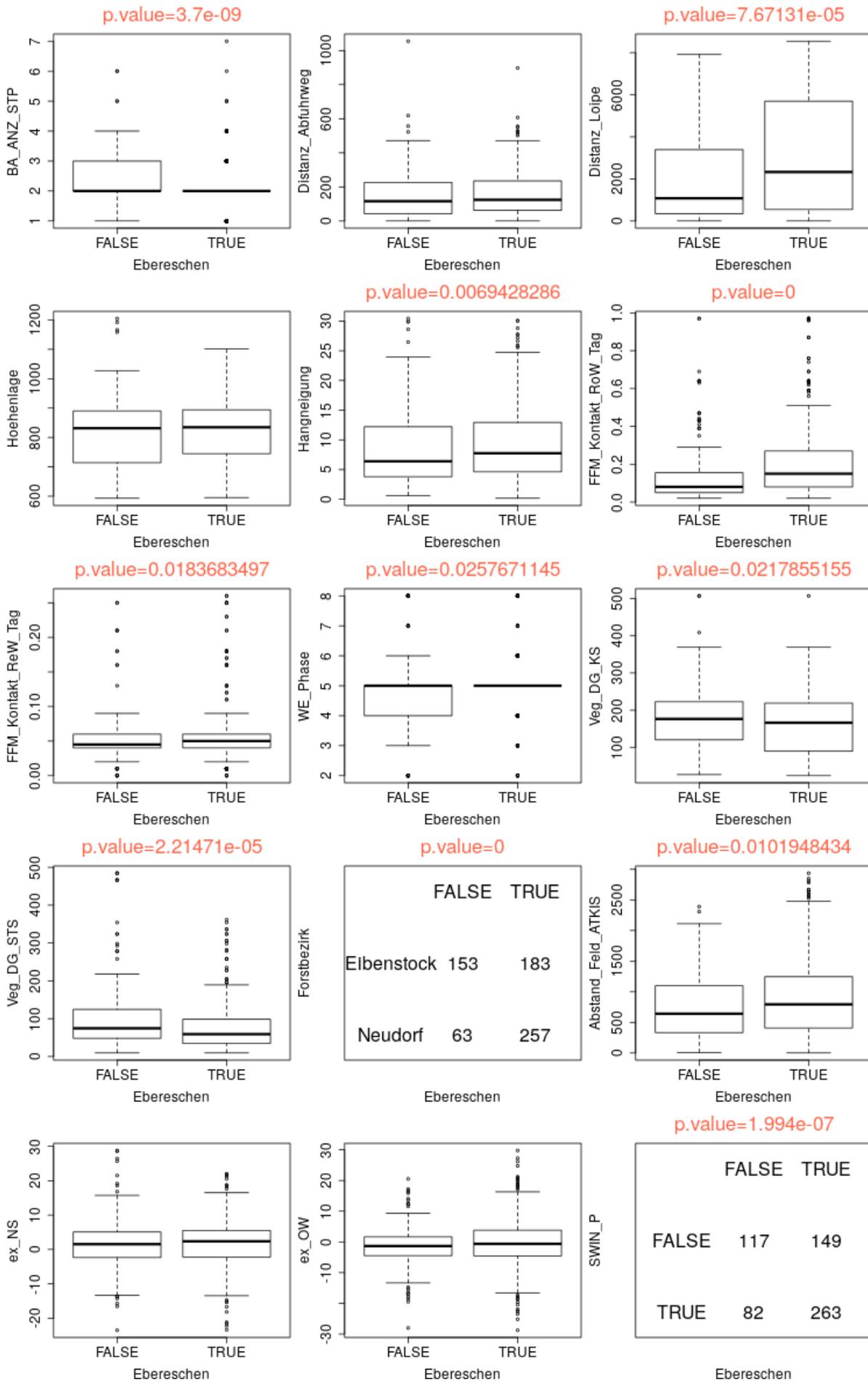
A5: Logistisches Regressionsmodell für den Forstbezirk Eibenstock, Sommer. Ein signifikanter Zusammenhang zur Schneehöhe im vorhergehenden Winter kann festgestellt werden.

