

Naturrauminventur des subalpinen Fichtenwaldes am Gerhardstein im Naturpark Weißbach bei Lofer

*Nature conservation inventory of the subalpine spruce forest
at the Gerhardstein in the nature park of Weißbach (Lofer)*

Masterarbeit

von

Nastasja Harnack B.A.

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplomingenieurin der Forstwirtschaft (Dipl.-Ing.)



Betreuer/Beurteiler: Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Hubert Hasenauer

Mitbetreuer: Dipl.-Ing. MMag. Benno Richard Eberhard

eingereicht am

Institut für Waldbau

Department für Wald- und Bodenwissenschaften

der Universität für Bodenkultur Wien

März 2020

Danksagung

Diese Masterarbeit wäre nicht zustande gekommen ohne die kompetente und empathische Betreuung von Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Hubert Hasenauer sowie die geduldige und ermutigende Beratung von Dipl.-Ing. MMag. Benno Richard Eberhard. Vielen, vielen Dank!

Ebenso ein großes Dankeschön an den Leiter des Naturparks Weißbach Dipl.-Ing. (FH) David Schuhwerk für das spannende Thema und das in mich gesetzte Vertrauen für dessen Bearbeitung sowie die große Geduld bis zur Fertigstellung dieser Arbeit. Dies gilt auch für den Revierleiter Christoph Dinger, der schon lang mit großer Spannung auf die Ergebnisse wartet.

Danke an die Bayerischen Staatsforsten, insbesondere an den Forstbetrieb St. Martin, und das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) für die Unterstützung bei der Beschaffung von Arbeitsmaterial und die Kooperation sowie an den Verband der Naturparke Österreich für die finanzielle Förderung meines Forschungsvorhabens.

Und natürlich ein besonderer Dank an alle, die mich während der Erhebungen im Gelände aktiv und passiv unterstützt und mich auch danach in der langen Schreibphase mit Worten oder Taten motiviert und bestärkt haben.

... and special thanks to Charlotte for your assistance in the translation of the summary and for keeping me full and happy throughout the whole process!



DANKE vom Gerhardstein!

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Masterarbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüferin/ keinem anderen Prüfer als Prüfungsleistung eingereicht.

Mir ist bekannt, dass Zuwiderhandeln geahndet wird („Verwendung unerlaubter Hilfsmittel“) und weitere rechtliche Schritte nach sich ziehen kann.

Diese Arbeit wurde neben der gedruckten Version auch auf CD-ROM zur Prüfung der o.g. Erklärung bei der zuständigen Prüferin/dem zuständigen Prüfer hinterlegt.

Wien, den 24.03.2020

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'N. Harnack', written over a horizontal line.

Nastasja Harnack B.A.

Zusammenfassung

Der Gerhardstein ist ein dicht bewaldetes Hochplateau (ca. 360 ha) im Naturpark Weißbach auf einer Seehöhe zwischen 1200 und 1600 m ü. A., welches von allen Seiten von steilen Hängen begrenzt ist. Auf dem Plateau befinden sich überwiegend subalpiner Fichtenwald im Alter von ca. 200 Jahren, der durch vergangene intensive Nutzungen im Zuge der Salinenholzbeschaffung anthropogen überprägt ist. Seit einigen Jahren verzichten die Bayerischen Saalforste, als Eigentümer des Waldgebietes, im gesamten Bereich freiwillig auf die Bewirtschaftung. Es findet nur noch Borkenkäfermanagement statt, wobei die Stämme entrindet werden und dann auf der Fläche verbleiben. Ziel der Diplomarbeit ist, den derzeitigen Waldzustand zu erfassen und die weitere Waldentwicklung zu beobachten. Die in dieser Arbeit erlangten Erkenntnisse liefern Informationen über die natürliche Sukzession von ehemals intensiv bewirtschafteten Fichtenwäldern. Mit einer systematischen Erhebung werden die Waldverhältnisse am Gerhardstein unter naturschutzfachlichen Gesichtspunkten analysiert und dargestellt. Neben klassischen waldbaulichen Parametern wie Oberhöhen, Durchmesservertelung, stockendes Volumen und Zuwachs wird der Totholzanteil und dessen Qualität bestimmt, Biotopbaummerkmale identifiziert und kleinräumige Sukzessionsphasen beurteilt. Die Erhebungen fanden im August und September 2018 statt. In einem zweiten Schritt wird auf Grundlage dieser Daten eine Simulation mit dem Einzelbaumwachstumsmodell MOSES durchgeführt, um die Entwicklungstendenz des Waldes einschätzen zu können. Die Simulation ergab aufgrund des größer werdenden Fichtenanteils eine Entwicklung in Richtung Terminal- bzw. Schlusswaldphase (Leibundgut 1978) auf dem gesamten Plateau, welche für ausgewählte Standortseinheiten noch feiner bestimmt werden konnte. Insgesamt ergab sich aus der Simulation eine Tendenz zu einer höheren Strukturvielfalt bei gleichzeitig geringerer Baumartendiversität, wie sie für einen subalpinen Fichtenwald typisch ist.

Schlagwörter: subalpin, Fichtenwald, Naturrauminventur, Naturpark, Einzelbaumwachstumsmodell;

Abstract

The Gerhardstein is a densely forested plateau (ca. 360 ha, 1200-1625 m above sea level) in the nature park Weißbach near Lofer. The plateau contains two abandoned pastures and is surrounded by cliffs on all sides. The structurally diverse plateau contains predominantly subalpine spruce forests aged at approximately 200 years, which are heavily influenced by past uses as wood source for salt works. Since a few years, the Bayerische Saalforste voluntarily forgoes usage of this forest undertaking only bark beetle management where the bark is removed from stems and left in the area. Aims of this study are the survey of the forest condition and following this the calculation and estimation of the development tendencies of the forest based on the Single-tree-growth-model MOSES. Alongside general questions regarding dominant heights, diameter distributions, growth and other characteristics for determining stability, vitality and quality, special focus is laid on conservation relevant aspects such as deadwood amount and quality, regeneration, influence of game and other valuable ecological structures (Biotope trees, special habitats) and the identification of succession phases. The data collection was completed in August and September 2018. In a second step the collected data regarding forest development and structural diversity of the formerly intensively used forest is simulated by MOSES for 25 years in the future. By doing so the data set in this study can be used as the basis for the condition, development tendency and structural diversity in a forest which underlies natural succession. The simulation revealed that due to the growing dominance of the Norway spruce there is a development towards a terminal- and end forest phase (Leibundgut 1978) on the entire plateau. For a few specific locations, this could be determined more detailed. In total, the simulation revealed a tendency to higher structural diversity with a low tree diversity as is typical in a spruce forest.

Key words: subalpine, Norway spruce forest, nature conservation inventory, nature park, single-tree-growth model

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Das Untersuchungsgebiet	5
2.1 Lage und standörtliche Grundlagen	5
2.2 Historische Landnutzung	8
3. Datenerhebung und -auswertung	11
3.1 Merkmale der Naturrauminventur 2018	11
3.2 Probeflächengröße und Kluppschwellen	12
3.3 Stichprobenpunkteraster und Aufnahmeparameter	12
3.4 Ausrüstung und Zeitraum	14
3.5 Erhebungsformulare	14
3.6 Explorative Datenanalyse	17
4. Beschreibung des Einzelbaumwachstumsmodells	20
4.1 Vorteile eines Einzelbaumwachstumsmodells	20
4.2 Funktionsweise von MOSES framework	20
4.3 Datenvorbereitung und Importfile für MOSES	23
5. Ergebnisse	25
5.1 Bestandesbeschreibung aus der Naturrauminventur 2018	25
5.1.1 Kleinräumige Standortsbeschreibung	25
5.1.2 Bestandesmerkmale	26
5.1.2.1 Baumartenzusammensetzung und Waldgesellschaft	26
5.1.2.2 Räumliche Struktur und Lichtverteilung	29
5.1.3 Stabilität	30
5.1.3.1 BHD-Verteilung	30
5.1.3.2 Höhenkurven und H/D-Wert	32
5.1.3.3 Oberhöhenbonitierung („Site Index“)	36
5.1.4 Vitalität	37
5.1.4.1 Kronenprozent	38
5.1.4.2 Schäden (inkl. Fege- und Schälschäden)	39
5.1.4.3 Verjüngung und Wildeinfluss	40
5.1.5 Mortalität	41
5.1.6 Struktur- und Artendiversität	44
5.1.7 Naturschutzrelevante Parameter	46
5.1.7.1 Biotopbaummerkmale	46

5.1.7.2 Kleinbiotope und Ameisenhaufen	47
5.1.8 Identifikation von Waldentwicklungsphasen	49
5.1.8.1 Wuchsklassen und Alter	50
5.1.8.2 Wuchsklasse und Zuwachs	54
5.1.8.3 Wuchsklasse und Totholzvorrat	55
5.1.8.4 Standortseinheiten am Gerhardstein und deren Entwicklungsphase	55
5.2 Entwicklungstendenz	56
5.2.1 Validierung des Modells	57
5.2.2 Waldentwicklung	59
5.2.3 Entwicklung der Bestandesstruktur	63
5.2.4 Verjüngung	69
5.2.5 Mortalität	70
6. Diskussion	72
6.1 Explorative Datenanalyse	72
6.2 Modell und Entwicklungstendenz	75
7. Naturschutzfachliche Bedeutung des Gerhardsteins und Ausblick	78
Literaturverzeichnis	80
Abbildungsverzeichnis	84
Tabellenverzeichnis	87
Anhang I: Aufnahmeformulare und -schlüssel	88
Anhang II: CD mit digitaler Version und Dokumentation	95

1. Einleitung

„Nichts berührt uns wie das Unberührte“ – so lautet der Kampagnenslogan des Dachverbandes *Nationalparks Austria*. Was heutzutage der Empfindung des gesellschaftlichen Mainstreams entspricht, ist in der österreichischen Forstwirtschaft bereits seit Beginn des 20. Jahrhunderts Teil einer Grundphilosophie. Zum Zwecke des Erhalts der Natur für die Nachwelt stellten Waldbesitzer*innen bestimmte Waldteile, insbesondere die Urwaldreste Rothwald und Neuwald, gezielt aus der Nutzung (Frank und Müller 2003). Im Fokus stand anfangs die waldbauliche Grundlagenlagenforschung, um natürliche Entwicklungsabläufe und ungestörte Vegetations- und Artenzusammensetzungen und deren Wechselwirkungen zu studieren. Der Großteil der heutigen Wälder Mitteleuropas ist durch menschliche Nutzung, wie Holz- und Streugewinnung, Weide und Wildhege in Bezug auf Baumartenzusammensetzung, Strukturvielfalt und Biodiversität seit Jahrhunderten stark beeinflusst und degradiert. Wesentliche Elemente eines Urwaldes, wie Ungleichaltrigkeit, Strukturierung und Totholz fehlen häufig oder sind teilweise stark eingeschränkt, was wiederum die Habitatqualität für viele Lebewesen, wie Insekten, Vögel und Säugetiere mindert (Zukrigl 1990). Diese aus der Nutzung gestellten Flächen sind heute allgemein als Naturwaldreservate bekannt. Neben anderen Schutzgebietstypen, wie Nationalparks, Naturschutzgebieten und dergleichen erfüllen sie eine wichtige Naturschutzfunktion, welche heutzutage einen ebenso hohen Stellenwert besitzt wie deren wissenschaftliche Bedeutung für den Waldbau (Frank 2009). 1995 wurde schließlich anlässlich der Helsinki Resolution der Ministerkonferenz zum Schutz des Waldes und des Bergwaldprotokolls der Alpenkonvention das Naturwaldreservate-Programm institutionalisiert, was die Bedeutung des ungestörten Waldes für die Gesellschaft weiter hervorhebt (Frank und Müller 2003). Übergeordnetes Ziel dieses Programms ist der Aufbau eines repräsentativen Netzwerkes solcher Waldschutzgebieten, in dem die Waldgesellschaften Österreichs aus allen Wuchsgebieten (nach Kilian et al. 1994) vertreten sind und der Forschung, Lehre und Bildung im Ökosystem Wald dienen. Inzwischen existieren bereits 192 Naturwaldreservate mit einer Gesamtfläche von rund 8.355 ha (Stand: Mai 2019). Das Naturwaldreservate-Netzwerk wird seither laufend erweitert und aktuell sogar im österreichischen Regierungsprogramm 2020-2024 gesondert erwähnt und dessen Ausbau weiterhin forciert (Bundesregierung 2020). Ein konkretes Beispiel für eine solche Erweiterungsfläche ist die Einrichtung des Naturwaldreservates Gerhardstein im Salzburger Pinzgau an der Grenze zu Deutschland.

Der Gerhardstein ist ein dicht bewaldetes Hochplateau (360 ha) im Naturpark Weißbach bei Lofer mit zwei aufgelassenen Almflächen, welches von allen Seiten von steilen Hängen umgeben ist. Auf dem strukturreichen Plateau befindet sich ein subalpiner Fichtenwald zwischen 1200 – 1600 m ü. A., der als ehemaliger Sudwald durch vergangene Nutzungen stark beeinflusst wurde. Seit etwa 10 Jahren verzichtet der Waldeigentümer, die Bayerischen Saalforste, in diesem Bereich freiwillig auf eine Nutzung. Einzig eine Schadholzaufarbeitung in Form von Borkenkäfermanagement findet noch statt, wobei die Stämme entrindet werden und dann auf der Fläche verbleiben. Seither prägen nunmehr Störungen die nun weitgehend vom Menschen unbeeinflusste Bestandesentwicklung am Gerhardstein, wie zum Beispiel ein großes Windwurfereignis im Jahr 2007. Von Seiten des Eigentümers und des Naturparks besteht nun ein hohes Interesse an aktuellen Erkenntnissen zu Bestandesmerkmalen und -struktur sowie die zugrundeliegenden Sukzessionsdynamiken und den Auswirkungen der anthropogenen Überprägungen auf dem abgeschlossenen Plateau. Zusätzlich steht die Aufnahme in das österreichische Naturwaldreservateprogramm im Raum, welches als Aufnahmekriterien unter anderem die Naturnähe der Vegetation und die Strukturvielfalt definiert (Frank 2009). Vor diesem Hintergrund ergibt sich die Notwendigkeit einer aktuellen und umfassenden Naturrauminventur des Gerhardsteins mit folgender Frage und untergeordneten Zielen:

1. Wie sehen die derzeitigen Waldverhältnisse am Gerhardstein unter naturschutzfachlichen Gesichtspunkten aus?
 - a. Oberhöhen, Durchmesservertelung und weitere Parameter zur Einschätzung der derzeitigen Stabilität, Vitalität und Mortalität des Bestandes
 - b. Quantifizierung des Totholzvorrates und Bestimmung dessen Qualität
 - c. Identifikation naturschutzrelevanter Strukturen (Biotopbäume, Sonderstandorte) und Determinierung der Strukturvielfalt
 - d. Verjüngungsaufnahme und Erhebung des derzeitigen Wildeinflusses

Naturrauminventuren sind speziell in Schutzgebieten ein wichtiges Monitoring-Instrument, das Veränderungen der Natur messbar dokumentiert. Im Unterschied zu reinen Forstinventuren sind sie allumfassender und berücksichtigen auch naturschutzrelevante Parameter, die zum Teil nicht im direkten Zusammenhang mit dem Bestand stehen, um so ein ganzheitliches Bild des Ökosystems zu erhalten (z.B. Kleinbiotope und Sonderstandorte oder wildökologische Parameter). Dazu wird ein Raster aus permanenten Stichprobenpunkten erstellt und eine Ersterhebung durchgeführt. Die Merkmale der Inventur sind an die Waldinventur des

naheliegenden Nationalparks Berchtesgaden angelehnt (Konnert 2000) und sind damit nicht kohärent mit der Methodik des Naturwaldreservateprogramms.

Der Gerhardstein wurde neben der betriebseigenen Forsteinrichtung (zuletzt im Jahr 2012) im Rahmen einer Diplomarbeit an der TU München zum Thema verschiedener Nutzungsvarianten im Gebirgswald wissenschaftlich bearbeitet (Ederer 2006). Die damaligen ertragskundlichen Ergebnisse stellen im Hinblick auf die Entwicklung nach der aus der Nutzung Stellung gute Vergleichswerte zu denen aus dieser Inventur dar. Zusätzlich wurde im Sommer 2019 eine Erhebung des Bundesamtes für Wald und Naturgefahren im Hinblick auf die Aufnahme in das Naturwaldreservateprogramm durchgeführt. Hier steht eine etwaige Veröffentlichung noch aus.

Im zweiten Schritt werden die Entwicklungsphasen des Waldes nach Leibundgut (1978) am Gerhardstein identifiziert. Diese sind von der Dynamik europäischer Urwälder abgeleitet und stellen damit idealtypische Sukzessionsstadien eines natürlichen Waldes dar. Sie werden durch ein Zusammenspiel verschiedener standorts- und bestandesspezifischer Faktoren, wie beispielsweise Exposition und Konkurrenzsituation, beeinflusst. Die Waldentwicklung kann mit Hilfe entsprechender Inventuren aus der Vergangenheit und einem „War/Ist“-Vergleich nachvollziehbar gemacht werden. Da es sich hier jedoch um die Ersteinrichtung eines solchen Stichprobenrasters handelt, kann auf keine derartigen Daten zurückgegriffen werden. Deshalb wird auf der Basis der Ergebnisse der durchgeführten Felderhebungen eine Simulation des Bestandes über die nächsten 25 Jahre mit dem statistischen Einzelbaumwachstumsmodell MOSES (MOdelling Stand rESponse) durchgeführt. So wird folgende Frage beantwortet:

2. Welche Sukzessionsphasen können am Gerhardstein identifiziert werden?
 - a. Veränderung der Baumartenzusammensetzung in der herrschenden Schicht und in der Verjüngung
 - b. Veränderung der Diversitäts- und Strukturparameter
 - c. Veränderung des Totholzvorrates und dessen Anteil am Lebendvorrat

Abschließend wird die Fläche hinsichtlich dessen naturschutzfachlicher Bedeutung beurteilt. Mit dieser Arbeit wird eine Datengrundlage zum aktuellen Zustand des Bestandes, der Waldentwicklung und zur Strukturvielfalt in einem inzwischen weitgehend naturbelassenen Wald geschaffen. Das Gebiet Gerhardstein eignet sich dabei besonders als Vergleichsfläche für die mögliche Entwicklung von subalpinen Fichtenbeständen unter vergleichbaren Bedingungen, da das Gebiet von umliegenden Flächen geomorphologisch klar abgegrenzt ist und die natürliche Sukzession daher gut beobachtbar ist. Somit können bestandesspezifische und naturschutzfachliche Besonderheiten identifiziert und ausgewertet werden. Die hier

erlangten Erkenntnisse liefern Informationen über die Weiterentwicklung von anthropogen beeinflussten fichtendominierten Beständen hin zu naturnahen Bergmischwäldern. Speziell für den Naturpark Weißbach und die Bayerischen Saalforsten ist die Arbeit auf Grund der erwarteten naturschutzrelevanten Erkenntnisse besonders im Hinblick auf die Eingliederung des Bestandes am Gerhardstein in das österreichische Naturwaldreservateprogramm von Interesse.

2. Das Untersuchungsgebiet

2.1 Lage und standörtliche Grundlagen

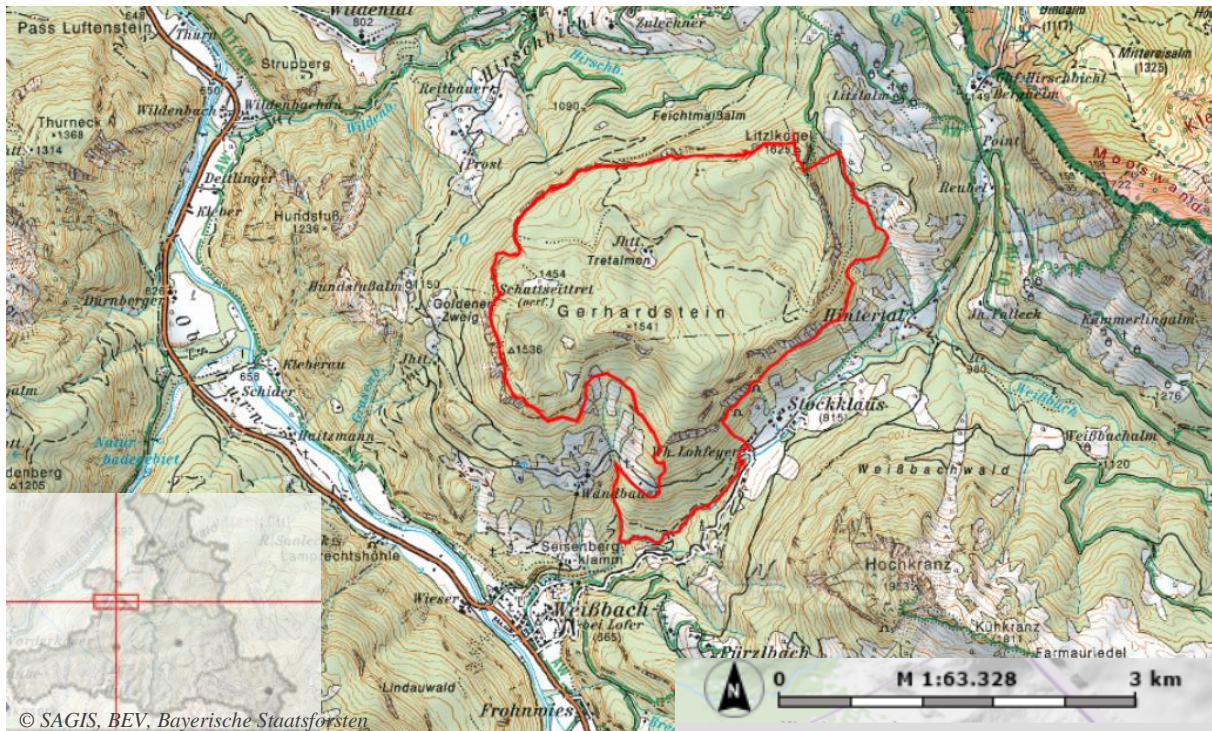


Abbildung 1: Lage des Gerhardsteinplateaus im Salzburger Pinzgau (© SAGIS, BEV und Bayerische Staatsforsten)

Das bewaldete Hochplateau des Gerhardsteins befindet sich im oberen Saalachtal im Pinzgau ($47^{\circ}32'25.6''\text{N } 12^{\circ}45'49.0''\text{E}$) auf einer Seehöhe zwischen 1200 m und 1625 m ü. A. (höchste Erhebung ist der Litzlkogel im Nordosten). Mit einer Gesamtgröße von ca. 360 ha ist er im Besitz der Bayerischen Saalforste und ist Teil des Naturparks Weißbach bei Lofer. In Abbildung 1 ist ein Kartenausschnitt des Plateaus inklusive Höhenlinien dargestellt. Es befindet sich in tiefsubalpiner Lage im Wuchsgebiet 4.1 (Nördliche Randalpen – Westteil). Es herrscht ein kühlhumides Randalpenklima vor, das durch Staulagen geprägt ist. Die Niederschlagssumme bewegt sich zwischen 1300 bis über 2200 mm mit einem Niederschlagsmaximum im Sommer. Die potenziell natürliche Waldgesellschaft ist als tiefsubalpiner Fichtenwald mit Karbonat-Alpendost-Fichtenwald (*Adenostylo glabrae-Piceetum*) über skelettreichen Karbonatböden, Hochstauden-Fichtenwald (*Adenostylo alliariae-Abietetum*) auf tiefergründig verwitternden, basenreichen Substraten oder seltener als Alpenlattich-Fichtenwald (*Larici-Piceetum*) auf bodensaurer Standorten (z.B. Tangelhumus) definiert (Kilian et al. 1994).



Abbildung 1.1: Blick vom Litzlkogl nach Südwesten auf das Plateau vom Gerhardtstein

Das Plateau ist von allen Seiten von steilen Felshängen umgeben und durch zahlreiche kleinräumige Karststrukturen geprägt. Es führt lediglich ein angelegter Steig, der Salinenweg, von Osten nach Norden zentral am tiefsten Punkt des Plateaus durch das Gebiet. Zusätzlich existieren zahlreiche Pirschsteige zu den einzelnen Jagdeinrichtungen. Auf dem Plateau befinden sich zwei aufgelassene Almen (Schattseittret und Tretalmen) sowie eine größere Jagdhütte im Zentrum des Gebiets (vgl. Abbildung 1). Seit etwa 10 Jahren verzichten die Bayerischen Saalforste in diesem Bereich freiwillig auf eine Nutzung; einzig Borkenkäfermanagement wird durchgeführt, wobei die Stämme entrindet werden und dann auf der Fläche verbleiben. Wildbestandsregulierung findet statt. Angrenzend befindet sich im Nordosten der Nationalpark Berchtesgaden.



Abbildung 1.2: Eindrücke vom Gerhardstein (links: Zustieg über Bocksteig im Osten, rechts: typische Karststrukturen auf dem Plateau, unten: Spuren des Borkenkäfermanagements)

Das Untersuchungsgebiet ist etwa 50 ha kleiner als das gesamte Plateau, da eine Fläche im südlichen Teil sowie die nicht begehbaren Steilwände ausgeschlossen wurde. Dies wird damit begründet, dass sich der südliche Bestand in Struktur und Baumartenzusammensetzung stark vom Bestand auf dem Plateau selbst unterscheidet. In Tabelle 1 sind die Eckdaten des Untersuchungsgebiet zusammengestellt.

Tabelle 1: Eckdaten zum Untersuchungsgebiet am Gerhardstein

Größe des Untersuchungsgebietes	310 ha
Seehöhe der Stichprobenpunkte	1222 m – 1557 m
Relief	Kleinstrukturierte Karrenlandschaft
Hangneigung an den Stichprobenpunkten	0 – 85 %
Boden	Grundgestein: Kalk Bodentyp: Rendzina Auflage: Tangelhumus

2.2 Historische Landnutzung

Nutzungen prägen die Entwicklung eines Waldes. Erst wenn die Nutzungsgeschichte eines Bestandes bekannt ist, kann die derzeitige Bestandessituation verstanden und beurteilt werden. Der Wald am Gerhardstein als Teil der Saalforste blickt als ehemaliger Sudwald der Saline Reichenhall und der stellenweisen Nutzung als Hutewald auf eine jahrhundertlange und sehr intensive Nutzung zurück.

Die „Saalforste“ sind Eigentum des Freistaates Bayern und werden heute durch die Bayerischen Staatsforsten bewirtschaftet. Mit etwa 18.500 ha umfassen sie etwa zwei Drittel der sogenannten Sudwälder, die für den Betrieb der Saline Reichenhall gewidmet waren (Koller 2013). Zu Hoch-Zeiten im ausgehenden 18. Jahrhundert wurden dort jährlich insgesamt etwa 213.000 fm Brennholz zum Salzsieden aus den Sudwäldern gebraucht (von Bülow 1962). Dieses wurde über Laitwege zu den triftbaren Haupt- und Nebenbächen transportiert. Die Saline und dessen hoher Stellenwert in der damaligen Gesellschaft hatten zwei wichtige Folgen für die Sudwälder. Zum einen führte die Notwendigkeit der andauernden Versorgung der Pfannhäuser mit Brennholz zu einer für damalige Zeiten beispielhaften nachhaltigen Nutzung

des Waldes.¹ Zum anderen wurde Nadelholz (insbesondere Fichte) im Zuge der Verbesserung der Sudpfannen und der Forderung nach Holzeinsparungen als Brennholz favorisiert. Die Buche wurde sogar als schädlich für die Pfannen angesehen. Zudem ist die Buche aufgrund der hohen Rohdichte schwerer triftbar als Nadelholz. Insgesamt verschob sich deshalb die ursprüngliche Baumartenverteilung in den Sudwäldern von 50% Fichte, 35% Buche und 15% Tanne bis heute zu Gunsten des Fichtenanteils auf teilweise 90% (Koller 2013). Zusätzlich begünstigten die damals gängige Holzerntemethode des Kahlschlags und der jahrhundertlange Einfluss der Waldweide die Fichte gegenüber Tanne und Laubholzbaumarten. Nur langsam löste der Schmalschlag den Großkahlschlag ab Mitte des 18. Jahrhunderts ab. Dort wo keine Naturverjüngung aufkam, wurde ab Ende des 18. Jahrhunderts gesät (hauptsächlich Schneesaat), wobei in den Hochgebirgsrevieren des Sudwälder Reichenhall ausschließlich eigene Herkünfte Verwendung fanden. Dies führte zu einer autochthonen Fichte mit einer langen und schmalen Krone, die durch ihre Form die Gefahr von Schneebrüchen minimiert (Ederer 2006).

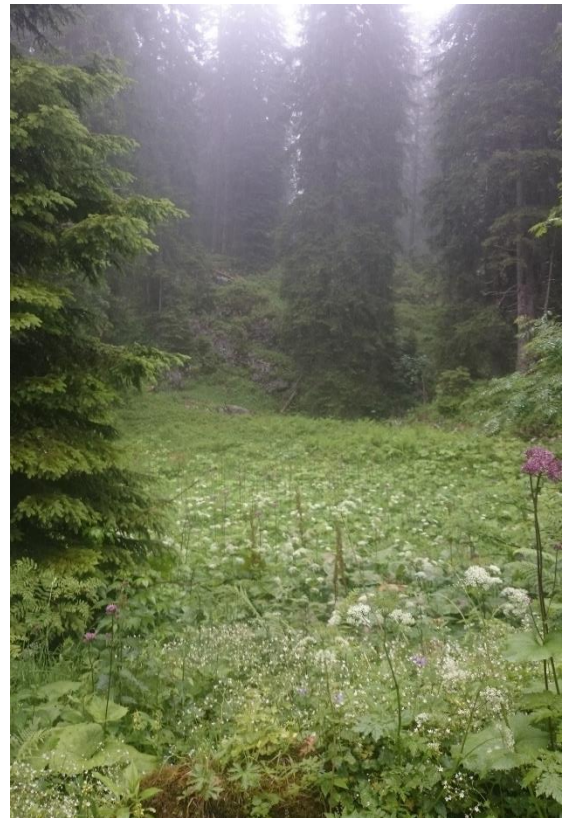


Abbildung 1.3: Spuren vergangener Nutzung (links: Bauwerk am Laitweg (Bocksteig), rechts: Teilfläche der Tretalmen hinter der Jagdhütte)

¹ „Gott hat die Wäldt für den Salzquell erschaffen auf dass sie ewig wie er continuieren möge. Also solle der Mensch es halten: Ehe der alte ausgehet, der junge bereits wieder zum verhakkhn hergewaxen ist“ (Kaspar van Schmid, kurfürstlich bayerischer Geheimer Ratskanzler (1661) (nach von Bülow 1962, S. 159).

Der Wald am Gerhardstein wurde durch diese Art der Bewirtschaftung stark beeinflusst. Etwa 70% der heute dort existierenden Bestände wurden zwischen 1794 bis 1814 begründet (Ederer 2006). Die Betriebsart mit Kahlschlag und Saumschlag sowie Schneesaaten schufen günstige Bedingungen für Fichte und auch Lärche, während die Tanne als Schattbaumart nicht konkurrenzfähig war. Das Laubholz, insbesondere Buche, wurden durch Aushieb und Waldweide fast gänzlich verdrängt. Laut einer Aufnahme von 1609 lag der Anteil der Buche in den Berchtesgadener Zinswäldern (wozu der Gerhardstein gehörte) vorher bei etwa 9% (Ederer 2006). Über die Zeit entstanden so autochthone, gleichaltrige Fichten-/Lärchenbestände hohen Alters mit einer differenzierten Durchmesser- und Höhenverteilung. Im frühen 20. Jahrhundert begannen die Bayerischen Saalforste mit einer Umstellung zu naturnaher Waldbewirtschaftung, welche sich an den natürlichen Waldgesellschaften und Standortfaktoren orientiert. Ziel gemäß der Waldbaugrundsätze für den bayerischen Staatswald sind stabile und leistungsfähige Mischwälder mit hohem Struktureichtum. So werden seit über 25 Jahren nurmehr einzelbaumorientierte Entnahmen und Durchforstungen durchgeführt und Verjüngung femelartig eingeleitet (Zanker 2013). Seit 2007 ist der Gerhardstein zudem Teil des neugegründeten Naturparks Weißbach bei Lofer und somit Teil einer geschützten Landschaft. Inzwischen wird nurmehr Borkenkäfermanagement in Form von Entrindung gefährdeter Bäume und Belassen des Holzes am Gerhardstein betrieben. So wirken nur noch natürliche Dynamiken, wie ein großes Windwurfereignis im Jahr 2007 (wurde noch aufgearbeitet), auf das Bestandesgefüge des Gerhardsteins.

3. Datenerhebung und -auswertung

3.1 Merkmale der Naturrauminventur 2018

In der Naturrauminventur soll der Zustand des Waldes erfasst werden, sodass eine Einschätzung der Sukzessionsphasen und eine Simulation der Entwicklungstendenzen durchgeführt werden kann. Dazu ist es notwendig eine „Permanente Stichprobeninventur“ einzurichten, damit die Entwicklung des Bestandes in Zukunft weiterhin verfolgt und die Simulation validiert bzw. angepasst werden kann. Wichtig dabei ist, dass die Merkmale dieser Inventur auch in Zukunft beibehalten werden.

Die Merkmale der Inventur 2018 sind die folgenden:

- festes Rasternetz mit einer Probefläche pro ~8 ha (kann bei ausreichend Kapazitäten natürlich beliebig verfeinert werden) im Gauss-Krüger-Koordinatensystem;
- drei konzentrische Probekreise mit 500m² (r = 12,62 m) für die Baumaufnahme, 50 m² (r = 3,99 m) für die BHD-Klassen und 25 m² (r = 2,82 m) für die Verjüngungsaufnahme;
- Einmessen der Bäume im 500 m²-Kreis mit Polarkoordinaten und Horizontalabstand;
- Vermarkung der Probekreismitelpunkte mit neongelben Fiberglasstäben (optimalerweise mit Ringmagneten, dies wurde vom Eigentümer jedoch nicht zugelassen), zur leichteren Wiederauffindung wurde an jedem Punkt mit 10 m Horizontalabstand ein Foto Richtung Norden (mit einer Markierung am nächstgelegenen Baum) aufgenommen sowie eine digitale Skizze des WZP-Plots mit Hilfe der BHD und Polarkoordinaten erstellt;
- Altersbestimmung des Zentralstammes (stärkster Stamm im 60%-Perzentil) mittels Altersbohrung und Jahrringzählung sowie Ermittlung des 5- und 10-jährigen Zuwachses;
- Messen der Höhe von Baum und Kronenansatz des Zentralstammes und 2-3 weiterer Bäume, sodass jede Baumart mit mindestens einer Höhe in der jeweiligen Schicht vertreten ist.
- Vollaufnahme des Totholzes > 15 cm BHD im 500 m²-Probekreis und Einmessen in Polarkoordinaten und Horizontalabstand.

3.2 Probeflächengröße und Kluppschwellen

In den verschiedenen konzentrischen Kreisen werden die Bäume in Abhängigkeit ihres BHD auf unterschiedlich großen Flächen erfasst. In Tabelle 2 ist eine Übersicht über die Aufnahme in den Probekreisen der Inventur dargestellt.

Tabelle 2: Einteilung der Probekreise in Baumschicht und Parameter

Probekreis	BHD [cm] (Kluppschwelle)	Maximale Höhe [m]	Kreisgröße [m ²]	Radius [m]	Zugeordnete Schicht
1	-	1,29	25	2,82	Verjüngung
	<4				
2	4-6	-	50	3,99	Unterschicht
	7-9				
3	≥ 10	-	500	12,62	Mittel- und Oberschicht
4	> 15	-	500	12,62	Totholz

3.3 Stichprobenpunkteraster und Aufnahmeparameter

Das regelmäßige Stichprobenpunkte-Raster wurde ursprünglich als 200x200 m-Raster mit insgesamt 92 Punkten angelegt. Diese Anzahl war jedoch durch einen unverhältnismäßig hohen Arbeitsaufwand im Rahmen der Diplomarbeit nicht machbar. Daher wurde nur jeder zweite Punkt aufgenommen, sodass ein versetztes Punkteraster mit insgesamt 38 Punkten und einer Seitenlänge von knapp 283x283 m erhoben wurde (vgl. Abbildung 2). Von diesen Punkten waren 37 aufnehmbar (Punkt 32 war aufgrund einer Felswand unbegehrbar).

Durch die unmittelbare Nähe zum Nationalpark Berchtesgaden, wo seit 1983/84 eine permanente Waldinventur durchgeführt wird, bietet sich eine Anlehnung des Aufnahmeformulars an dieses an (Konnert 2000). So wird im Bedarfsfall eine Vergleichbarkeit beider Aufnahmen gewährleistet. Auf den insgesamt 5 Aufnahmeformularen wird neben der Orts- und Flächenbeschreibung im Allgemeinen eine taxative Bestandesbeschreibung inklusive naturschutzrelevanter Parameter (u.a. Kleinstrukturen, Anzahl der Ameisenhaufen sowie Deckungsgrade von Weidezeigern und ausgewählten Straucharten) vorgenommen. Des Weiteren wird eine Verjüngungsaufnahme (alle Bäume unter 1,3 m in zwei Höhenklassen (größer und kleiner als 50 cm) und der Wildeinflusses), eine Aufnahme aller Bäume größer als

1,3 m mit weniger als 10 cm BHD (in drei BHD-Klassen mit kleiner als 4 cm, 4-6 cm und 7-9 cm inklusiver der Höhen) und eine Baumaufnahme für alle Bäume ab 10 cm BHD inklusive Einmessen (Polarkoordinaten und Horizontaldistanz), Schadensart und -stufe (Skala von 1 (gering) – 3 (stark)) und Biotopbaummerkmale sowie Baumart „Nächster Nachbar“ vorgenommen. Abschließend wird zudem auch ein Aufnahmeformular für die Totholzaufnahme (inklusive Einmessen (Polarkoordinaten und Horizontaldistanz), Lage des Wurzeltellers, Lage des Totholz, Ausscheidungsgrund und Zerfallsstadium) aufgenommen (vgl. Anhang I).

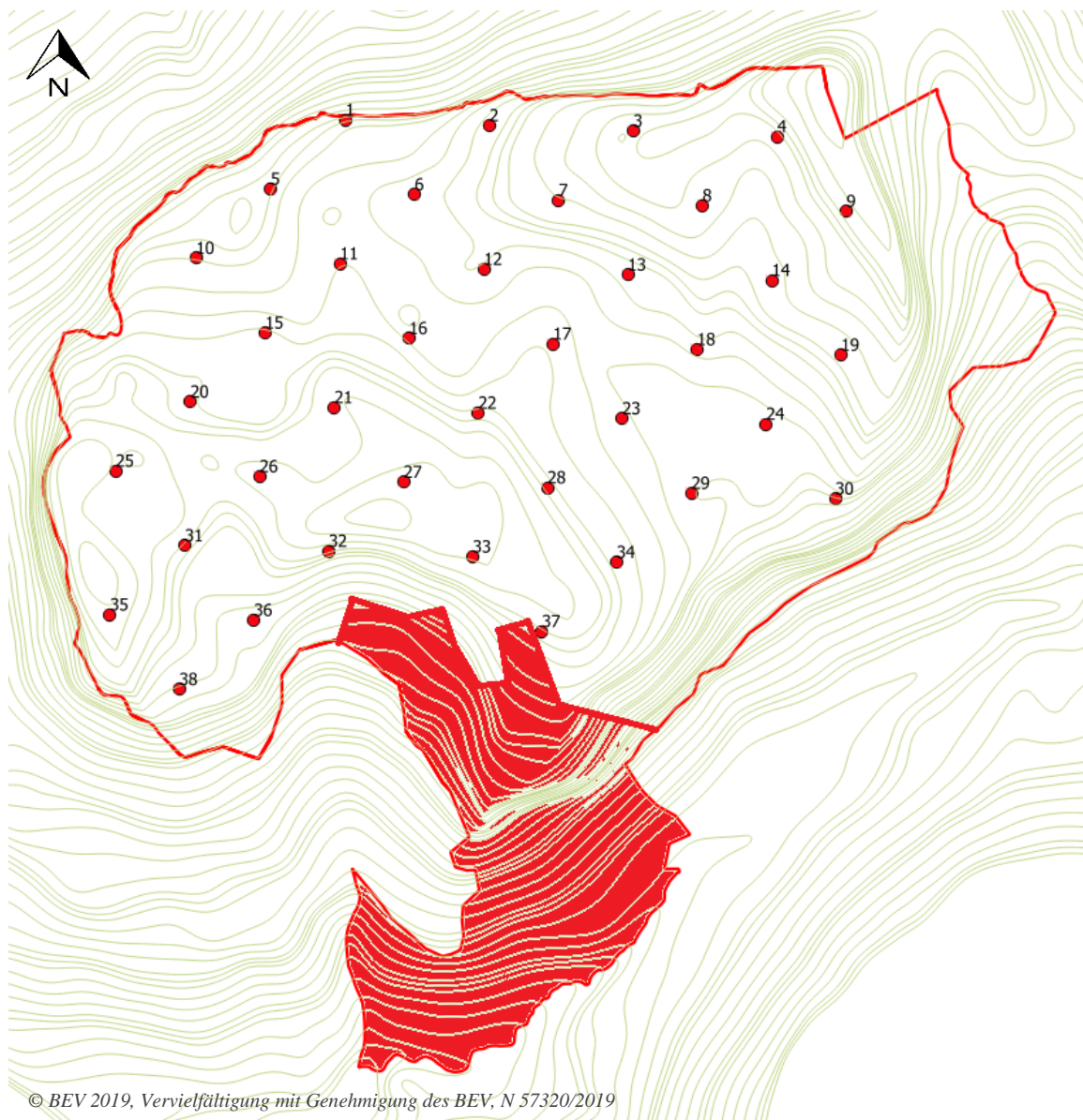


Abbildung 2: Stichprobenraster und Abgrenzung des Untersuchungsgebiets. Der rot gefärbte südliche Teil sowie die Steilhänge im Osten wurden ausgelassen.

3.4 Ausrüstung und Zeitraum

Ein Aufnahmeteam sollte optimalerweise aus 2-3 Personen bestehen. Folgende Ausrüstung wird benötigt:

- | | |
|----------------------|--|
| - 30 m-Maßband (2x) | - Kompass mit 360°-Teilung (2x) |
| - Vertex (2x) | - Kluppe (80 cm) |
| - Zuwachsbohrer (2x) | - Garmin-GPS-Gerät |
| - Suunto | - Schreibunterlage |
| - Pi-Band | - Fiberglasstäbe (38x) (alternativ:
Ringmagneten) |

Die Erhebungen fanden im August und September 2018 statt.

3.5 Erhebungsformulare

Bevor mit den Erhebungen begonnen wurde, fanden zwei Probebegehungen mit dem Naturparkleiter David Schuhwerk und dem Revierförster Christoph Dinger statt, um die okulare Einschätzung der Flächenanteile und Deckungsgrade zu „kalibrieren“ und einzelne Parameter ggf. anzupassen oder zu spezifizieren.

Alle Erhebungsformulare und der Aufnahmeschlüssel sind in Anhang I zu finden.

Aufnahmeblatt 1

Neben allgemeinen Standortdaten wie Seehöhe, Exposition, Hangneigung und Felsbedeckung, wird Bodenfeuchte, -plastizität und -skelettanteil bestimmt. In Anlehnung an eine Taxation wird der Bestand im 500 m²-Kreis gutachterlich beschrieben. Dabei werden die einzelnen Baumarten in Altersklassen- und Baumartenanteile (jeweils in Zehntel) taxiert. Außerdem wird der Bestand in die forstlich gängigen Wuchsklassen, Schlussgrad (in Zehntel), die Stärkeklassenanteile (bis 24 cm - 25 bis 49 cm - über 50 cm), die horizontale Bestandesstruktur klassifiziert. Die vertikale Bestandesstruktur wird nach der Braun-Blanquet-Skala (Braun-Blanquet 1964) eingeordnet:

- r: Einzelexemplare
- +: vorhanden, aber <1% der Kreisfläche
- 1: 1-5% der Kreisfläche
- 2: 6-25% der Kreisfläche

- 3: 26-50% der Kreisfläche
- 4: 51-75% der Kreisfläche
- 5: >75% der Kreisfläche

Das vorherrschende Verjüngungsmilieu (bzw. Keimsubstrat) wird nur im 25 m²- Kreis angesprochen.

Zusätzlich wird auf diesem Aufnahmeblatt die Mehrheit der naturschutzrelevanten Zusatzparameter aufgenommen. Als Kleinstrukturen und Sonderstandorte werden jene Biotope klassifiziert, die eine besondere Bedeutung für die Biodiversität haben. Dazu zählen abiotische Naturgebilde (z.B. besondere Felsgebilde), biotische Naturgebilde (z.B. Baumriesen), Feuchtbiotop (z.B. sumpfige Wiesenflächen oder Suhlen), Flächen mit historischer Nutzungsform (z.B. aufgelassene Almen), Trockenbiotop, Fläche mit schützenswerten Pflanzen, Restflächen (z.B. selten gewordene, ehemals verbreitete Gesellschaften, die bewirtschaftungsbedingt dezimiert wurden), Flächen mit schützenswerten Tieren (z.B. Auerwildbiotop), Waldrand-/Heckenstrukturen und Sukzessionsfläche (z.B. nach Windwürfen). Außerdem werden ausgewählte Straucharten und Weidezeiger inklusive Deckungsgrad (nach der Braun-Blanquet-Skala) bestimmt. Die Auswahl wurde von der Waldinventur des Nationalparks Berchtesgaden übernommen mit dem Unterschied, dass die Grünerle als Strauchart gewertet wird (Konnert 2000, S. 20-21). Es werden folgende Belastungen an der Vegetation oder am Boden aufgenommen und in Zehntel des Flächenanteils bestimmt: Wege / Steige (Trittschäden in 3 Stufen: 1 – nur an Vegetation ersichtlich bis 3 - Tiefenerosion), Eutrophierung / Stickstoffeintrag, Schnee (Skala wie bei Trittschäden), Wasser (Skala wie bei Trittschäden), Bodenkriechen und Überschüttung. Außerdem wird die Anzahl der vorkommenden Ameisenhaufen erhoben.