Eibenstock	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	1.339833	0.651375	2.057	0.039693	*
Altschaele	0.019896	0.004332	4.593	4.37e-06	***
Bestandsalter	-0.101845	0.018113	-5.623	1.88e-08	***
Schnee	-0.036604	0.009412	-3.889	0.000101	***

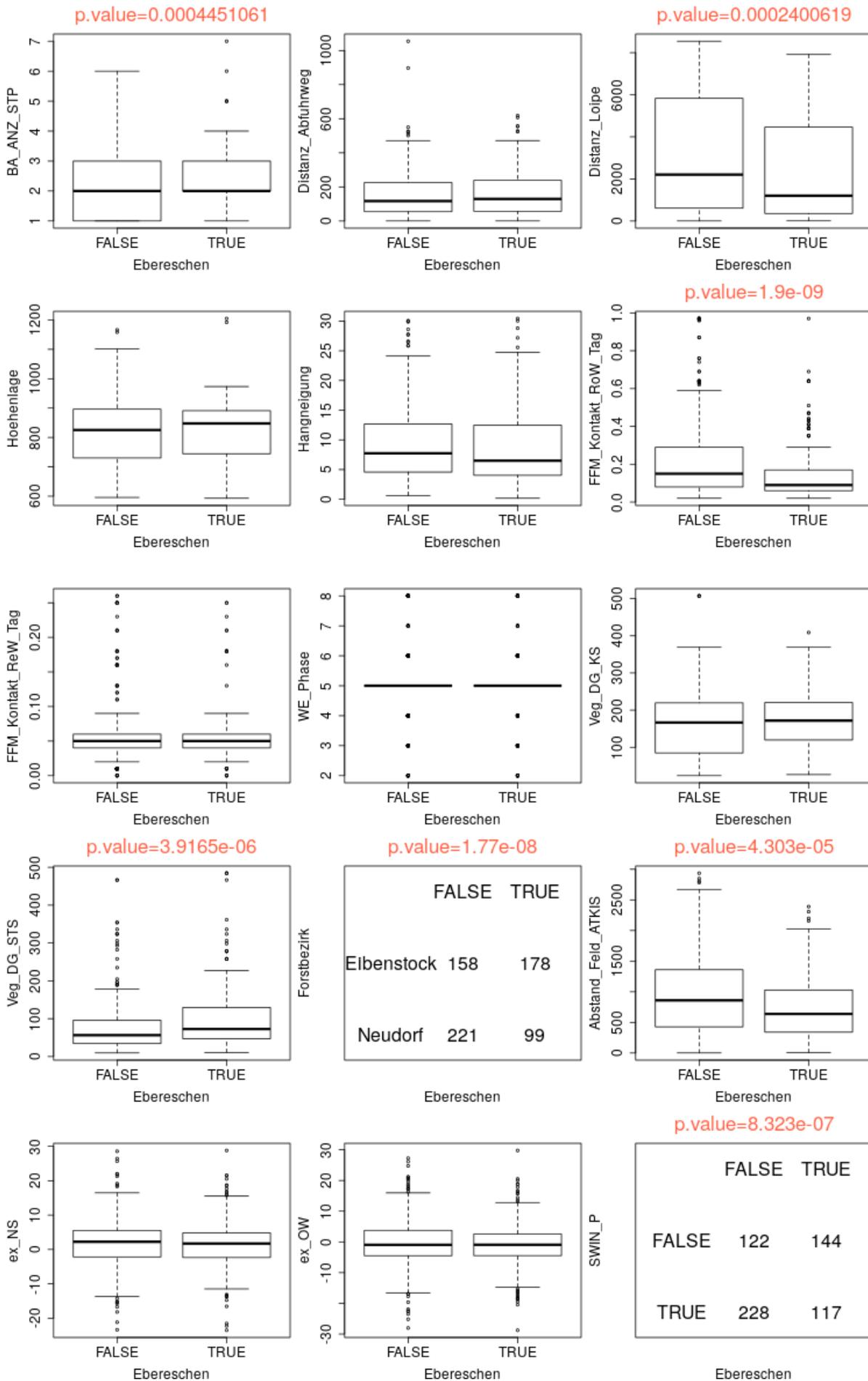
A6: Kontingenztabellen für die Vorhersage der logistischen Modelle für die Neuschäle.

		Winterschäle		Sommerschäle		
		Felddaten				
		FALSCH	WAHR	FALSCH	WAHR	
Eibenstock	Vorhersage	FALSCH	665	115	1085	93
		WAHR	5	5	0	0
Neudorf	Vorhersage	FALSCH	26	35	241	61
		WAHR	207	414	13	26
Neustadt	Vorhersage	FALSCH	601	38	-	-
		WAHR	0	0	-	-
Bärenfels	Vorhersage	FALSCH	293	141	200	25
		WAHR	100	169	1	7

A7a: Lebensraumvariablen in Abhängigkeit des Vorkommens von Ebereschen ≥ 20 cm bis < 50 cm.



A7b: Lebensraumvariablen in Abhängigkeit des Vorkommens von Ebereschen $\geq 50,0$ cm bis $< 130,0$ cm.



A7c: Lebensraumvariablen in Abhängigkeit des Vorkommens von Ebereschen $\geq 130,0$ cm.