Aufnahmeblatt 2-4

Die Anzahl der Bäume unter 1,3 m werden als Verjüngung im 25 m²-Probekreis in zwei Höhenklassen (< 50 cm und 50-1,29 m) aufgenommen. Zusätzlich werden die diesjährig verbissenen Pflanzen gezählt. Im 50 m²-Probekreis wird die Anzahl aller Bäume über 1,3 m mit < 10 cm BHD in drei verschiedenen BHD-Klassen inklusive aller Höhen erhoben. Für die Verjüngungsaufnahme und die Aufnahme der BHD-Klassen-Bäume wird außerdem ein Repräsentationsbaum (wenn möglich je Baumart und Höhen- bzw. Durchmesserklasse) gesondert aufgenommen, dessen Alter und 5- sowie 10-jähriger Zuwachs mittels Jahrringanalyse ermittelt wird. Dies ist für die Validierung der später durchgeführten Simulation wichtig. Außerdem werden hier auch die Höhe (im Verjüngungskreis) und der

Kronenansatz (bei den BHD-Klassen) gemessen sowie eine Schadensbeurteilung des Individuums durchgeführt.

Es werden folgende Schadensarten in einer Skala von 1 (gering) – 3 (hoch/vitalitätsmindernd) unterschieden: Schälschäden alt/neu, Steinschlag, Verbiss- und Fegeschäden, Schnee- und Windbruch/-wurf, Blitzschlag, Insektenschaden (Borkenkäfer), Säbelwuchs und Kronenschäden (Nadel- oder Blattverlust). Bei mehreren Schäden an einem Individuum werden nur die drei gravierendsten berücksichtigt.

Im Mittelpunkt des 500 m²-Probekreises wird der Transponder des Vertex mit einer Sonde fixiert. Zu allen Bäumen werden Horizontaldistanz in 1,3 m Höhe und der Azimut zum linken Stammrand (aus der Probekreismitte) gemessen. Der Durchmesser wird durch einmaliges Kluppen zum Probekreismittelpunkt in 1,3 m Höhe ermittelt. Bei Bäumen mit BHD > 80 cm wird der Durchmesser mittels Pi-Band erhoben. Bäume mit einem Zwiesel unter 1,3 m werden getrennt gemessen, bei Wucherungen auf 1,3 m Höhe wird der BHD ober- und unterhalb der Deformation gemittelt. An Hängen wird der BHD hangoberseits gemessen. Der BHD wird ganzzahlig abgerundet. Zusätzlich werden für alle einfallenden Bäume Schäden, wie oben beschrieben, beurteilt und folgende Biotopbaummerkmale aufgenommen: Horstbaum, Höhlenbaum (ab 5 cm), Pilzbefall, Verletzungen/Stammschäden, Moos-/Flechtenbewuchs (>25% der Stammdeckung), Schling-/Kletterpflanzenbewuchs (>25% der Stammdeckung), Totholz in der Krone (>25%), markante Wuchsform, fehlende Primärkrone, Wurzelteller und Wucherungen. Spezifizierungen (z.B. Wurzelhöhlen) werden unter Anmerkung festgehalten. Zur Bestimmung der Diversität wird außerdem die Baumart des nächsten Nachbarn (ohne Kluppschwelle und Distanz) notiert.

Nun wird der Zentralstamm der bestandesbildenden Baumart, in diesem Fall Fichte, bestimmt. Dieser ist definiert als stärkster Stamm im 60%-Perzentil. Dieser wird zwecks Alters- und Zuwachsbestimmung (5- und 10-jährig) in BHD-Höhe zum Probekreis-Mittelpunkt gebohrt. Zusätzlich wird von diesem sowie von 2-3 weiteren Bäumen jeder vorkommenden Baumart die Höhe sowie der Kronenansatz und -länge mit dem Vertex gemessen.

Aufnahmeblatt 5

Das Totholz wird als Vollaufnahme im 500 m²-Kreis aufgenommen. Dabei gilt eine Kluppschwelle von 15 cm am starken Ende bzw. im Mittendurchmesser. Es wird zwischen liegendem, stehendem und hängendem Totholz sowie Stöcken (unter 1,3 m Höhe) unterschieden. Zusätzlich werden Baumart, möglicher Ausscheidungsgrund und Zersetzungsgrad (auf einer Skala von 0 (im Absterben begriffen) bis 5 (überwiegend zersetzt))

erhoben. Bei stehendem Totholz werden der BHD sowie die Höhe gemessen und die Polarkoordinaten aufgenommen. Bei liegendem Totholz werden Durchmesser und Polarkoordinaten von beiden Stammenden aufgenommen. Wenn das stärkere Stammende (erkennbar am Wurzelteller) außerhalb des Probekreis-Radius liegt, wird dies in der Spalte „Wurzelteller“ vermerkt.

3.6 Explorative Datenanalyse

Die Daten der Inventur werden mithilfe folgender Programme ausgewertet: *R-Studio*, *Microsoft Excel*, *QGIS 2.18.19 (LasPalmas)* und *MOSESbatch GUI* sowie *MOSES 3.0* des statistischen Einzelbaumwachstumsmodells MOSES (MOdelling Stand rESponse). Die Bohrkerne werden mit Hilfe des Programms *WinDENDRO 2014a* analysiert.

Je nach Fragestellung werden unterschiedliche Auswertungsebenen verwendet.

- Verwaltungsebene: Distrikt (gesamtes Untersuchungsgebiet), Abteilungen (Nord, Sack, Süd und West)
- Bauebene: Altersklassen (20 Jahre), BHD-Klassen (5 cm), Mischungsart
- Strukturebene: Exposition, Neigung, Wuchsklasse, Schlussgrad, Mischungsgrad

Kartendaten werden von den Bayerischen Staatsforsten und der BEV Wien zur Verfügung gestellt. Das Stichprobenraster wird mittels *QGIS Forst* (auf Basis von *QGIS 2.6*) erstellt. Die erhobenen Daten können so auf der Fläche dargestellt werden, um mögliche örtliche Zusammenhänge von Zuständen und Ergebnissen zu erkennen.

Die Dateneingabe erfolgt als Excel-Tabelle. Mit Hilfe von Pivot-Tabellen werden in Excel grundlegende Auswertungen, wie Höhen- und BHD-Klassenverteilungen vorgenommen.

Die Höhenkurve für die Hauptbaumarten Fichte und Lärche wird mit Pollanschütz (1974) (Formel 1) berechnet. Dabei werden die Neben- und Mischbaumarten, Weißtanne, Bergahorn und Zirbe, als Baumart Fichte in die Kalkulation einbezogen

$$h = e^{(a + \frac{b}{BHD})} + 1,3 \quad (1)$$

Die errechnete Höhenkurve wird anschließend mittels Residuenanalyse und Fehlerrechnung statistisch validiert. Auf der Höhenkurve basierend wird die Oberhöhe nach Weise (1880) berechnet. Diese ist definiert als die Mittelhöhe der 20 % stärksten Bäume. Dies erfolgt auf der Grundlage der Ertragstabellen für „Fichte Bayern“ (Sterba 1977) und „Lärche Schweiz“ (Sterba 1977). Dies sind die Grundlagen für die Bonitierung mit dem Site-Index (bzw.

Oberhöhenbonität) mit der Oberhöhenfunktion und Koeffizienten nach Mitscherlich/Richard (1919) (Formel 2), der für die spätere Simulation in MOSES essenziell ist.

$$OH_{Mitscherlich \& Richard} = a * (1 - e^{-b*Alter})^c \quad (2)$$

$$\text{mit } a = a_0 + a_1 * OH_{100} + a_2 * OH_{100}^2$$

$$b = b_0 + b_1 * OH_{100} + b_2 * OH_{100}^2$$

$$c = c_0 + c_1 * OH_{100} + c_2 * OH_{100}^2$$

Die fehlenden Kronenansätze, als Indikator für die Vitalität des Bestandes, werden mit der Formel von Kahn und Pretzsch (1997) (Formel 3) berechnet. Auch dieses Modell wird wie die Höhenkurve statistisch validiert.

$$KA = h * (1 - e^{(a_0 + a_1 * \frac{h}{BHD} + a_2 * BHD)}) \quad (3)$$

Im Zuge der Untersuchung der Struktur- und Artenvielfalt werden folgende Diversitätsindices berechnet:

- Gini-Index (Gini 1912) (Formel 4)

$$a_i = \frac{\frac{\sum \frac{g_i}{G} + \sum \frac{g_{i-1}}{G}}{2}}{\sum \frac{n_i}{N} - \sum \frac{n_{i-1}}{N}} \quad (4)$$

Er basiert auf der sogenannten Lorenzkurve (relative kulminierte Kreisfläche über der relativ kulminierten Stammzahl). Er entspricht der Fläche (a_i), die sich durch die Abweichung der Lorenz-Kurve von der 1:1-Linie (Gleichverteilungslinie) ergibt. Der resultierende Wert gilt als Maßzahl für Ungleichverteilung der Grundfläche der Individuen. Der Wertebereich liegt zwischen 0 und 1. 0 weist auf eine gleichmäßige Verteilung hin (Lorenzkurve liegt auf der 1:1-Kurve, größtmögliche Fläche unter der Lorenz-Kurve), 1 bedeutet die totale Ungleichverteilung.

- Shannon-Index (Shannon 1948) (Formel 5)

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i * \ln p_i \quad (5)$$

S Anzahl vorkommender Arten

p_i Artenanteile an der Population $p_i = \frac{n_i}{N}$

Er ist eine Kennzahl für die abstandsunabhängige Artendiversität, der auf der Wahrscheinlichkeitsrechnung basiert. Berücksichtigt wird sowohl die Arten- als auch die Individuenzahl pro Art. Damit quantifiziert er das Ausmaß der Verschiedenheit innerhalb einer Gruppe einer bestimmten Anzahl von Arten. Dieser Wert wird durch die Berechnung der *Evenness* standardisiert. Unter *Evenness* versteht man den tatsächlichen Index in Prozent des maximalen Index bzw. ein Maß der Ausgewogenheit. Die Werte liegen zwischen 0 (unregelmäßige Verteilung) und 1 (regelmäßige Verteilung). Diese standardisierte Diversität ergibt sich aus dem Quotienten der Diversität H der maximalen Diversität $H^{max} = \ln S$ multipliziert mit dem Faktor 100.

- Mingling-Durchmischung (Fuldner 1996) (Formel 6)

$$M = 1 - \frac{\text{Anzahl der Bäume mit nächsten Nachbarn der gleichen Baumart}}{\text{Anzahl aller Bäume}} \quad (6)$$

Diese beschreibt die vorhandene Baumartendurchmischung eines Bestandes. Sie wird berechnet aus dem Quotienten der Anzahl der Bäume mit nächstem Nachbarn der gleichen Baumart und der Anzahl aller Bäume. Er ist gleich 1, wenn alle Bäume einen nächsten Nachbarn einer anderen Baumart haben.

- Aggregationsindex nach Clark und Evans (1954) (Formel 7)

$$R = \frac{\text{mittlerer Abstand zum nächstem Nachbarn}}{\text{erwarteter mittlerer Abstand}} \quad (7)$$

Er ergibt sich aus dem Verhältnis von beobachtetem mittlerem Abstand zum nächsten Nachbarn auf einer Fläche und dem bei zufälliger Baumverteilung erwartetem mittleren Abstand. Es wurden nur Bäume ab 10 cm BHD berücksichtigt. Die Bestimmung des nächsten Nachbarn eines Baumes erfolgte rechnerisch auf Grundlage der erhobenen Baum-Koordinaten. Bei einem Wert = 1 ist die Verteilung zufällig, bei < 1,0 ist sie eher geklumpt und bei >1 ist sie eher regelmäßig. Der Maximalwert beträgt 2,16 (Dreiecksverband).

4. Beschreibung des Einzelbaumwachstumsmodells

4.1 Vorteile eines Einzelbaumwachstumsmodells

Die Abschätzung des zukünftigen Bestandeswachstums ist seit jeher ein wichtiger Teil nachhaltiger Forstwirtschaft. Schon im 19. Jahrhundert wurden dafür Modelle in Form von Ertragstafeln entwickelt, die das Wachstum eines Waldes über die Bonität (die Güte des Standorts) und Bestandesmittelwerte und flächenbezogenen Summen prognostizieren (z.B. Weise 1880). Diese klassischen Instrumente des Waldbaus finden bis heute Anwendung. Jedoch kommen sie mit der Zunahme ungleichaltriger Mischbestände durch veränderte Bewirtschaftungsformen oder Störungen und der damit einhergehenden Abkehr vom klassischen Altersklassenwald an ihre Grenzen (Hasenauer 1994). Ein Ergebnis dieses Paradigmenwechsels im Waldbau war die Erarbeitung von statistischen Einzelbaumwachstumssimulatoren, wie MOSES (MOdelling Stand rESponse), welches an der Universität für Bodenkultur Wien von Prof. Hubert Hasenauer (1994) entwickelt wurde. Das interaktive und visualisierte Programm besteht aus einer Sammlung von Funktionen und Teil-Modellen, die den Zuwachs (BHD, Höhe, Höhe des Kronenansatzes usw.), die Mortalität und die Verjüngung in einem Bestand mit Bezug auf die Standortsgüte und die Konkurrenzsituation von einzelnen Bäumen berechnet (Thurnher et al. 2017) (vgl. Abbildung 3). Durch den Fokus auf einzelne Bäume und der Aufsummierung der Veränderungen am Individuum ist die Entwicklungsprognose von verschiedenen Baumarten sowie von verschiedenen Altersklassen in einem Bestand möglich. Die Grundidee war, Bestandesreaktionen aufgrund unterschiedlicher waldbaulicher Managementszenarien zu modellieren (Hasenauer 1994).

4.2 Funktionsweise von MOSES framework

Grundsätzlich berechnet das Programm auf Grundlage der räumlichen Beziehungen der Bäume untereinander und der damit einhergehenden Konkurrenzsituation im Verhältnis zu deren eigentlichem Wachstumspotenzial am Standort auf Grundlage von Oberhöhenverläufen eine Entwicklungsprognose für den gesamten Bestand. Dabei folgt das Programm 5-jährigen Wachstumsprognosen. Pro Periode (5 Jahre) wird zunächst der Konkurrenzindex nach Freistellung berechnet, dann die individuellen Höhen- und Durchmesserzuwächse und die Veränderung der Kronenansatzhöhe. Zum Abschluss erfolgt eine Wahrscheinlichkeitsberechnung der Mortalität des Baumes (Hasenauer 1994). Im Folgenden werden die einzelnen Komponenten kurz beschrieben. Die entsprechenden zugrundeliegenden

Formeln der einzelnen Modelle und deren exakte Herleitung sind in den angegebenen Quellen zu finden.

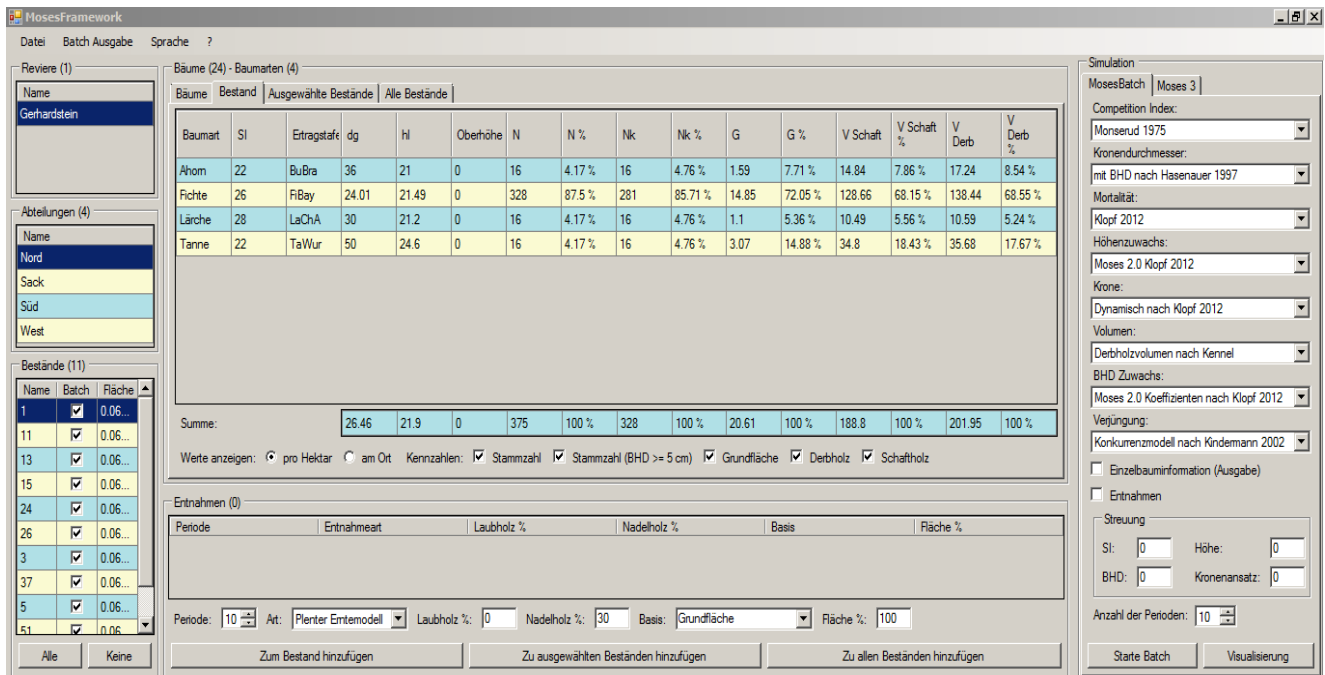


Abbildung 3: Screenshot aus MOSES framework mit den eingestellten Modellfunktionen (rechts)

- Konkurrenzindex nach Ek und Monserud (1974)

Das Wachstumspotenzial eines Baumes wird durch zwei Konkurrenzfaktoren gemindert. Zum einen definiert das Kronenprozent die Konkurrenz, die sich in der Vergangenheit auf den Baum ausgewirkt hat. Zum anderen durch den gewichteten Konkurrenzindex nach Ek und Monserud (1974), welcher die derzeitige Konkurrenz zwischen den Bäumen ausdrückt. Dieser basiert auf der Annahme, dass es zu einer wachstumshemmenden Konkurrenz kommt, wenn sich die Schirmflächen zweier benachbarter Bäume überlappen (Thurnher et al. 2017).

- Zuwachs-Modell

Die BHD- und Höhenzuwachsmodelle basieren auf dem Konzept des potenziellen Wachstums. Diesem Konzept liegt die Idee zugrunde, dass man durch die Ermittlung der Wachstumspotenzials aus der artspezifischen Oberhöhenkurve (Kindermann und Hasenauer 2005) den potenziellen Höhen- und BHD-Zuwachs des Baumes ableiten kann (vgl. Abbildung 4). Dieses potenzielle Wachstum wird durch die beiden oben beschriebenen Konkurrenzindices vermindert. Das BHD-Zuwachs-Modell basiert auf dem BHD-Höhen-Verhältnis von freistehenden Bäumen, da hier ein maximaler Durchmesserzuwachs erwartet werden kann (Hasenauer 1997).

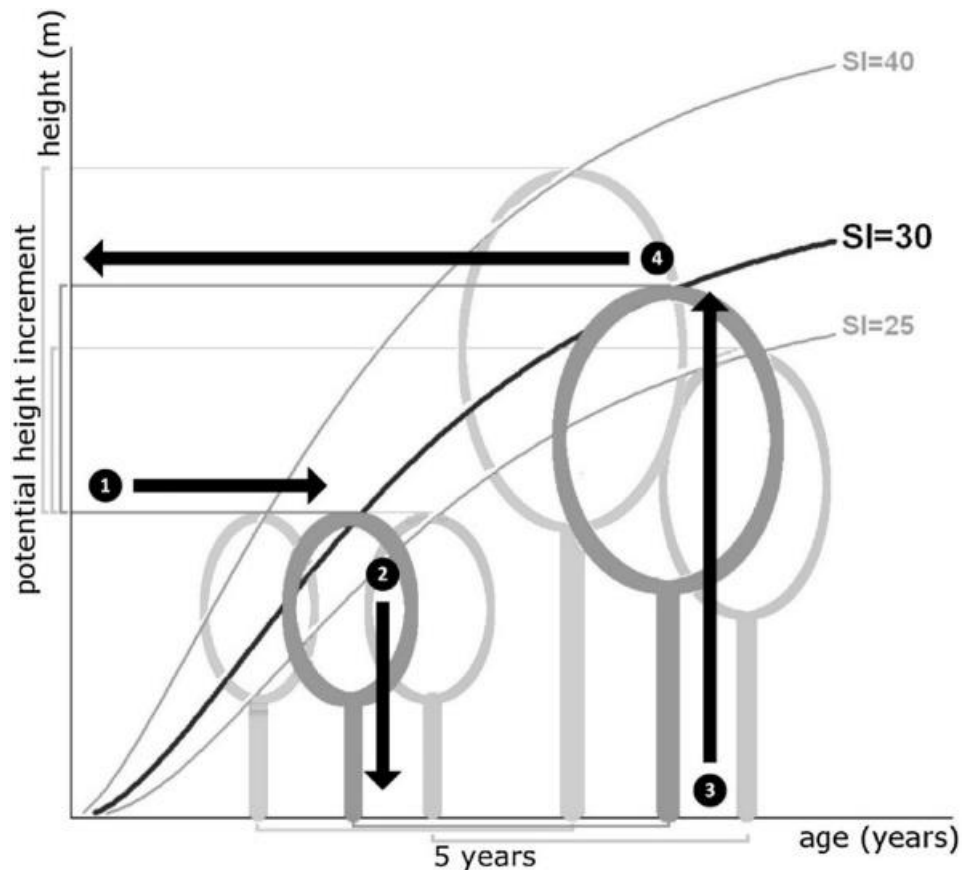


Abbildung 4: Konzept der Standortpotenzial-abhängigen Zuwachsberechnung für das Höhenwachstum (Thurnher et al. 2017). Die gemessene Höhe (1) wird zur Berechnung eines virtuellen Alters (2) passend zu einer Oberhöhenfunktion (Kindermann und Hasenauer 2005) genutzt. Nach einer Wachstumsperiode (5 Jahre) wird die neue Höhe (3) berechnet. Die Differenz zwischen neuer Höhe (4) und aktuell gemessener Höhe stellt den potenziellen Höhenzuwachs dar. In der Abbildung sind verschiedene Oberhöhenfunktionen (Site indices) (25, 30 und 40) dargestellt, um den Einfluss ebenjener aufzuzeigen (Thurnher et al. 2017).

- Kronenansatzveränderungs-Modell

Die Veränderung der Höhe des Kronenansatz wird durch ein dynamisches Kronen-Modell (Hasenauer 1994, Klopff 2014) berechnet. Dadurch ist eine sinkende Höhe des Kronenansatz nach der Simulationsperiode ausgeschlossen. Das Modell wird von der Baumhöhe, dem Kronenprozent, dem BHD und dem Konkurrenzindex sowie artspezifischen Koeffizienten beeinflusst und ist somit unabhängig vom Alter des Baumes, was ein großer Vorteil für die Beschreibung ungleichaltriger Bestände ist (Hasenauer 1994).

- Mortalitätsmodell

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Baum in der nächsten Periode stirbt wird in MOSES durch den Konkurrenzindex nach einer Nutzung, dem Kronenprozent und dem BHD beeinflusst (Hasenauer 2000). Die so berechnete Wahrscheinlichkeit wird mit einer Zahl aus einem gleichverteilten Zufallszahlengenerator verglichen. Ist diese kleiner als die berechnete Zahl, stirbt der Baum.

- Verjüngungsmodell

Das Verjüngungsmodell basiert auf dem Konzept von Hasenauer und Kindermann (2006) und Kindermann (2004). In MOSES wird jeder Stichprobenpunkt in gleichgroße Teil-Plots aufgeteilt. Für diese Teil-Plots wird ein artspezifischer Konkurrenzindex basierend auf einem modifizierten BHD und der Anzahl an repräsentierten Bäumchen berechnet. Abschließend wird die Wahrscheinlichkeit für Verjüngung basierend auf dem maximalen BHD einer Baumart in der Verjüngung und einem Humustyp-Koeffizienten berechnet. Auch hier wird diese, wie beim Mortalitätsmodell, mit einer Zufallszahl verglichen. Wenn Verjüngung aufkommt, wird diese auf dem Plot mit einer zufälligen Höhe zwischen 0,1 und 0,3 m und einer ebenso zufälligen Höhe des Kronenansatzes zufallsverteilt (Thurnher et al. 2017). Für die Höhenstufe 0 und 1 wurde abgeleitet aus den Ergebnissen der Felderhebungen eine Wahrscheinlichkeit von 10 % angegeben, dass diese die notwendige Höhe erreichen. Für die Verjüngungspflänzchen ab 50 cm Höhe wurde eine Wahrscheinlichkeit von 80 % gewählt.

4.3 Datenvorbereitung und Importfile für MOSES

Für die Benutzung von MOSES framework und die Validierung des Modells müssen die Daten speziell vorbereitet werden. Die Simulation für die Waldentwicklung der nächsten 5 Perioden (25 Jahre) erfolgt im MosesBatch. Der Datenimport erfolgt über eine Excel-Datei auf Baum-, Bestandes- und Verjüngungsebene. Bäume werden mit BHD, Höhe, Kronenansatz und seinen Koordinaten beschrieben. Zur Berechnung der fehlenden Daten (Baumhöhe, Kronenansatz, Site Index), wird RStudio verwendet. Fehlende Polarkoordinaten einzelner Bäume werden durch die Zufallsfunktion in Excel generiert. Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass MosesBatch nur rechteckige Erhebungsflächen simulieren kann, deshalb wurden ebenso Zufallsbäume auf Basis der Erhebungen generiert, um die erhobenen Daten aus den Probekreisen nicht zu unterschätzen.

4. Beschreibung des Einzelbaumwachstumsmodells

Pro Bestand wird die Standortgüte (Site Index) pro Baumart und die zugrundeliegenden Ertragstafeln angegeben. Wie oben beschrieben dienen Oberhöhenverläufe als Weiser für den Site Index und damit des Wachstumspotenzials eines Baumes. Einzelbaumwachstumsmodelle wie MOSES nutzen solche Oberhöhenfunktionen, um das potenzielle Höhenwachstum je Baumart und Standort abzuschätzen. Die OH_{100} (= Site Index) dient als Maß zur Beschreibung des Standortleistungspotenzials und damit der Bonität und kann durch Umstellen der Formel 2 pro Stichprobenpunkt und Baumart berechnet werden (Kindermann und Hasenauer 2005). Dabei wird das gebohrte Alter am Zentralstamm als Bestandesalter für den Punkt angenommen. Baumarten, für die keine Oberhöhe bestimmt werden konnte, werden dynamisch bonitiert. Für die Verjüngung wird artspezifisch die repräsentierte Stammzahl pro ha am Stichprobenpunkt in den jeweiligen Höhenklassen angegeben.

Anschließend müssen die von MOSES simulierten Daten nach einer Periode mit den tatsächlich beobachteten Werten abgeglichen und so validiert werden. Dies erfolgt auf Grundlage der Zuwachsbohrungen des 5-jährigen Zuwachses am Zentralstamm pro Punkt, der auch für die nächsten 5 Jahre angenommen wird.

5. Ergebnisse

5.1 Bestandesbeschreibung aus der Naturrauminventur 2018

5.1.1 Kleinräumige Standortsbeschreibung

Ein Teil der Felderhebungen besteht aus der kleinräumigen Ansprache des Geländes, des Bodens und einer Standortsbeschreibung pro Stichprobenpunkt. Es kann bestätigt werden, dass das Gerhardsteinplateau größtenteils aus Kalk aufgebaut ist. In den Randbereichen kommt auch Dolomit als Grundlage vor. In den meisten Bereichen befindet sich unter der flachgründigen (bis 15 cm) Tangelhumusschicht festes Gestein mit ausgeprägten Karsterscheinungen wie Karren, Schächte und Höhlen. Der Boden reicht von mäßig-frisch bis frisch.

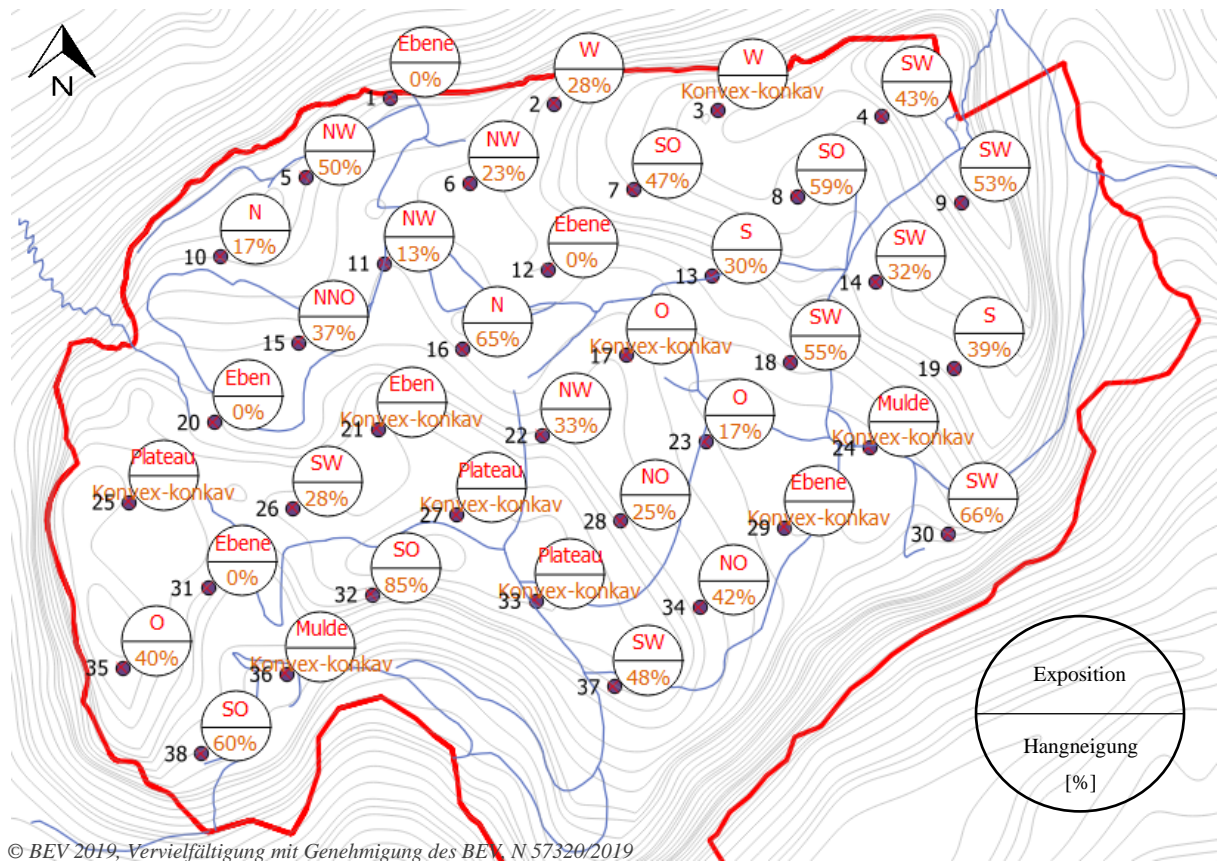


Abbildung 5: Stichprobenpunkte im Untersuchungsgebiet mit Exposition (oben) und mittlere Hangneigung (unten)

In Abbildung 5 sind die Expositionen und die mittleren Hangneigungen der einzelnen Stichpunkte sowie die vorhandenen Wege und Steige dargestellt. Durch das ausgeprägte Karrenvorkommen ist die Landschaft jedoch generell sehr kleinstrukturiert, sodass keine Hauptexposition des Gebietes abgeleitet werden kann. Das Gebiet wird durch steile Felswände begrenzt. Diese Darstellung soll einen Überblick über die aufgenommenen Punkte

ermöglichen. Die Stichprobenpunkte befinden sich auf einer Seehöhe von 1222 m (24) bis 1557 m (9).

Im 500 m² Probekreis konnten nur wenige, kleinflächige Belastungen festgestellt werden. Drei Stichprobenpunkte befanden sich in der Nähe des Salinenweges bzw. eines Steiges – daher wurden hier Trittschäden der Stufe 2 („An Vegetation und Boden ersichtlich“) aufgenommen. An zwei Punkten wurde eine Belastung durch Wasser festgestellt: zum einen als Fläche (als Suhle), zum anderen als Erosionsbelastung an einer Geländekante. Außerdem wurde an einem Punkt Schneeschimmel als Belastung an der Vegetation festgestellt – dies ist jedoch eine jährlich variierende Belastung, da diese von anfallender Schneemenge und -dauer abhängt. Zudem haben die Folgen eines Windwurfereignisses im Jahr 2007 einen massiven Einfluss auf die Strukturierung des Gebietes. Die nachfolgende Schadholzaufarbeitung mittels Langstreckenseilbahnen führte zur Entstehung von über 30 ha Verjüngungsflächen, die im nördlichen Teil konzentriert sind und sich derzeit wieder bewalden. Da großflächige Windwürfe in subalpinen Fichtenwäldern Teil des natürlichen Störungsregimes sind, ist dies aus naturschutzfachlicher Sicht nicht negativ zu bewerten.

5.1.2 Bestandesmerkmale

In diesem Kapitel wird der Zustand des Waldes nach waldbaulichen und naturschutzfachlichen Parametern beschrieben. Abgeleitet aus Mischungsart und -grad sowie den vorgefundenen Strauch- und Weidezeigerarten wird die Waldgesellschaft abgeleitet. Anschließend wird die räumliche Struktur und die Lichtverteilung im Bestand über die Mischungsform und den Schlussgrad sowie über die vertikale Bestandesstruktur charakterisiert.

5.1.2.1 Baumartenzusammensetzung und Waldgesellschaft

Am Gerhardstein stocken rund 320,64 Vfm/ha. Im 500 m² Probekreis wurden insgesamt vier Baumarten erfasst. Auf die Stammzahl bezogen ist die Fichte mit 90 % die dominierende Baumart. In den Fichtenbeständen treten nur in geringem Ausmaß andere Mischbaumarten auf, wie Lärche mit ca. 8 % der Individuenzahl. Tanne und Bergahorn kommen nur sehr vereinzelt vor (vgl. Abbildung 6). In den jungen Bestandesteilen im Umkreis der Windwürfe gewinnt die Lärche und in der Verjüngung mit Bergahorn auch Laubholz an Bedeutung. Im 50 m²

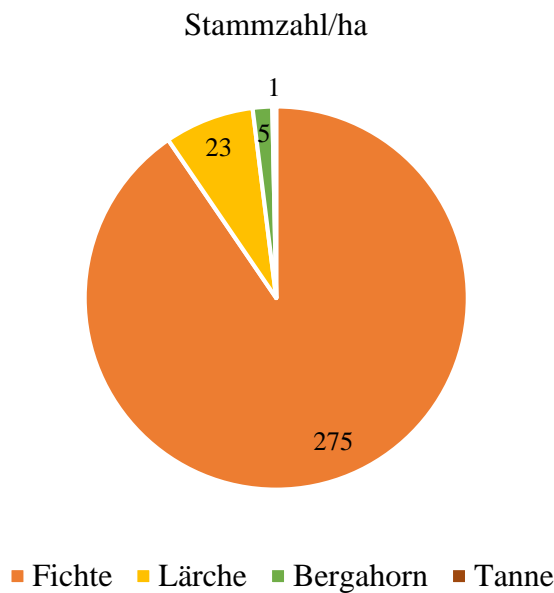


Abbildung 6: Baumartenverteilung in Stammzahl/ha

Probekreis ist vereinzelt auch Zirbe zu finden. An der Reviergrenze im Bereich der Steilhänge kommt in der Verjüngung ebenfalls vereinzelt Buche hinzu, was den Übergang zum Fichten-Tannen-Buchenwald in niedrigeren Höhenlagen vermuten lässt. Auch Grünerle, Saalweide und Vogelbeere konnten im Bestand festgestellt werden, wurden jedoch in keinem Probekreis aufgenommen. An den höchsten Erhebungen (Gerhardstein und Litzlkogel) beginnt die Krummholzzone geprägt durch Latschengebüsch (vgl. Abbildung 7).

An 23 Probepunkten wurden mit einem sehr geringen Deckungsgrad Fingerkraut, Löwenzahn, Eisenhut, Rotklee, Frauenmantel, Alpenampfer, Weißer Germer, Huflattich und Sumpfkatzdistel gefunden. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass viele Arten aufgrund der Vegetationszeit nicht zuverlässig identifiziert wurden. Auf eine Auswertung wird daher verzichtet.

Insgesamt wurden im 500 m² Probekreis 10 Straucharten kartiert (vgl. Tabelle 3). Es ist davon auszugehen, dass mehr Straucharten am Gerhardstein vorkommen (z.B. Alpen-Heckenkirsche). Am häufigsten wurden Seidelbast, Heidelbeere und Preiselbeere gefunden. Gemeinsam mit der Geologie und der Baumartenzusammensetzung weist diese Vegetationsaufnahme auf einen Nordalpischen Karbonat-Alpendost-Fichtenwald (*Adenostylo glabrae-Piceetum*) hin. Kleinflächig an besonders exponierten und seichtgründigen Standorten kommt außerdem Latschengebüsch (*Pinetum prostratae*) als Gesellschaft vor.

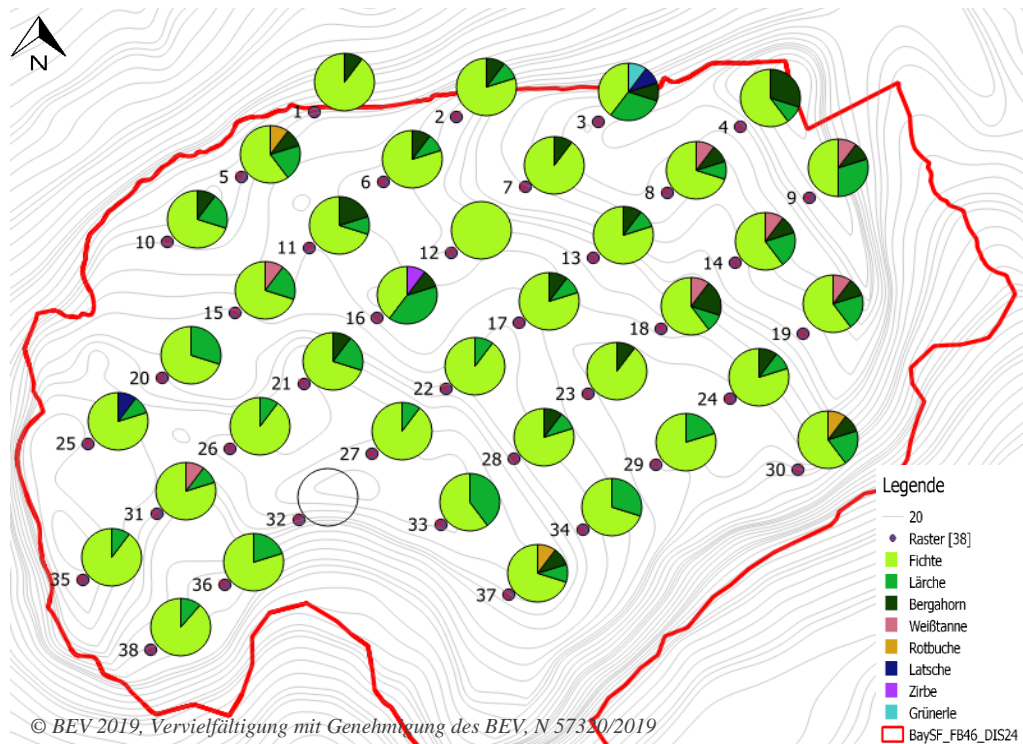


Abbildung 7: Anteilmäßige Baumartenzusammensetzung an den Stichprobenpunkten

Tabelle 3: Straucharten mit Deckungsgarden nach Braun-Blanquet (1964)

<i>Straucharten</i>	<i>Anzahl Punkte</i>	<i>Prozent</i>	<i>Deckungsgrad Max.</i>	<i>Deckungsgrad Min.</i>
<i>Alpen-Johannisbeere</i>	1	2,6	r	r
<i>Grünerle</i>	1	2,6	+	+
<i>Heidekraut</i>	7	18,4	+	r
<i>Heidelbeere</i>	11	28,9	5	r
<i>Holunder</i>	1	2,6	r	r
<i>Preiselbeere</i>	12	31,6	+	r
<i>Seidelbast</i>	18	47,4	+	r
<i>Strauchweide</i>	1	2,6	+	+
<i>Wacholder</i>	1	2,6	+	+
<i>Wildrose</i>	1	2,6	r	r

r = Einzelexemplare, + = vorhanden aber < 1 % der Kreisfläche, 1 = 1 – 5 % der Kreisfläche, 2 = 6 – 25 % der Kreisfläche, 3 = 26 – 50 % der Kreisfläche, 4 = 51 – 75 % der Kreisfläche, 5 = > 75 % der Kreisfläche

5.1.2.2 Räumliche Struktur und Lichtverteilung

Das Untersuchungsgebiet am Gerhardstein ist von reifen Fichtenbeständen und ihren Verjüngungsstadien geprägt. Dabei handelt es sich überwiegend um locker bis räumlich geschlossene Alt- und Plenterbestände. Aber auch Verjüngungsstadien haben aktuell aufgrund des Windwurfereignisses von 2007 einen bedeutenden Anteil (ca. 30 ha). Die Bäume des Altholzes stehen in den meisten Fällen einzeln oder in Rottenstrukturen. Geländebedingt können auch Reihen auf Karren und Gruppen identifiziert werden. Geschlossen oder gedrängt stehen lediglich zwei Probeflächen im Stangenholz und in der Dickungsphase.

Als Indikator für den Einfluss der Lichtverteilung am Gerhardstein wurde der Deckungsgrad der verschiedenen Vegetationsschichten (Baum-, Strauch-, Zwergstrauch-, Kraut-, Gras-, Farn-, Moos- und Krummholzschicht) aufgenommen. Grünerle und Vogelbeere wurden hierbei der Strauchschicht zugeordnet. Es wurde die Braun-Blanquet-Skala, bezogen auf den 500m²-Probekreis angewendet. In Abbildung 8 sind die Durchschnittswerte der Deckungsgrade der Vegetationsschichten für den gesamten Gerhardstein in Abhängigkeit vom Deckungsgrad der Baumschicht dargestellt, da diese die Baumschicht als oberste Schicht die Lichtverteilung für die restlichen Vegetationsschichten hauptsächlich reguliert.

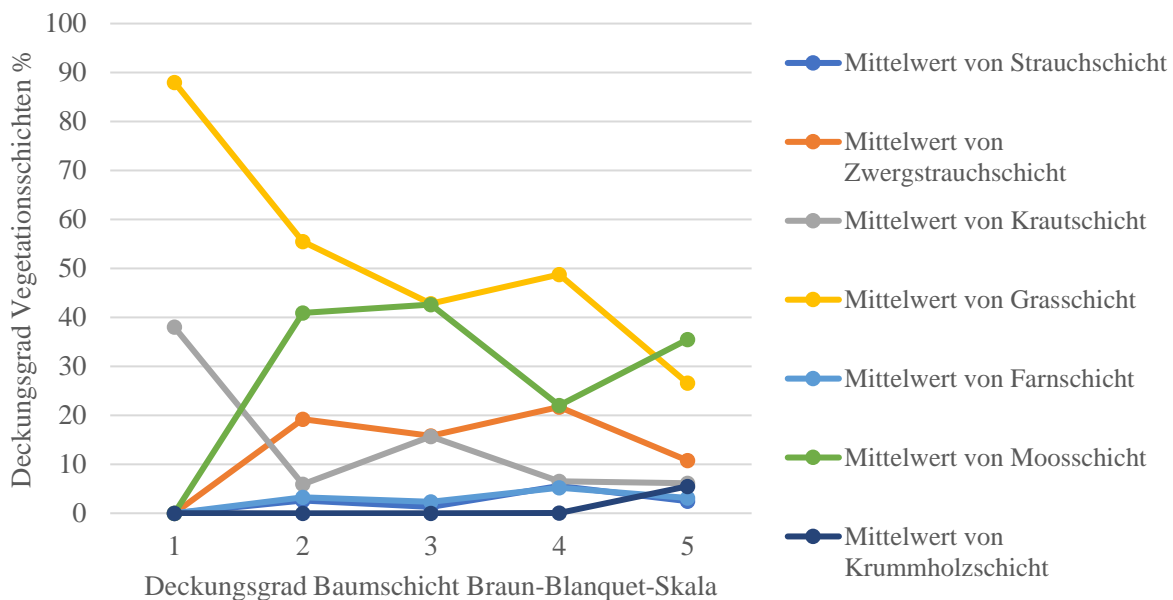


Abbildung 8: Mittlere Deckungsgrade der Vegetationsschichten [%] in Abhängigkeit vom Deckungsgrad der Baumschicht (n = 37)

- Der Deckungswert von Sträuchern und Farnen ist durchgehend auf niedrigem Niveau bei unter 10 %.
- Der Grasanteil fällt mit dem größten Deckungsgrad in fast allen Baum-Deckungsgraden auf. Er liegt bei geringem Deckungsgrad der Baumschicht bei knapp 90 % und fällt mit steigendem Deckungsgrad auf seinen niedrigsten Wert auf etwa 25 %. Bei vollem Deckungsgrad der Baumschicht besitzt die Moosschicht mit ca. 35 % einen ähnlich hohen Wert.
- Die Moosschicht steigt mit steigendem Deckungsgrad der Baumschicht unter 5 % auf ein Maximum von gut 40 % und ist damit bei dem Deckungsgrad der Baumschicht von 3 gleichauf mit dem Grasanteil.

Bei niedrigem Deckungsgrad der Baumschicht ist eine Vergrasung der Flächen erkennbar, die lichtliebende Strauch- und Zwergstraucharten verdrängt. Erst ab einem Deckungsgrad von 6-25 % in der Baumschicht können sich Zwergsträucher und Sträucher entwickeln, da hier auch die Vergrasung zurückgeht.

5.1.3 Stabilität

Der Gerhardstein wurde über Jahrhunderte intensiv genutzt. Erst seit kurzer Zeit ist die Bewirtschaftung eingestellt. Eine Untersuchung der Bestandesstabilität ist daher interessant. Die Stabilität eines Bestandes ist maßgeblich von der BHD- und Höhenverteilung sowie dem Schlankheitsgrad (H/D-Wert) abhängig. Diese Verteilungen werden im Folgenden baumartenweise und altersbezogen evaluiert.

5.1.3.1 BHD-Verteilung

Die Verteilung der BHD-Klassen auf die Stammzahl bezogen über alle Probeflächen im 500 m² sowie im 50 m² Probekreis ist in Abbildung 9 dargestellt. Der größte BHD wurde an einer Fichte gemessen und beträgt 106 cm (Probefläche 35), wobei die meisten (auf die Stammzahl bezogen) gemessenen Durchmesser zwischen 10 cm (Kluppschwelle) und 44,9 cm liegen. Bezogen auf den Vorrat ist die typische Glockenkurve mit dem größten Vorrat im mittleren BHD-Bereich bei der Klasse 42.5 cm (40-44,9 cm) zu erkennen, wobei die meisten Stämme in der BHD-Klasse von 10-14,9 cm stehen. Die Standardabweichung des BHD der Stichproben beträgt 19,2 cm. Der Variationskoeffizient liegt bei 0,72 cm. Die errechnete Schiefe ist 0,89 – damit ist die Verteilung rechtsschief (viele schwache und weniger stärkere BHD).

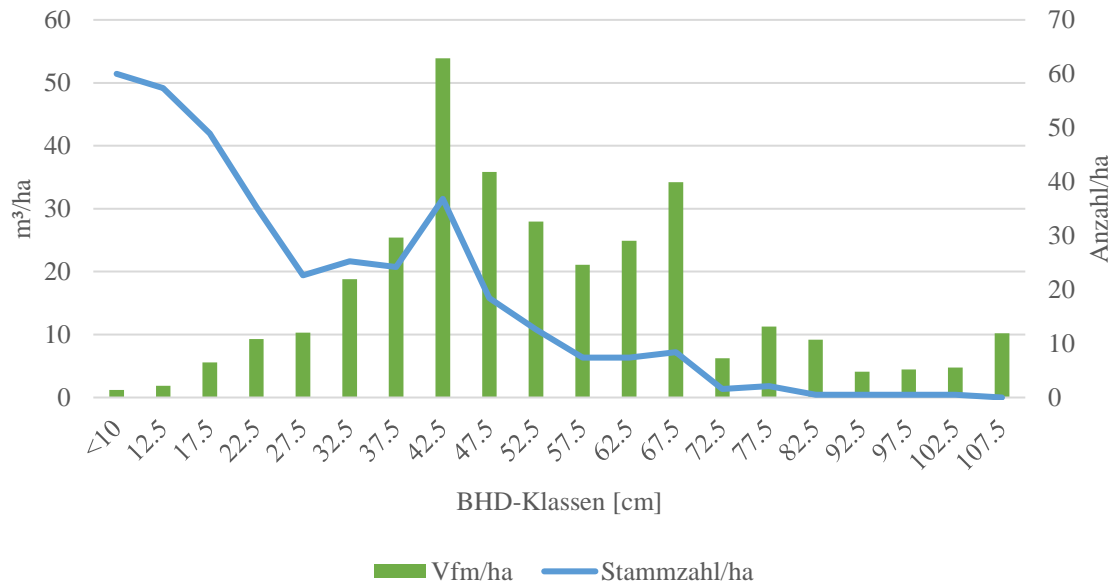


Abbildung 9: BHD-Klassen in Vorrat/ha und Stammzahl/ha (auf Sekundärachse)

Die baumartenspezifische BHD-Verteilung ist recht ausgewogen (vgl. Abbildung 10). Auffällig ist, dass Bergahorn und Weißtanne in verhältnismäßig wenigen BHD-Klassen vertreten sind. Dies ist mit der erhobenen Stammzahl erklärbar. Während 632 Fichten aufgenommen wurden, sind es bei Bergahorn nur 10 und bei Weißtanne nur 2 Individuen. Die Lärche (n = 63) kommt trotz ihres geringen Anteils in sehr vielen BHD-Klassen vor und ist daher wohl konkurrenzfähig mit der Fichte.

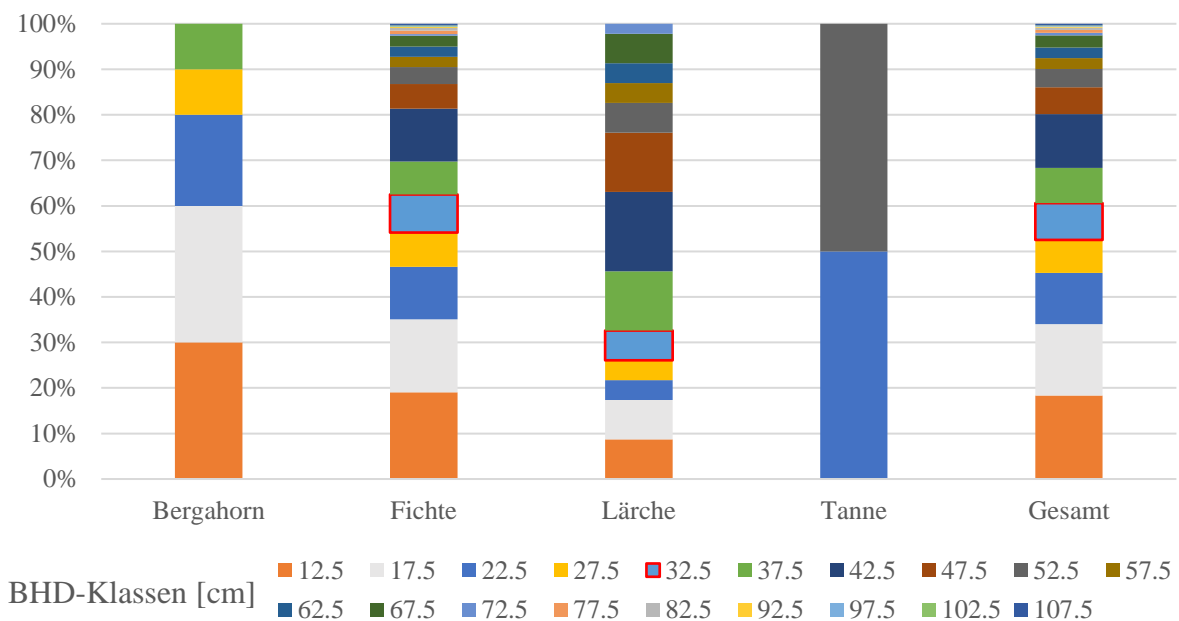


Abbildung 10: Baumartenspezifische BHD-Verteilung in BHD-Klassen von 5 cm

Der Grundflächenmittel-Durchmesser (d_g) der Probeflächen nach Altersklassen ist in Abbildung 11 dargestellt. Die höchsten Werte mit knapp 50 cm werden in den Altersklassen von 81-100 Jahre und 181 – 200 Jahre erreicht. Im Bereich Gerhardstein Nord sind im Durchschnitt die größten d_g (46,23 cm) vertreten und im Bereich Gerhardstein West die niedrigsten (21,73 cm).

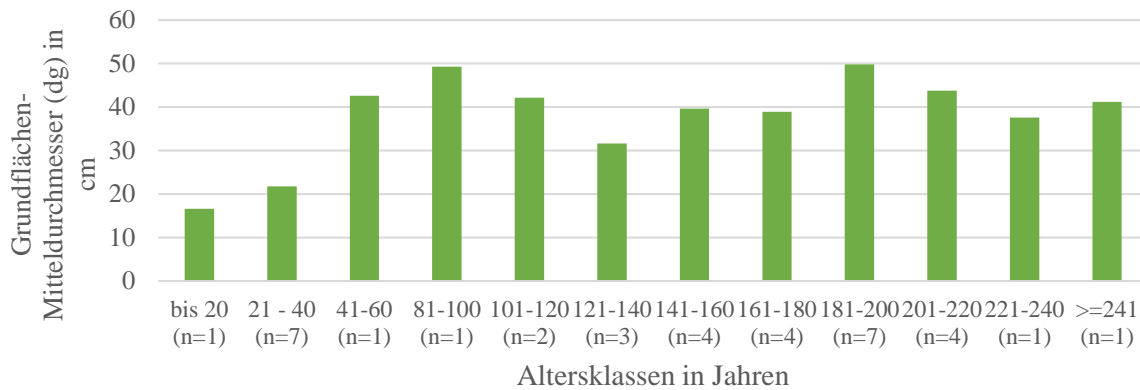


Abbildung 11: Grundflächen-Mitteldurchmesser (d_g) in den Altersklassen (20 Jahre)

5.1.3.2 Höhenkurven und H/D-Wert

Für die Berechnung der Bestandeshöhenkurve nach Pollanschütz wurden Fichte, Weißtanne und Bergahorn gruppiert. Die höchste gemessene Höhe für die Fichte liegt bei 35,8 m im Bereich Gerhardstein Sack. In Abbildung 12 ist die Höhenkurve für Fichte dargestellt. Die Fehleranalyse zeigt, dass die Höhenkurve für Fichte sehr zuverlässige Werte liefert (vgl. Tabelle 4 und Abbildung 13).

Die Höhenkurve nach Pollanschütz für Lärche ist in Abbildung 14 dargestellt. Die höchste Lärche ist 33,2 m hoch und befindet sich im Bereich Gerhardstein Nord. Die Fehleranalyse zeigt, dass auch die Höhenkurve für Lärche keine signifikanten Abweichungen aufzeigt (vgl. Tabelle 4). Schwächere Durchmesser werden jedoch etwas stärker unterschätzt als bei der Fichte (vgl. Abbildung 15).

Tabelle 4: Fehleranalyse der Residuen der Höhenkurven

	n	\bar{x}	σ	$t_{(0,975; n-1)}$	Konfidenzintervall
Fichte	259	-0,29	3,21	1,97	$-0,72 < \bar{x} < 0,14$
Lärche	43	-0,4	3,11	2,02	$-1,36 < \bar{x} < 0,55$

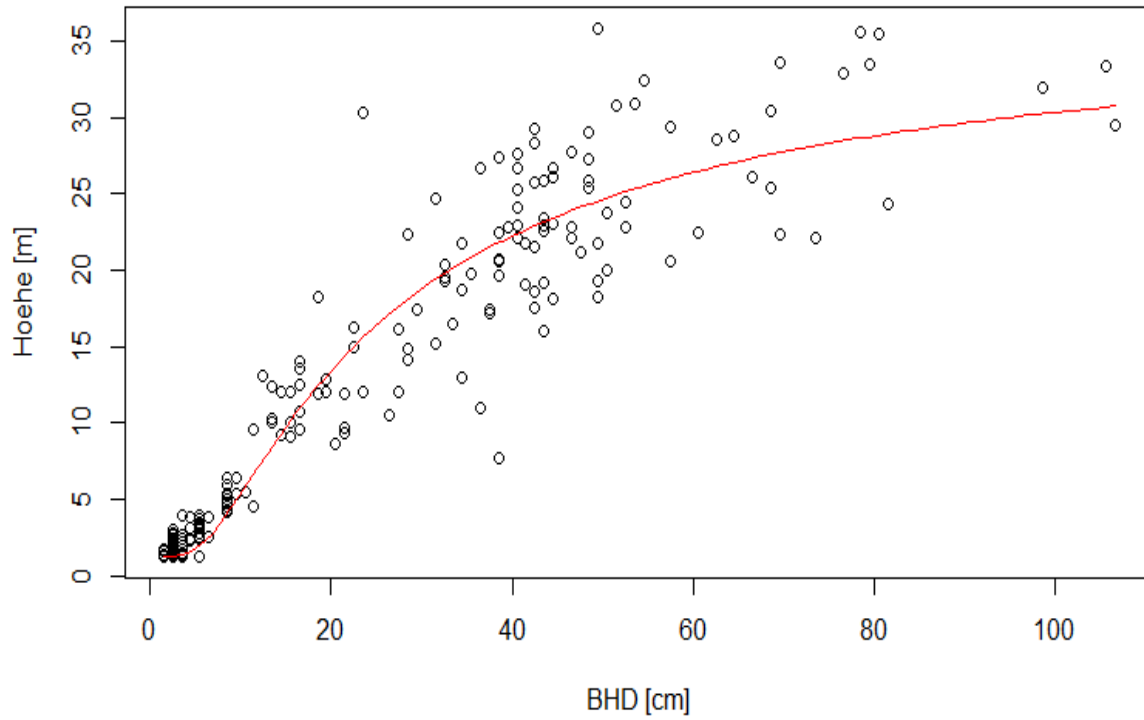


Abbildung 12: Höhenkurve nach Pollanschütz für Fichte mit $a = 3,586$ und $b = -21,769$ und gemessene Höhen

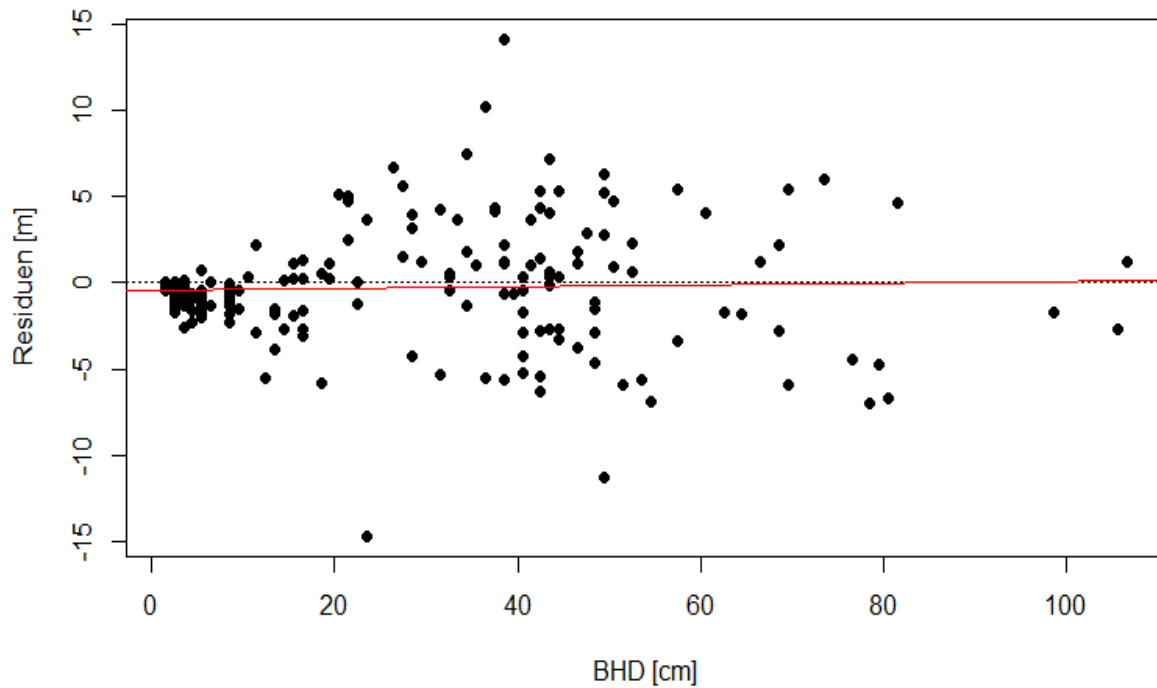


Abbildung 13: Residuen (Berechnete Werte - Beobachtete Werte) für Höhenkurve der Fichte und Trendlinie

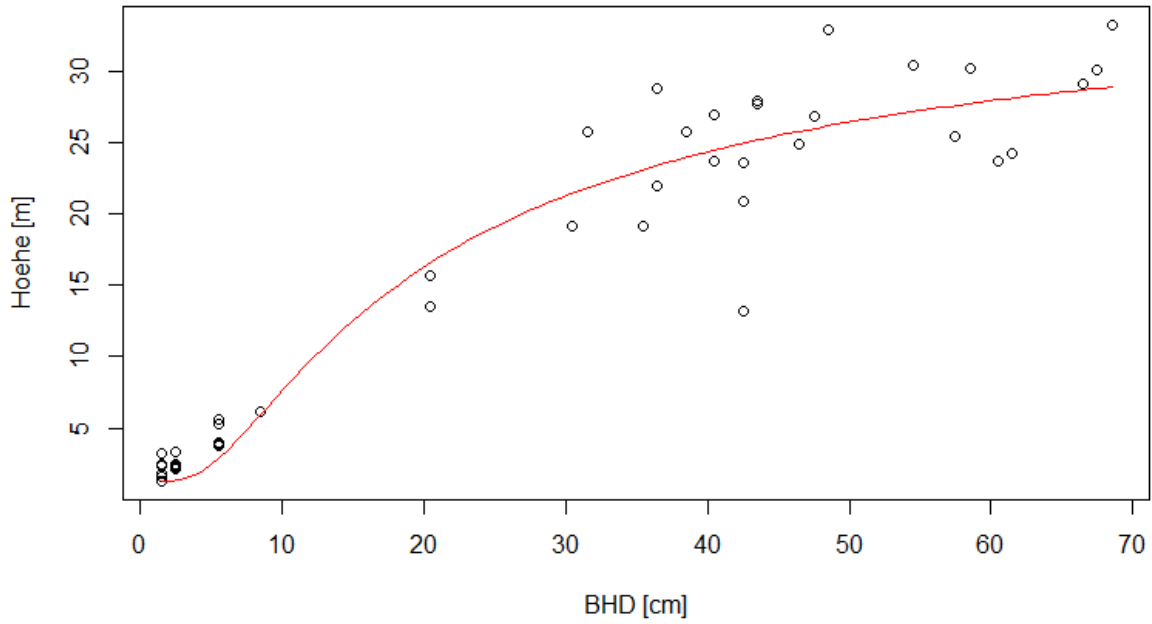


Abbildung 14: Höhenkurve nach Pollanschütz für Lärche mit $a = 3,569$ und $b = -17,27$ und gemessene Höhen

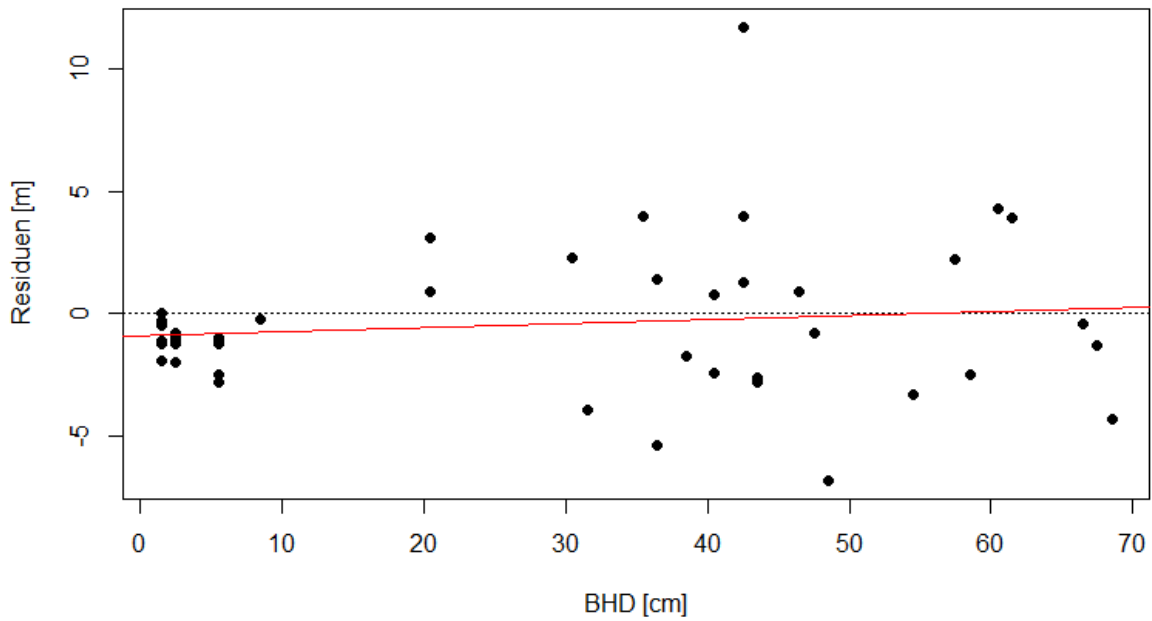


Abbildung 15: Residuen (Berechnete Werte - Beobachtete Werte) für Höhenkurve der Lärche und Trendlinie

Die Verteilung der Höhenklassen ist in Abbildung 16 dargestellt. Die Mittelhöhe ($n = 339$) beträgt 19,9 m, die größte Höhenklasse ist 22,5 m mit etwa 90 Individuen pro ha.

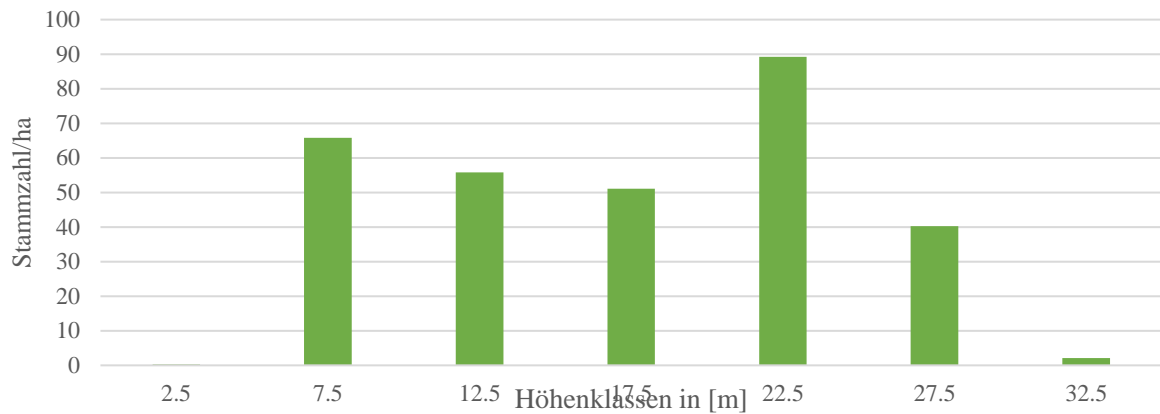


Abbildung 16: Verteilung der Höhenklassen bezogen auf die Stammzahl/ha

Der Schlankheitsgrad (H/D-Wert), welcher dem Verhältnis von Höhe zu Durchmesser entspricht, gibt einen Hinweis auf die Stabilität eines einzelnen Baumes. Die Bäume am Gerhardstein weisen alle einen ähnlichen H/D-Wert auf, wobei Lärche und Weißtanne größer gestreute H/D-Verhältnisse besitzen (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Baumartenweiser mittlerer H/D-Wert

Baumart	Mittlerer H/D-Wert (\pm Standardabweichung)	n
<i>Bergahorn</i>	63 (\pm 4)	10
<i>Fichte (inkl. Weißtanne)</i>	58 (\pm 9)	634
<i>Lärche</i>	62 (\pm 13)	63

In Abbildung 17 ist der durchschnittlichen H/D-Wertes bezogen auf die Altersklassen des Bestandes dargestellt. Als Grenzwert für einen stabilen Baum wird ein H/D-Wert von 80 angenommen (Rössler 2019). Je niedriger das H/D-Verhältnis, desto stabiler der Baum. In der Altersklasse 61-80 beträgt der H/D-Wert 70,7 und liegt damit weit höher als in allen anderen

Klassen, jedoch immer noch weit unter der kritischen Grenze von 80. Im höheren Alter ist der H/D-Wert niedriger.

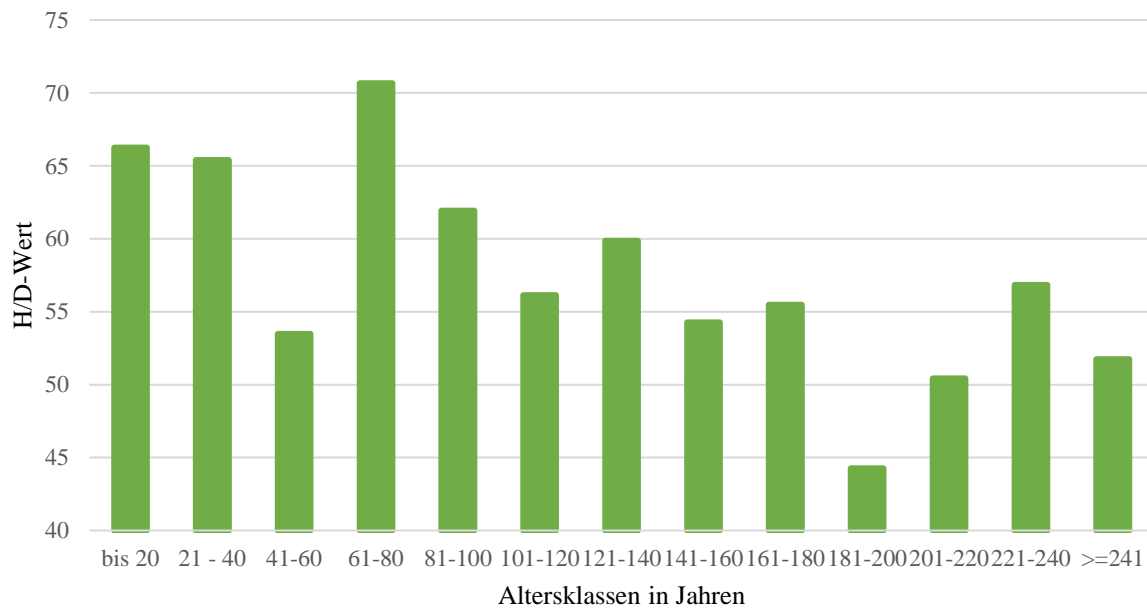


Abbildung 17: Mittlerer HD-Wert bezogen auf Altersklassen

Insgesamt ist der Bestand am Gerhardstein, sowohl baumartenspezifisch als auch auf die Altersklassen bezogen, aufgrund der ausgewogenen BHD-Verteilung und der niedrigen mittleren H/D-Werte als stabil gegenüber abiotischen Störungen einzustufen.

5.1.3.3 Oberhöhenbonitierung („Site Index“)

Für jeden Stichproben-Punkt wurde der Site-Index (SI) nach der Oberhöhenfunktion von Mitscherlich und Richard (Formel 2) bestimmt (vgl. Abbildung 18). Die Fichte weist am Gerhardstein Oberhöhenbonitäten zwischen 17 (im Norden) und 30 (im Süden). Die Lärche liegt zwischen 10 und 35, wobei der SI von 10 als Ausreißer gewertet werden und mit der Kleinstrukturiertheit des Plateaus begründet werden kann. Senken und Karrenrücken liegen unmittelbar nebeneinander; folglich existieren stark unterschiedliche Standortbedingungen auf kleinster Fläche. Der SI für Bergahorn schwankt zwischen 22 und 26 und ist damit recht homogen. Allerdings wurde für Bergahorn immer das Bestandesalter der Bohrung Fichte angenommen, was fehlerbehaftet sein kann. An Windwurf- und anderen Verjüngungsflächen wurden etwaige Überhälter ignoriert, um eine Überschätzung des Standortpotenzials zu

vermeiden (Punkte 2, 5, 24 und 36). Punkt 20 weist als BlöÙe weder Überhälter noch Verjüngung auf und wurde daher ausgeklammert.

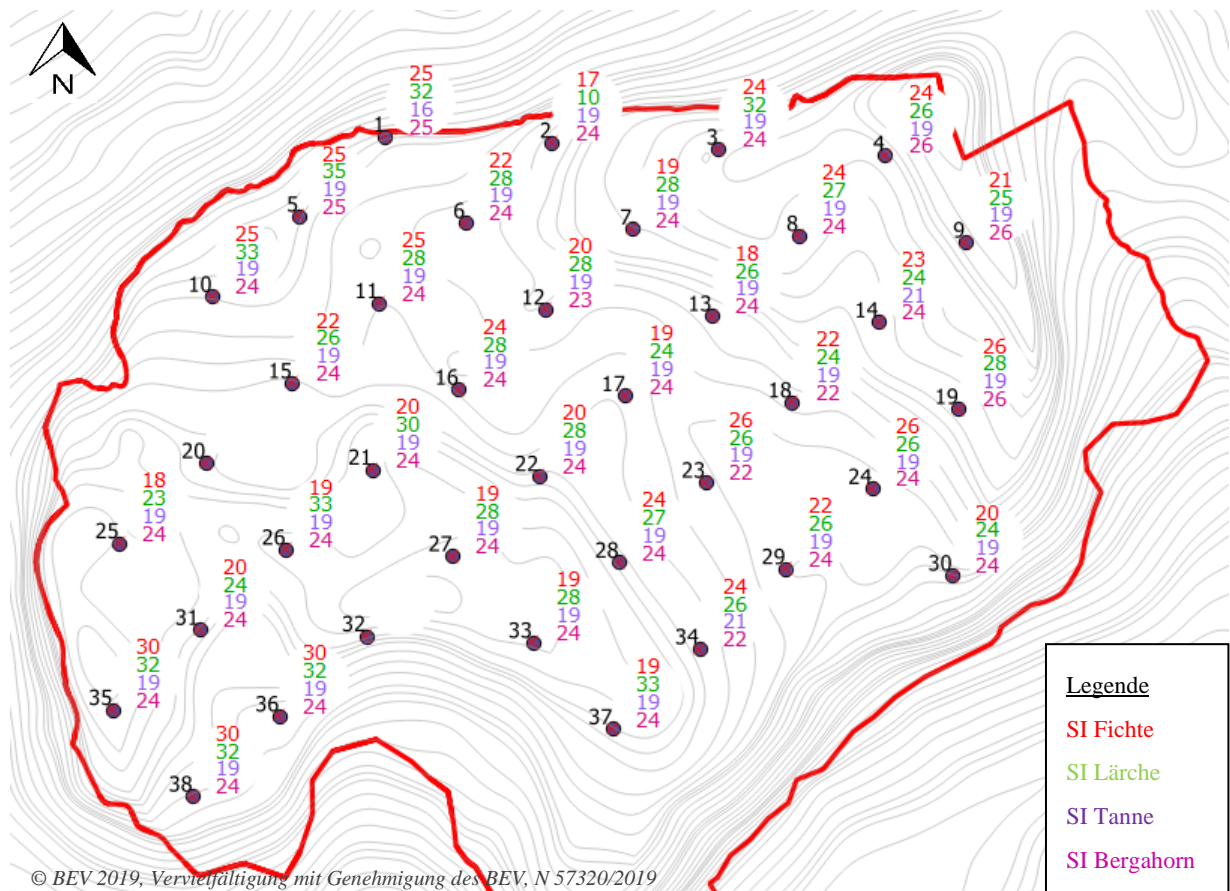


Abbildung 18: Oberhöhen-Bonitierung („Site Index“) am Gerhardstein. Rot: Fichte, Grün: Lärche, Lila: Tanne, Pink: Bergahorn (von oben nach unten)

5.1.4 Vitalität

Vitalität beschreibt die Konkurrenzfähigkeit der Bäume. Diese wird maÙgeblich vom Kronenprozent sowie von biotischen und abiotischen Schäden am Einzelbaum und dem Aufkommen der Naturverjüngung bestimmt. Als vital gelten Bäume mit einer groÙen, gesunden Krone, da dies auf ein gut entwickeltes Wurzelsystem mit ausreichend Zugriff auf Wasser und Nährstoffe hindeutet (Bartsch und Röhrig 2016). Die Vitalität hat eine groÙe Bedeutung für die Weiterentwicklung des Bestandes.

5.1.4.1 Kronenprozent

Das Kronenprozent drückt das Verhältnis der lebenden Krone zur Gesamthöhe des einzelnen Baumes aus. Es ist ein Maß der Vitalität und der Stabilität eines Baumindividuums. Je höher das Kronenprozent, desto stabiler und vitaler ist der Baum.

Die Schätzung des Kronenansatzes mit Hilfe von Kahn und Pretzsch (1997) (Formel 3) ergab folgende Koeffizienten: $KA = h * (1 - e^{(0,13 - 0,72 * \frac{h}{BHD} - 0,00034 * BHD)})$. Die grafische Darstellung der Residuen in Abbildung 19 zeigt, dass der Kronenansatz von stärkeren BHD unterschätzt wird. Trotzdem liefert das Modell laut statistischer Fehleranalyse zuverlässige Werte (vgl. Tabelle 6).

Tabelle 6: Fehleranalyse der Residuen der Kronenansatz-Höhe (KA) für Fichte

	n	\bar{x}	σ	$t_{(0,975; n-1)}$	Konfidenzintervall
KA Fichte	57	-0,27	2,73	2	$-1 < \bar{x} < 0,45$

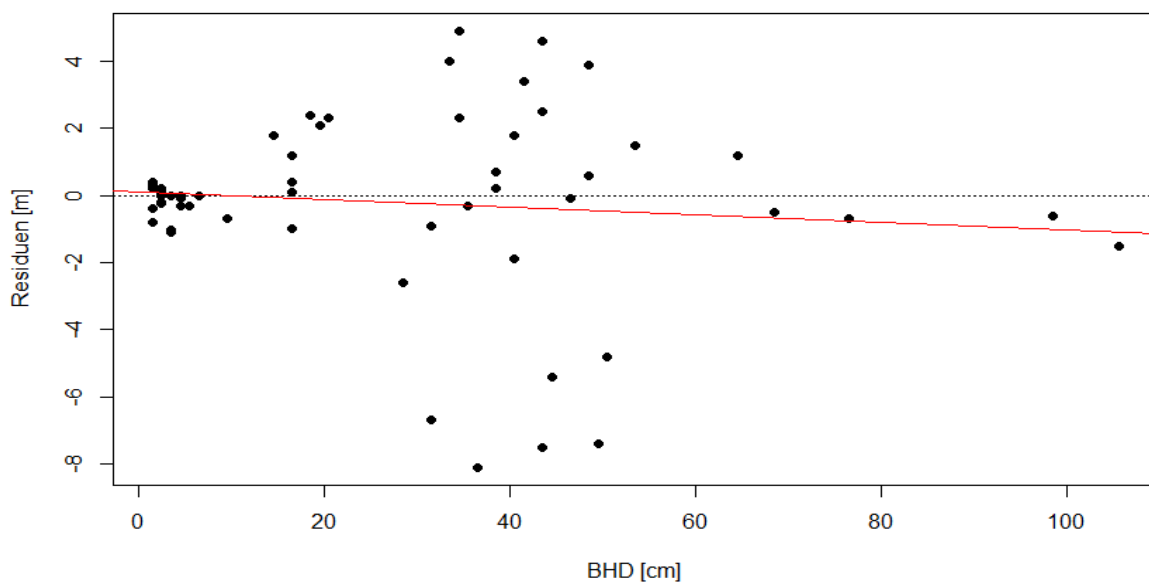


Abbildung 19: Residuen (Berechnete Werte - Beobachtete Werte) für die Höhe der Kronenansätze und Trendlinie

In Tabelle 7 ist baumartenweise das aus der Höhenkurve berechnete mittlere Kronenprozent dargestellt. Die Bäume am Gerhardstein haben generell einen sehr niedrigen Kronenansatz, daher ist das Kronenprozent mit mindestens 70 % sehr hoch. Dies ist jedoch im Hinblick auf den Standort und die Struktur nicht überraschend.

Tabelle 7: Baumartenweises mittleres Kronenprozent

Baumart	Mittleres Kronenprozent (\pm Standardabweichung)	n
<i>Fichte (inkl. Weißtanne)</i>	75 (\pm 6)	634
<i>Lärche</i>	70 (\pm 10)	63
<i>Bergahorn</i>	72 (\pm 2)	10

5.1.4.2 Schäden (inkl. Fege- und Schälsschäden)

Insgesamt weisen nur 11,4% der aufgenommenen lebenden Bäume im 500 m²-Probekreis eine Art von Schaden auf. Die Aufteilung der erhobenen Schadensarten ist in Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 8: Verteilung der Schäden an Bäumen

Schadensart	Anteil an allen Schadensbäumen [%] (n=73)
<i>Säbelwuchs</i>	30,14
<i>Schälsschaden alt</i>	28,77
<i>Schnee- und Windbruch/-wurf</i>	15,07
<i>Kronenschaden (übermäßiger Nadel- oder Blattverlust)</i>	10,96
<i>Verbiss- und Fegescha-</i>	6,85
<i>Blitzschlag</i>	4,11
<i>Borkenkäfer</i>	2,74
<i>Steinschlag</i>	1,37
	Σ 100

Baumartenbezogen sind 7% der Fichten beschädigt, 1,6% der Lärchen und nur vereinzelt auch Bergahorn. Da insgesamt nur 2 Weißtannen aufgenommen wurden, kann hier keine Aussage über die Repräsentativität des Schadens getroffen werden.

Wildeinfluss: Insgesamt wurden nur 4,5 % der Bäume mit „Schälschaden alt“ oder „Fegeschaden“ aufgenommen. Davon sind 4,1% der Fichten und vereinzelt auch Weißtannen (0,1 %) sowie Lärche (0,3 %) betroffen. Mehr als die Hälfte dieser Schadensarten kommt bis zu einem Baumalter von 40 Jahren mit schwächeren BHD (hauptsächlich bis BHD-Klasse 17,5) vor und sind größtenteils als gering (kleiner als 25 % des Stammumfangs) bis mittel (25-50 % des Stammumfangs) eingestuft worden.

5.1.4.3 Verjüngung und Wildeinfluss

Es wurden insgesamt 5 Baumarten im 25 m² Probekreis gefunden: Fichte, Bergahorn, Lärche, Weißtanne und Rotbuche. Es wurden folgende Parameter untersucht: Baumartenanteile, Höhenstruktur, Wildeinfluss und Pflanzendichte pro ha.

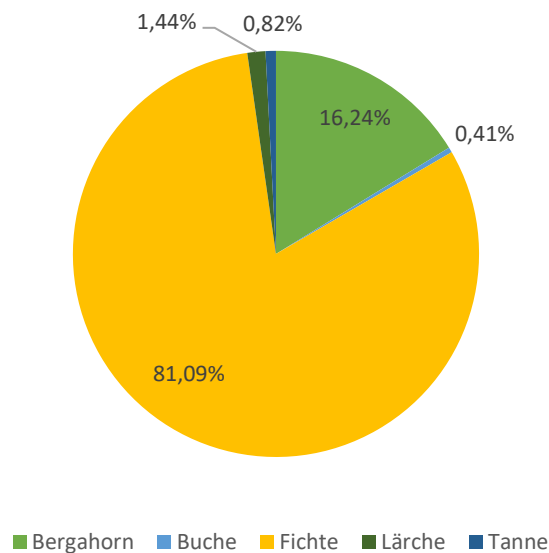


Abbildung 20: Baumartenweise Verteilung der Verjüngung am Gerhardstein mit $n = 974$

92,1 % der Stichprobenpunkte weisen im 25 m² Probekreis Verjüngung auf. Hier fallen lediglich aufgelassene Almen sowie Steilwände heraus. Die Fichte dominiert die Verjüngung mit 81,1 % in beiden Höhenklassen (< 50 cm und > 50 cm), darauf folgt der Bergahorn mit 16,2 %. Lärche, Weißtanne und Buche kommen in der Verjüngung lediglich vereinzelt vor (< 1 %)

(vgl. Abbildung 20). Insgesamt sind 2,8 % der Verjüngung in Stammzahl/ha durch Verbiss oder Schäl- und Fegeschäden vom Wild beeinflusst, wobei hier festgestellt werden kann, dass die Weißtanne besonders gefährdet ist. 12,5 % der Weißtannen weisen einen solchen Wildeinfluss auf, während es bei der Fichte nur 1,9 % sind. In Abbildung 21 ist die Verteilung der Verjüngung in den einzelnen Höhenklassen sowie der Anteil des Wildeinflusses auf die Baumart dargestellt. Die Pflanzendichte pro ha ist mit rund 10.000 Individuen (inkl. Keimlinge) sehr gering. Nur 10 % der Verjüngung schafft es in die Höhenklasse > 50 cm.

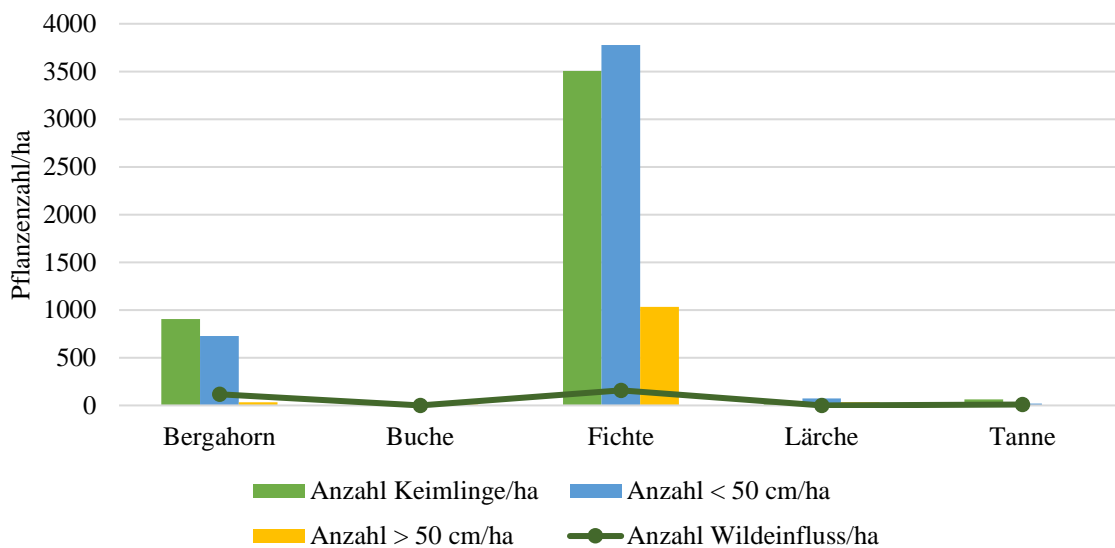


Abbildung 21: Pflanzen pro ha in Höhenklassen und Anzahl der verbissenen Pflanzen/ha

5.1.5 Mortalität

Mortalität beschreibt die Absterberate von Bäumen über einen Zeitraum. Für die Oberschicht ist damit eine Reduktion des Lebendholzvorrats sowie vice versa ein Aufbau des Totholzvorrats einhergehend. Da diese Naturrauminventur eine Ersterhebung darstellt, kann noch keine Gegenüberstellung von Zuwachs und Ausfall und damit eine Berechnung der Lebendholzvorratsreduktion erfolgen. Dadurch, dass das Totholz vom Forstbetrieb auf der Fläche belassen wird, kann der Status quo des Totholzvorrats dargestellt werden. Dieses bildet eine essenzielle Grundlage für viele xylobionte Organismen. Deshalb ist dessen Erhebung in einer Naturrauminventur notwendig.

Über die gesamte Fläche des Gerhardsteins wurden 79,7 Vfm/ha Totholz (Kluppschwelle = 15 cm) mit einem durchschnittlichen Mittendurchmesser von 27,4 cm ermittelt, wobei nur an 6 Stichprobenpunkten kein Totholz festgestellt werden konnte. In den 500 m² Probekreisen

schwankt das Volumen zwischen 0 und knapp 600 Vfm/ha (höchster Wert auf einer Käferschadholzfläche am Stichprobenpunkt 18). Nach Waldort befindet sich der größte Totholzvorrat (48,3 %) im Bereich Sack. Insgesamt entspricht der Totholzvorrat am Gerhardstein 24,9 % des Lebendholzvorrats.

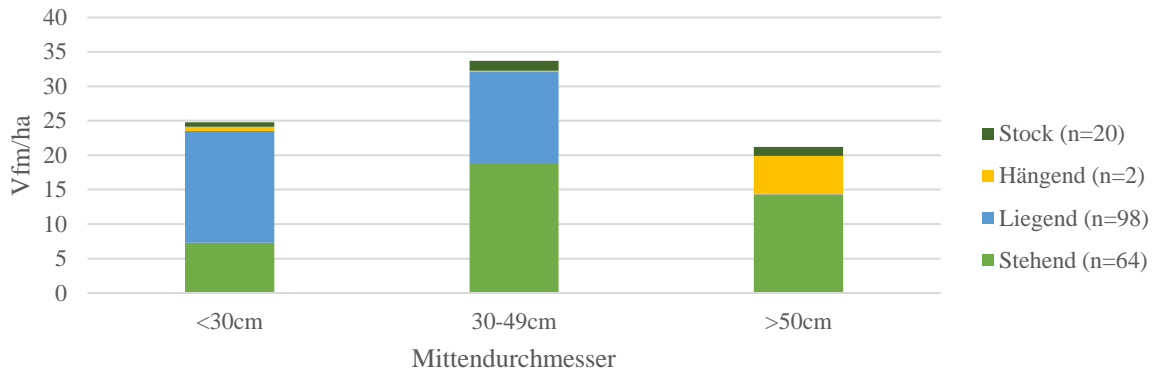


Abbildung 22: Lage des Totholzes nach Stärke in Vfm/ha

Die Einteilung des Totholzes in BHD-Klassen und Lage ist in Abbildung 22 dargestellt. Die Dimension des Totholzes ist relevant für dessen Habitateignung für bestimmte Arten. Am Gerhardstein ist das Totholz aller Dimensionen vom Vorratsvorkommen am Hektar ähnlich verteilt. Dies deutet auf eine hohe Anzahl schwachen Totholzes (<30cm) hin. Auffällig ist, dass das fehlende liegende starke Totholz (>50cm) obwohl es insgesamt an 7 Stichprobenpunkten aufgenommen wurde.

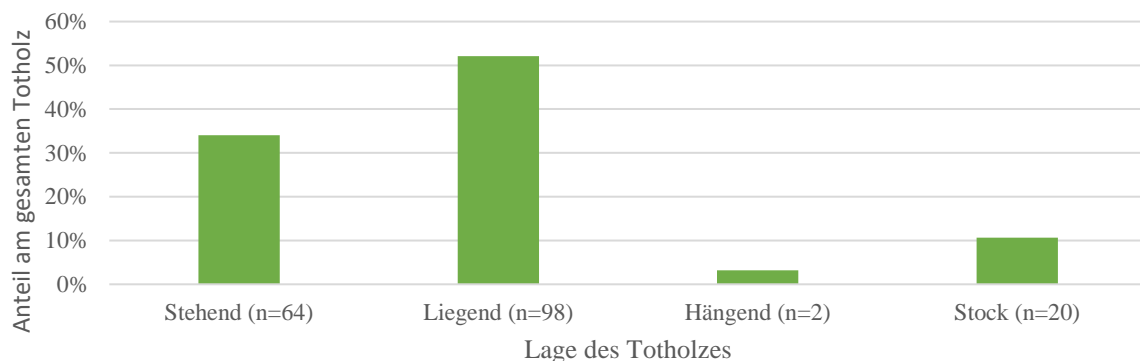


Abbildung 23: Anteilsmäßige Lage des Totholzes

Der Lage nach fallen insgesamt 52 % auf liegendes, 34 % auf stehendes, 3 % auf hängendes Totholz und 10,6 % auf Stöcke (vgl. Abbildung 23). Der Anteil des hängenden Totholzes ist im Vergleich zum stehenden und liegenden Totholz sehr gering. Der große Anteil des liegenden Totholzes liegt vermutlich an den verbreiteten Windwürfen sowie am Borkenkäfermanagement. Die Lage spielt eine große Rolle für die Biodiversität – so brauchen viele Spechtarten vorzugsweise stehendes Totholz, während viele Xylobionten liegendes Totholz bevorzugen.

Der Zersetzungsgrad wurde in 6 verschiedene Kategorien klassifiziert. Je nach Zersetzung des Holzes werden unterschiedliche Lebensbedingungen für Organismen bereitgestellt. „Frisch abgestorben“ (Kategorie 1) wurde nur eine Fichte aufgefunden. Am meisten kommt das Stadium „in Zersetzung begriffen“ (Kategorie 4) vor. Es fällt auf, dass das stehende Totholz nur bis zu diesem Zersetzungsstadium vorherrscht - dann bricht es wahrscheinlich zusammen und geht in Zersetzungsstadium 5 als liegendes Totholz über (vgl. Abbildung 24).

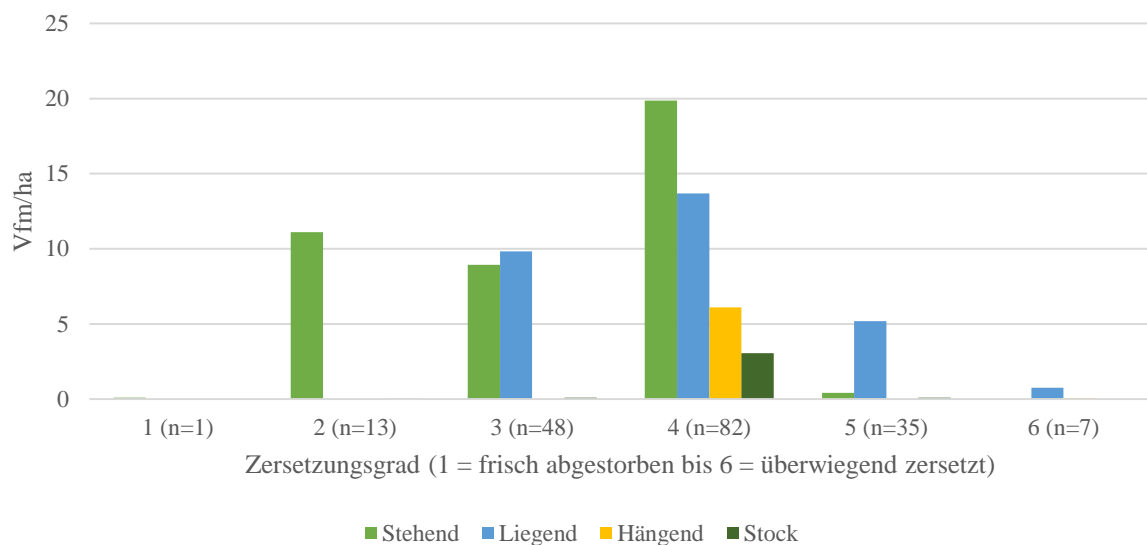


Abbildung 24: Menge in Vfm/ha der unterschiedlichen Zersetzungsgrade pro Lage des Totholzes

Von den sieben erhobenen möglichen Ausscheidungsgründen, konnten sechs in unterschiedlichem Umfang festgestellt werden (vgl. Tabelle 9). Den größten Anteil mit knapp einem Viertel der ausgefallenen Bäume macht die Entnahme aufgrund von Borkenkäfermanagement bei der Fichte aus. Es ist davon auszugehen, dass auch die

geschnittenen nicht mehr bestimmbar Bäume dazugezählt werden können – damit wäre der Anteil dann bei gut 30 %. Gar nicht beobachtet wurden neuartige Waldschäden.

Tabelle 9: Anteile der Ausscheidungsgründe verschiedener Baumarten (n = 187)

<i>Ausscheidungsgrund</i>	<i>Fichte [%]</i>	<i>Lärche [%]</i>	<i>Weißtanne [%]</i>	<i>Unbekannt [%]</i>
<i>Bedrängung</i>	9,3	3,3	0	0
<i>Wind/Schnee</i>	17,0	3,8	0	3,8
<i>Wild (geschält)</i>	1,1	0	0	0
<i>Käfer/Insekten</i>	16,5	0,5	0	0
<i>Borkenkäfermanagement / anthropogen</i>	23,6	1,6	0,5	7,1
<i>unbekannt</i>	11,5	0	0	0
	100			

5.1.6 Struktur- und Artendiversität

Der Begriff Diversität stammt aus der Genetik. Dort beschreibt er zum einen die beobachtete Zahl von Genotypen, Allelen oder Arten (Vielfalt) und zum anderen die Anzahl und Häufigkeit der vorkommenden Arten. Sind alle Arten gleichhäufig vertreten, ist die Diversität maximal. Je größer das Ungleichgewicht zwischen der Häufigkeit der Arten ist, desto geringer ist die Diversität (Pretzsch 2002). Am Gerhardstein kommen im 500 m²-Probekreis vier verschiedene Baumarten vor. Im Folgenden werden drei unterschiedliche Diversitätsindices (Gini-Index, Shannon-Index und die Mingling-Durchmischung) sowie der Aggregationsindex von Clark und Evans berechnet.

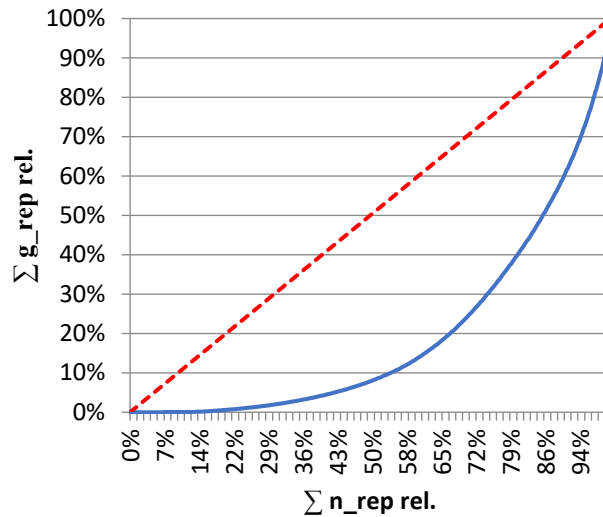


Abbildung 25: Graphische Darstellung des GINI- Index für den Gerhardstein

Am Gerhardstein ergibt sich ein Gini-Index (Formel 4) von 0,61. Die Verteilung der Baumindividuen hinsichtlich der repräsentierten Stammzahl/ha und Grundfläche/ha ist dementsprechend eher als ungleichmäßig einzustufen. So entsprechen 50% der Bäume nur 8 % der Grundfläche und 50 % der Grundfläche 86 % der Bäume (vgl. Abbildung 25), das heißt dass der überwiegende Teil der Bäume schwacher Dimension ist.

Aus der Auswertung resultiert am Gerhardstein ein Shannon-Index (Formel 5) von 0,39 für die Stammzahl und 0,4 für die Grundfläche. Die maximale Diversität für insgesamt vier Baumarten liegt bei 1,39 (= $\ln(4)$). Daraus lässt sich ein Evenness von 24% für die Stammzahldiversität und 29% für die Grundflächendiversität ableiten. Somit liegt eine geringe Diversität am Gerhardstein vor, da nur noch maximal knapp 30 % der maximal möglichen Diversität erreicht wird.

Dieses Ergebnis wird von der Berechnung der Mingling-Durchmischung (Formel 6) bestätigt. Am Gerhardstein liegt er bei 0,19 und belegt daher eine geringe Artendiversität. Bei den Feldarbeiten wurde keine Kluppschwelle für den nächsten Nachbarn angewendet, sodass konkurrenzbedingt wahrscheinlich ein noch geringerer Wert vorliegt.

Der gemittelte Aggregationsindex nach Clark und Evans (vgl. Formel 7) am Gerhardstein beträgt 0,9 und zeigt damit eine zufällige Verteilung der Bäume ab 10 cm BHD an. Dies ist in Anbetracht der Kleinstrukturiertheit der Geländemorphologie und der Höhenstufe eine erwartbare Tendenz und gibt einen Hinweis darauf, dass man den Aggregationsindex punktgenau bestimmen sollte und nicht für das gesamte Plateau. Am Stichprobenpunkt 26, einem Stangenholz, ergibt sich der höchste Wert mit 1,6 und zeigt somit eine regelmäßige

Verteilung der Bäume an. Insgesamt sind 21 Punkte mit einer eher zufälligen bis geklumpten Verteilung berechnet. Der niedrigste Wert mit 0,23 und damit ein Hinweis auf einer geklumpten Baumverteilung findet sich an Punkt 6, eine Windwurffläche.

Eine Zusammenfassung der Diversitätsindices ist in Tabelle 10 zu finden.

Tabelle 10: Zusammenfassung der berechneten Diversitätsindices am Gerhardstein

<i>Indices</i>	<i>Bezogen auf</i>		<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>Mittelwert</i>	<i>Standardabweichung</i>
<i>Shannon-Index H</i>	N	0,39	0	0,95	0,33	0,26
	G	0,4	0	0,87	0,29	0,26
<i>Evenness [%]</i>	N	24	0	91,8	54,2	21,7
	G	29	0	83,8	47,7	26,4
<i>Mingling</i>	-	0,19	-	-	-	-
<i>Aggregationsindex R</i>	-	0,9	0,23	1,6	0,92	0,31

5.1.7 Naturschutzrelevante Parameter

Die im Zuge der Naturrauminventur erhobenen naturschutzrelevanten Parameter stellen objekt- und landschaftsbezogene Schlüsselstrukturen dar, die einen großen Einfluss auf die Organismen im Ökosystem haben. Beim Gerhardstein liegt der Schwerpunkt auf Biotopbaummerkmalen sowie der Verteilung von Sonderlebensräumen und der Anzahl an Ameisenhaufen, um einen Überblick über die dortigen Verhältnisse zu erlangen.

5.1.7.1 Biotopbaummerkmale

Ein Biotopbaum ist ein Baum mit besonderen Strukturen, die entweder eigene Mikrohabitate sind oder auf holzbewohnende Arten hindeuten. Diese Mikrohabitate stellen eine essenzielle Lebensgrundlage für spezialisierte und oft gefährdete Tier- und Pflanzenarten dar. Eine Übersicht ist in Tabelle 11 zu finden.

Tabelle 11: Biotopbäume in Stammzahl pro Hektar

<i>Habitatkriterium</i>	<i>Stammzahl/ha</i>	<i>Anteil an der Gesamtstammzahl in %</i>
<i>Höhlenbaum</i>	53	17,0
<i>Pilzbefall</i>	1	0,3
<i>Verletzungen/Stammschäden</i>	26	8,4
<i>Moos-/Flechtenbewuchs (>25% der Stammfläche)</i>	5	1,7
<i>Totholz in der Krone (>25%)</i>	1	0,3
<i>Markante Wuchsform</i>	46	14,8
<i>Fehlende Primärkrone</i>	9	3,0
<i>Wurzelteller</i>	15	4,9
<i>Wucherung</i>	14	4,4

- Die hohe Anzahl an Höhlenbäumen ist darin begründet, dass durch die Karststrukturen vermehrt Höhlen im Bereich der Wurzeln entstanden sind. Sie sind nur in einzelnen Fällen als Stammschaden (z.B. Spechthöhle) zu klassifizieren. Trotzdem können sie von vielen Tierarten als Platz für Jungenaufzucht, Tages- oder Nachtversteck oder als Nahrungsdepot genutzt werden.
- Die Stammschäden sind größtenteils abiotischer Natur, wie etwa Steinschlag oder Fallschäden. Sie können in bestimmten Fällen zu Rindentaschen oder durch Pilzbefall zu Mulmhöhlen werden, die wichtige Lebensgrundlagen für viele Insekten bieten.
- Moos- und Flechtenbewuchs waren nur auf Bergahorn zu finden, was ihn trotz schwacher Dimensionen zu einem wichtigen Teil für die Biodiversität macht.
- Als „markante Wuchsform“ wurden Uraltbäume, starke Steilläste, Drehwüchse und übermäßig stark beastete Fichten klassifiziert, da hier diverse Lebensräume angeboten werden.

5.1.7.2 Kleinbiotope und Ameisenhaufen

Im Folgenden ist die Anzahl der kleinflächigen Sonderstandorte in Tabelle 12 und auch deren Verteilung in Abbildung 26 dargestellt.

Tabelle 12: Anzahl gefundener Kleinbiotope und Sonderlebensräume und Ameisenhaufen

Kleinbiotop	Anzahl/ha	Anzahl gesamt
Abiotische Naturgebilde (A)	16	31
Biotische Naturgebilde (B)	12	22
Feuchtbiotop (F)	2	3
Flächen mit historische Nutzungsform (H)	1	2
Fläche mit schützenswerten Tieren (T)	2	4
Fläche mit schützenswerten Pflanzen (P)	1	2
Waldrand/Hecke (W)	1	2
Sukzessionsfläche (Z)	5	10
Ameisenhaufen	11	21

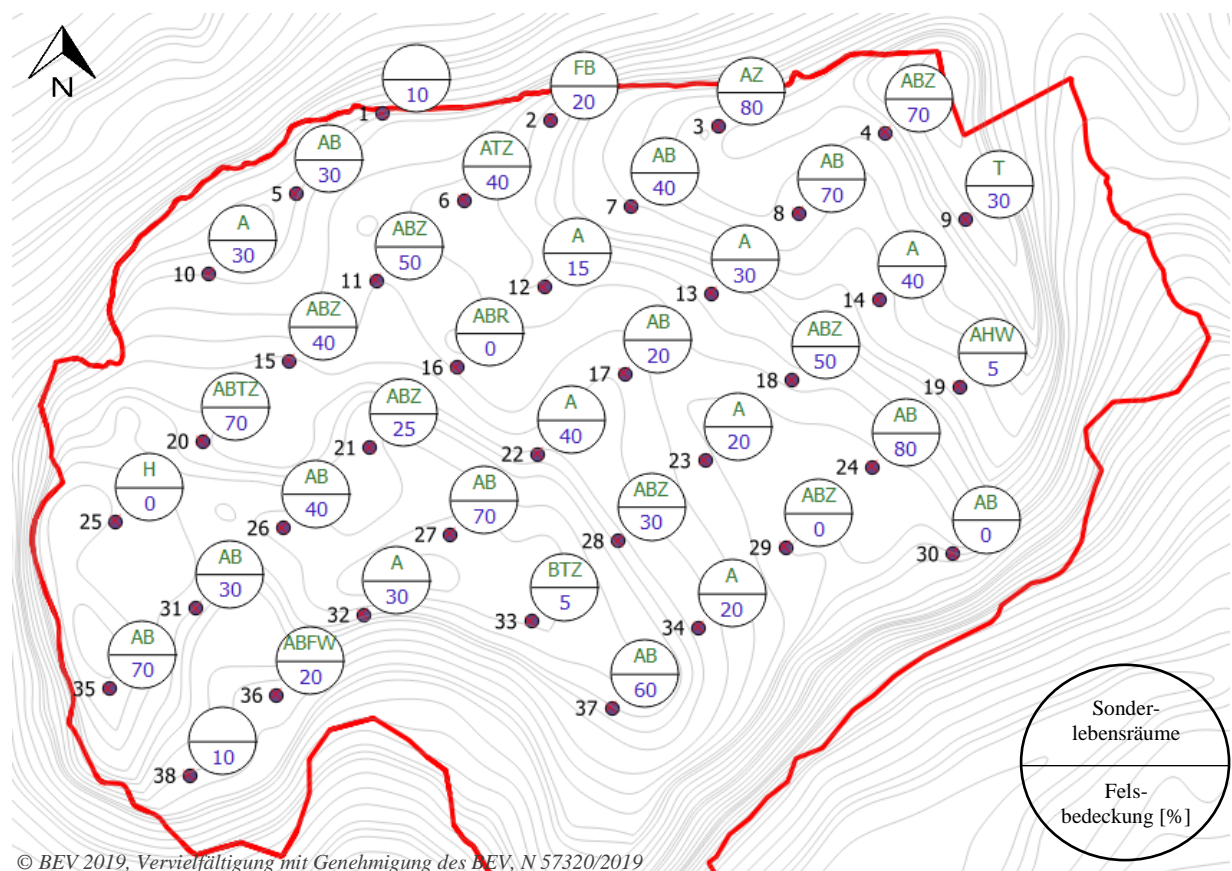


Abbildung 26: Verteilung der Kleinstrukturen und Sonderlebensräume (vgl. Tabelle 12) im Gebiet (oben) und Felsbedeckung in % (unten)

- An fast allen Stichprobepunkten konnten abiotische Naturgebilde identifiziert werden. Dies ist geländebedingt: die Karren stellen als tiefe Felseinschnitte in jedem Fall besondere Felsgebilde dar, die durch ihr Strukturreichtum an Nischen und Höhlen verschiedenste Lebensräume anbieten.
- Der Gerhardstein ist zudem reich an biotischen Naturgebilden. Dies liegt an der großen Menge an stehendem und liegendem sowie starkem Totholz (siehe Abschnitt 3.5.1) und auch einigen Baumriesen (BHD >100cm).
- Feuchtbiotope sind vor allem an sumpfigen Senken und den aufgelassenen Almen zu finden.
- Insgesamt befinden sich zwei aufgelassene Almen am Gerhardstein. Dort sind auch Waldrandstrukturen zu finden.
- An vier Punkten konnten eindeutige Auerwildspuren identifiziert werden und wurden deshalb als Flächen mit schützenswerten Tieren bezeichnet. Dort wurden entweder Auerwildlosung, Huderplätze oder Schlafbäume vorgefunden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass das gesamte Plateau als Auerwildbiotop gelten kann.
- Auf einer aufgelassenen Alm wurden Orchideenarten vorgefunden, die als schützenswerte Pflanzen einen Sonderstatus besitzen.
- Als Sukzessionsfläche wurden Windwurfflächen sowie alte Schlagflächen klassifiziert. Hier sind Überhälter und aufkommende Verjüngung sowie Vergrasung und Verkrautung zu finden.
- Ameisenhaufen sind am Gerhardstein sehr häufig. So wurde an 14 verschiedenen Probepunkten mindestens ein Ameisenhaufen gefunden.

5.1.8 Identifikation von Waldentwicklungsphasen

Die reichhaltige Struktur am Gerhardstein bezieht sich nicht nur auf die Geländeform, aufgrund der eingestellten Nutzung, Störungsereignissen und dem Bestandsalter lassen sich mehrere Sukzessionsphasen ableiten. Diese sogenannten idealisierten Waldentwicklungsphasen nach Leibundgut (1978) (vgl. Abbildung 27) geben Hinweise auf Biomasse, Mortalität, Stammzahl und artspezifische Schlüsselwerte. Um diese am Gerhardstein identifizieren zu können, werden Homogenbereiche als Standortseinheiten auf dem Plateau ausgeschieden, die sich in bestandes- und geländemorphologischer Hinsicht ähneln und daher voneinander abgrenzbar sind. Ausschlaggebend für die Waldentwicklung sind Standort (insbesondere Exposition), Störungsregime und Nutzungsüberprägungen sowie Bestandesmerkmale wie

Baumartenzusammensetzung, Bestandesstruktur und Verjüngung. Am Gerhardstein bietet sich eine Differenzierung möglicher Standortseinheiten durch die Beurteilung der Wuchsklasse (Alter, Zuwachs, Lebend- und Totholzvorräte) und die Exposition der Probeflächen an. Aufgrund der großräumigen Störung wird die etwa 30 ha große Windwurf- und Verjüngungsfläche im nordwestlichen Teil des Plateaus unabhängig davon bereits als ein Homogenbereich festgelegt.

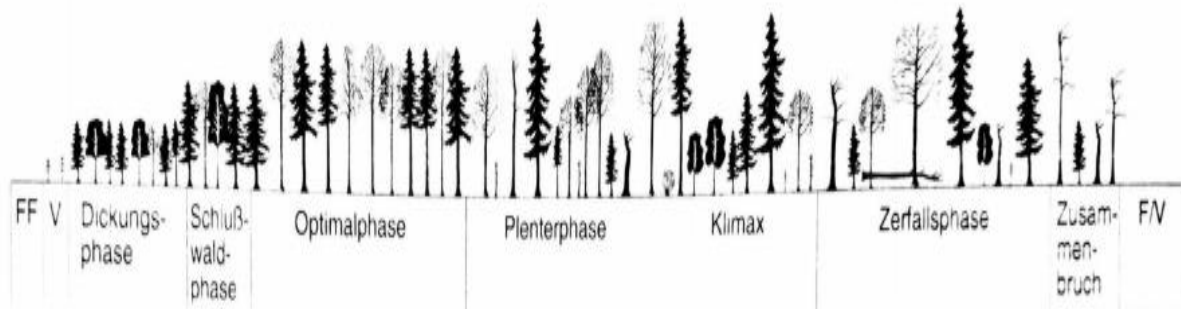


Abbildung 27: Waldentwicklungsphasen im Naturwald nach Scherzinger (1996, S. 131)

5.1.8.1 Wuchsklassen und Alter

Als ehemals bewirtschafteter Bestand und aufgrund flächiger Störungen, können am Gerhardstein nach wie vor Wuchsklassen identifiziert werden (vgl. Tabelle 13). Sie beschreiben den Entwicklungszustand des Waldes aus forstwirtschaftlicher Perspektive gemessen an den vorherrschenden mittleren BHD und weiteren bestandesmorphologischen Merkmalen, wie mittlere Höhe, Alter, Schichtung und Vorrat und Zuwachs.

Tabelle 13: Beschreibung der Wuchsklasse aus dem schlagweisen Hochwald nach Hasenauer et al. (2013)

<i>Wuchsklasse</i>	<i>Beschreibung</i>
<i>Blöße</i>	Waldboden ohne forstlichen Bewuchs mit einer Überschirmung von < 30 % und Freiflächen > 500 m ²
<i>Jungwuchs</i>	Ab Bestandesverjüngung bis zum Einsetzen des Bestandesschluss
<i>Dickung</i>	Ab Bestandesschluss bis zu einem mittleren BHD von 10 cm
<i>Stangenholz</i>	10 – 20 cm mittlerer BHD, maximale Wuchsleistung
<i>Baumholz</i>	Schwaches Baumholz: 20-35 cm mittlerer BHD Mittleres Baumholz: 35 – 50 cm mittlerer BHD Starkes Baumholz: > 50 cm mittlerer BHD
<i>Altholz</i>	Verjüngungsreifer Altbestand in Baumholzstärke, Zuwachsrückgang, erhöhte Mortalität

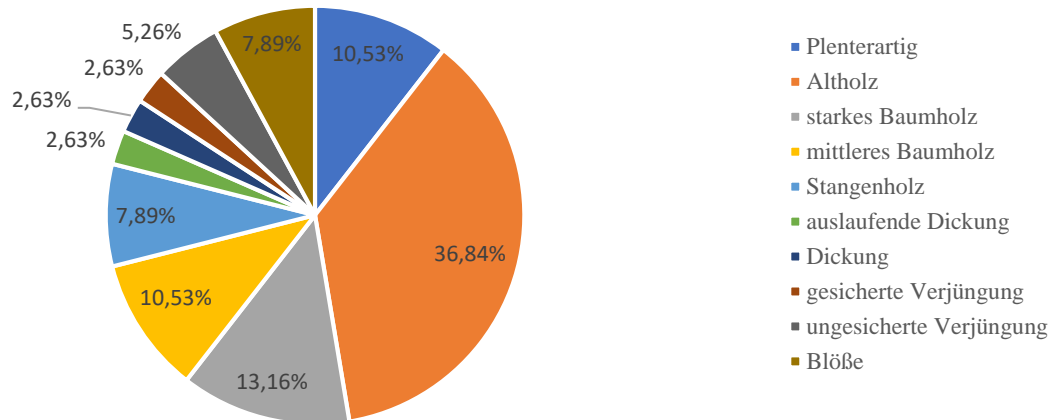


Abbildung 28: Aufteilung der Wuchsklassen (vgl. Tabelle 13) am Gerhardstein (n = 38)

Am Gerhardstein sind etwa 60% Stichprobenpunkte dem Altholz bis starkem und mittlerem Baumholz zuzuordnen. Etwa 22% stellen jüngere Bestände dar. Blößen (Freiflächen und Bestandeslücken), zumeist aufgrund von Windwürfen, ehemaligen flächigen Nutzungen oder frühere Beweidung, wurden an insgesamt drei Punkten (knapp 8%) vorgefunden. Als plenterartig wurden Flächen beschrieben, die Waldrandstrukturen (etwa an Windwurfflächen) aufweisen (vgl. Abbildung 28).

Am Gerhardstein herrscht insgesamt eine große Altersspanne vor. Die Auszählung der Jahrringe auf den Bohrkernen und Baumscheiben ergab eine Altersspreizung zwischen 0 und 282 Jahren. Das Operatsalter ist in vielen Beständen recht nah an der Erhebung aus der Jahrringanalyse (vgl. Abbildung 29). Die Abweichungen nach unten (etwa bei Stichprobenpunkt 29) lassen sich durch jüngere Windwürfe erklären. Der mit 282 Jahren älteste gemessene Baum (Fichte) befindet sich an Punkt 39 im Bereich Sack.

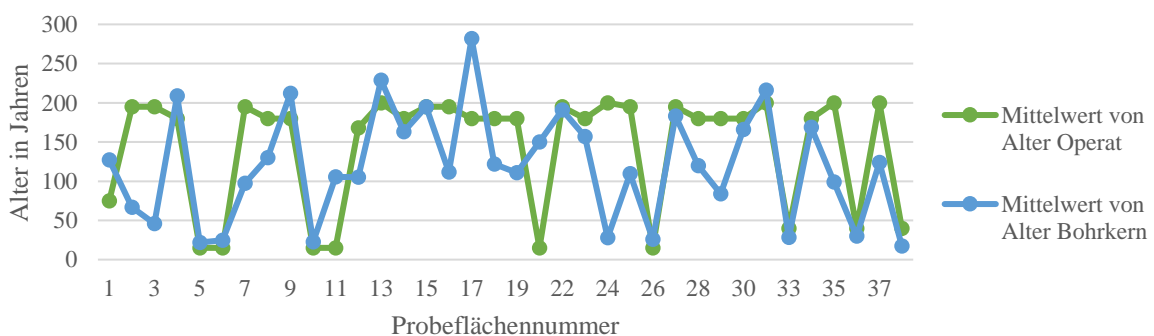


Abbildung 29: Abweichung der Operatsalter von dem ermittelten Alter aus den Bohrkernen

Die okular bestimmte, morphologische Wuchsklasse muss im Fichten-Bergwald nicht zwangsläufig mit dem Bestandesalter korrelieren. Wie Scherzinger (1996) die Dynamik im Bergfichtenwald beschreibt, sind jene Waldgebiete klimatisch benachteiligt und tendieren zu Fichtenreinbeständen mit einer geringen Diversität, was bereits bestätigt werden konnte. Sie zeigen häufig einen gleichförmigen Aufbau und wirken selbst bei großen Altersunterschieden einschichtig mit einer starken Verlichtung. Daher geben Altersbohrungen nur Hinweise auf die vorherrschenden Sukzessionsphasen. In Abbildung 30 sind die Wuchsklassen mit der Verteilung der ermittelten Altersklassen aufgeführt. Die große Altersdifferenzierung innerhalb der einzelnen Wuchsklassen (z.B. Altholz zwischen 101 und 200 Jahren) ist im Bergfichtenwald aufgrund des gleichförmigen Aufbaus nicht überraschend.

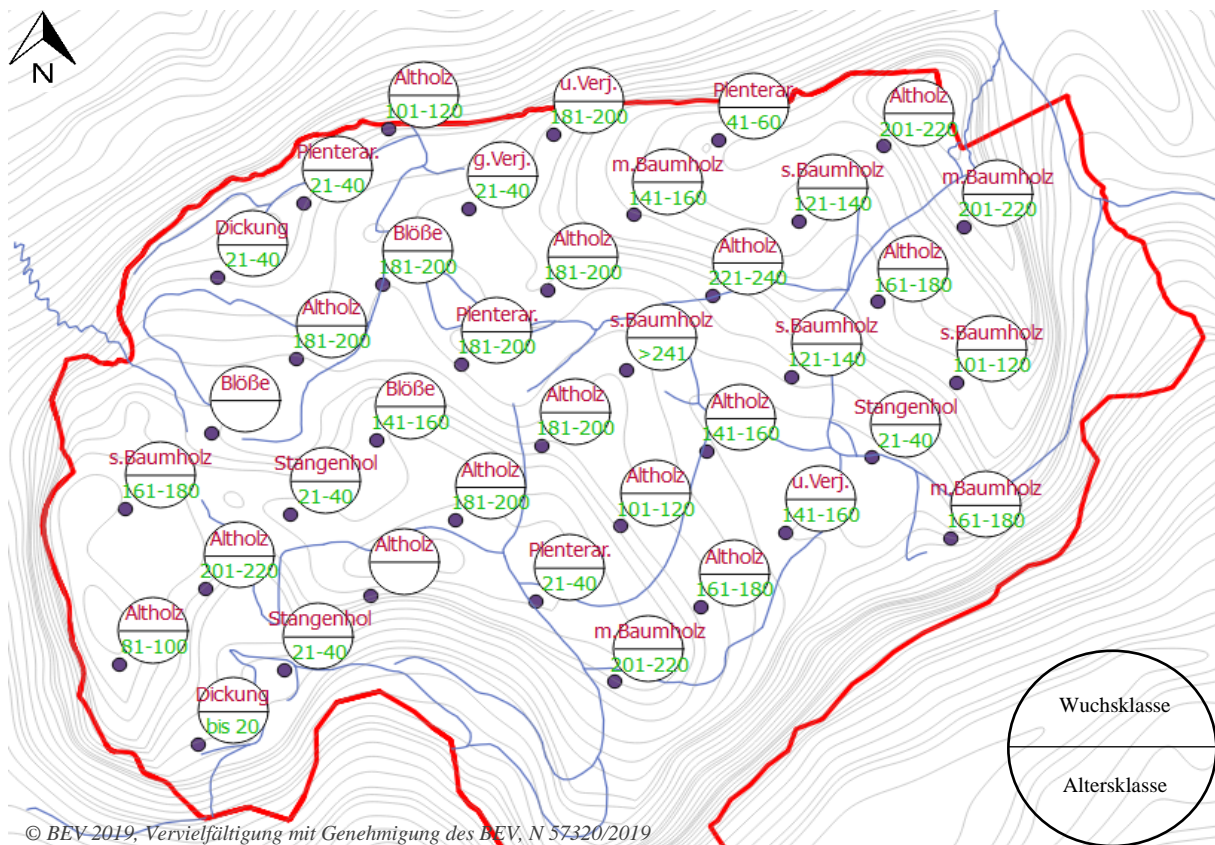


Abbildung 30: Verteilung der Alters- und Wuchsklassen (vgl. Tabelle 13) am Gerhardstein

Die Einteilung in Wuchsklassen nach bestandsmorphologischen Merkmalen lässt Rückschlüsse auf die Konkurrenzsituation am Standort zu. Diese besitzt (gemeinsam mit den Standortmerkmalen) im subalpinen Fichtenwald einen größeren Einfluss auf die Sukzession als das Alter. So können vermeintliche Jungfichten aufgrund von Klima und Konkurrenz bereits bis zu 250 Jahre alt sein (Scherzinger 1996). Daher werden die in den Felderhebungen

angesprochenen Wuchsklassen als geeignete Differenzierung der einzelnen Punkte angesehen. Am Nordhang im südlichen Teil des Plateaus kommen viele nebeneinanderliegende Altholz-Punkte vor, während am nördlichen Südhang mehr zusammenhängendes Baumholz als Wuchsklasse vorherrscht. Im Westen sind die Wuchsklassen (bis auf die Jungbestände um die Windwurffläche herum) sehr fragmentiert.

5.1.8.2 Wuchsklasse und Zuwachs

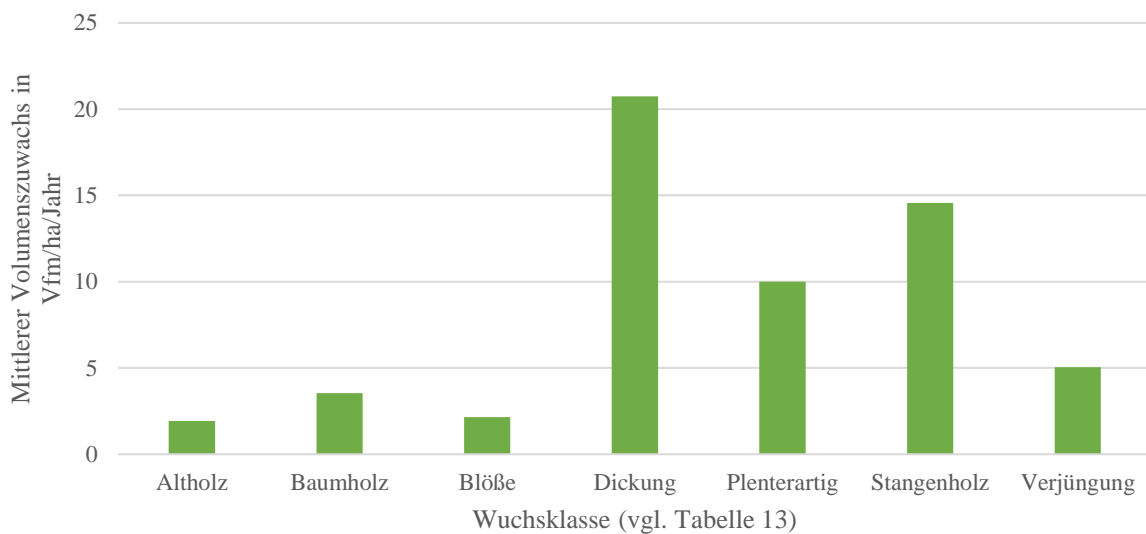


Abbildung 31: mittlerer Volumenzuwachs/ha/Jahr nach Wuchsklasse und Stichprobenpunkt

Der durchschnittliche 10-jährige Radialzuwachs aus den Bohrkernen beträgt 1,8 cm. Der durchschnittliche gemittelte Radialzuwachs der Stammscheiben aus dem 50 m² Probekreis liegt bei 12,8 cm in den letzten 10 Jahren. Im 25 m² Probekreis liegt der gemittelte Radialzuwachs durchschnittlich bei 0,39 cm. Dabei variieren die Zuwächse innerhalb der Wuchsklassen sehr stark. Im Altholz bewegen sich die Zuwächse zwischen 1,3 mm bis 18,2 mm. Die Jungbestände (Verjüngung, Dickung und Stangenholz) variieren zwischen 12,9 mm bis 49,3 mm. Der durchschnittliche Volumenzuwachs beträgt im Altholz 1,93 Vfm/ha/Jahr (\pm 1,33 Vfm/ha/Jahr) mit maximal 4,7 Vfm/ha/Jahr (Probefläche 35). In Jungbeständen bewegt er sich zwischen 1,77 Vfm/ha/Jahr und 22,68 Vfm/ha/Jahr und beträgt durchschnittlich 5,05 Vfm/ha/Jahr (\pm 5,3 Vfm/ha/Jahr). Der mittlere Volumenzuwachs/ha/Jahr nach Wuchsklasse zur Identifikation von homogenen Standortseinheiten ist in Abbildung 31 dargestellt.

5.1.8.3 Wuchsklasse und Totholzvorrat

In der natürlichen Waldentwicklung durchläuft ein Urwald (als Musterbeispiel für naturnahe Waldentwicklung) sehr totholzreiche (Zerfall und Zusammenbruch) und auch sehr totholzarme Phasen (Kronenschluss im Baumholz) (Scherzinger 1996) Daher ist eine Auswertung des lebenden Vorrats und des Totholzanteils in den einzelnen Wuchsklassen ein guter Weiser für die tatsächliche Sukzessionsphase (vgl. Abbildung 32).

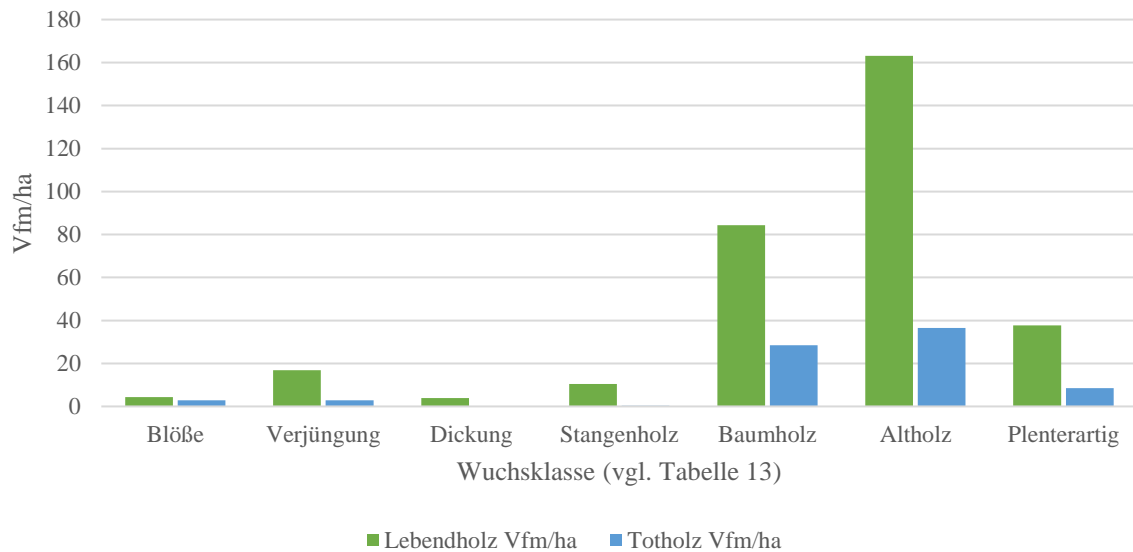


Abbildung 32: Gegenüberstellung Lebendholzvorrat und Totholzvorrat in Vfm/ha in den Wuchsklassen

Der vorhandene Totholzanteil am Lebendholzvorrat in Blöße und Verjüngung lässt sich mit dem Totholz der vorangegangenen Baumgeneration und Überhältern erklären. Im Dickungs- und Stangenholzstadium ist der Totholzanteil fast gleich 0 ab. Der Totholzvorrat in älteren Bestandesteilen ist mit maximal 36 Vfm/ha deutlich höher. Obwohl der Anteil des Totoholzes am Lebendvorrat im Altholz niedriger ist, kommt fast die Hälfte (45,76%) des Totholzes in Altbeständen vor. Im Baumholz befindet sich ca. 36% des gesamten Totholzes. Rund 1/5 verteilt sich auf die jüngeren bzw. plenterartigen Bestände.

5.1.8.4 Standortseinheiten am Gerhardstein und deren Entwicklungsphase

Auf Grundlage der Exposition und der Charakterisierung der Wuchsklassen werden drei Homogenbereiche unterschieden, die mit MOSES genauer untersucht werden.

1. Standorteinheit (SE1): Baumholz am Südhang
(Stichprobenpunkte: 7, 8, 9)
2. Standorteinheit (SE2): Altholz am Nordhang
(Stichprobenpunkte: 22, 23, 28, 34)
3. Standorteinheit (SE3): Windwurffläche im Nordwesten
(Stichprobenpunkte: 5, 6, 11)

Diese haben sich seit Einstellung der Nutzung bzw. nach dem Störereignis im Hinblick auf Standorts- und Bestandesmerkmale vermutlich ähnlich entwickelt. SE 3 ist als Windwurffläche naturgemäß durch kleinere BHD und einen jüngeren Bestand (= höherem Zuwachs) charakterisiert und somit unterscheidbar von den anderen Homogenbereichen. SE 1 und 2 lediglich durch ihre Exposition zu differenzieren, da Alter, Zuwächse und Totholzanteile sehr ähnlich sind. Sie unterscheiden sich auf Bestandesebene nur durch die visuelle Ansprache der Wuchsklasse im Feld und auch die BHD-Verteilungen von Nord- und Südhang sind signifikant verschieden wie auch Chi-Quadrat-Test beweisen konnte.

Es ist davon auszugehen, dass sich Nord- und Südhang am Ende der Bewirtschaftung in der Optimal- oder Plenterphase befunden haben, da hier am meisten lebende Biomasse und am wenigsten Totholz vorrätig ist. Das bedeutet, dass diese nun wahrscheinlich entweder in der Klimax- oder bereits in der Zerfallsphase sind.

5.2 Entwicklungstendenz

Eine fundierte Einordnung der derzeitigen Sukzessionsphasen und einen Ausblick auf die Bestandesentwicklung allgemein ist durch die Bestandessimulation in MOSES möglich. Für den Gerhardstein ergibt sich aus der Ungleichaltrigkeit die Notwendigkeit für die Benutzung eines Einzelbaumwachstumsmodells, um auf diese Weise anhand der Veränderungen einzelner Bäume eine Entwicklungstendenz für den gesamten Bestand ableiten zu können. Das Importfile für das MOSES Framework basiert auf vielen Daten und Analysen aus den Ergebnissen der Naturrauminventur 2018. Dazu gehören sämtliche Baumhöhen und Kronenansätze und die Oberhöhen-Bonität („Site Index“). Im Zuge der Auswertung der Felderhebungen wurden bereits Höhenkurven erstellt, fehlende Kronenansätze berechnet sowie der Site Index bestimmt.

5.2.1 Validierung des Modells

Zunächst wurde das Wachstum aller Bestände in MOSES für eine Periode (= 5 Jahre) simuliert. Dann wurden diejenigen Bäume identifiziert, deren Zuwachs auch im Feld gemessen wurde. Insgesamt wurden 59 solcher Bäume aus allen 3 Probekreisen identifiziert. So kann auch die Modellierung kleinerer Durchmesser (< 10 cm) validiert werden. Nun wurden die Residuen für jeden Baum berechnet und statistisch ausgewertet.

Tabelle 14: Zusammenfassung der statistischen Auswertung der Residuen (Δ 5-jähriger-Durchmesser-Zuwachs (Simulation - Beobachtung))

<i>n</i>	<i>D_{min}</i>	<i>D_{max}</i>	<i>Q₁</i>	<i>Median</i>	<i>Q₂</i>	<i>\bar{D}</i>	<i>σ^2</i>	<i>σ</i>
59	-2,5	3,4	-0,4	0,25	1,46	0,32	2,42	1,56

In den Abbildungen 33, 34 und 35 sind die Residuen gegen BHD, Höhe und Site Index nach der Entfernung von Ausreißern grafisch dargestellt. Die Verteilung der Residuen zeigt, ob das Modell den wahren Durchmesser-Zuwachs über- oder unterschätzt. Es ist zu erkennen, dass das Modell nur größere BHD und Höhen minimal überschätzt. Die größte negative Abweichung beträgt -5,4 cm auf der Probefläche 33 – diese wurde als Ausreißer entfernt. Es handelt sich bei dieser Fläche um einen plenterartigen Bestand mit diversen Sukzessionsphasen. Es ist davon auszugehen, dass der gebohrte Zentralstamm nicht dem von MOSES kalkuliertem virtuellen Alter entspricht und daher höhere Zuwächse zeigt. Nun beträgt die größte negative Abweichung – 2,5 cm am Stichprobenpunkt 18. Die größte Überschätzung liegt bei 3,4 cm auf der Probefläche 1.

Die statistische Auswertung bestätigt, dass das Modell vertrauenswürdige Ergebnisse ohne signifikante Abweichungen liefert (vgl. Tabelle 14). Damit ist es anwendbar.

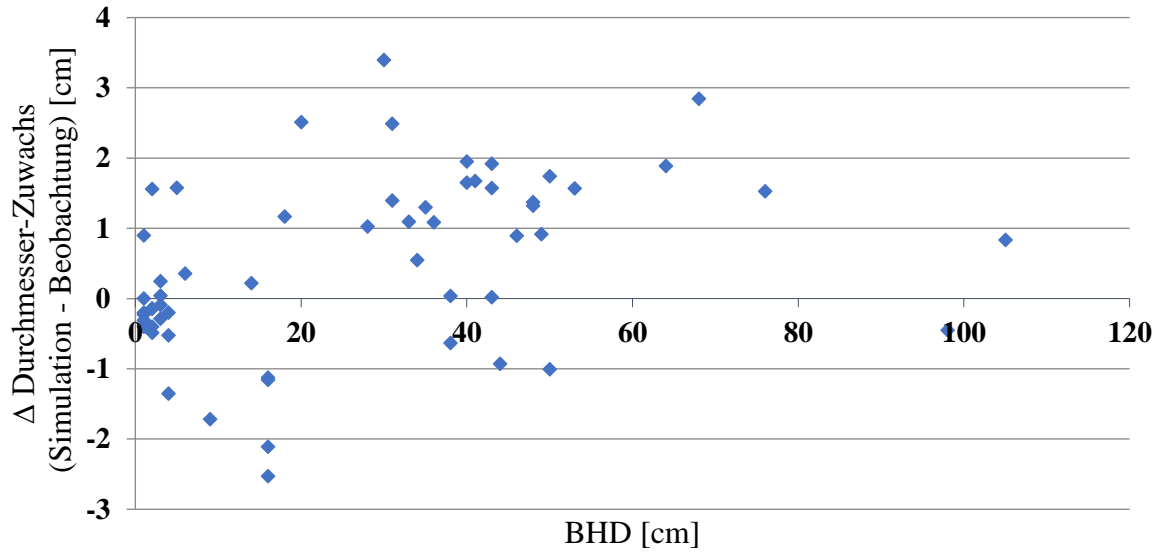


Abbildung 33: Residuen des 5-jährigen Durchmesser-Zuwachses (y-Achse) über BHD (x-Achse), $n = 59$

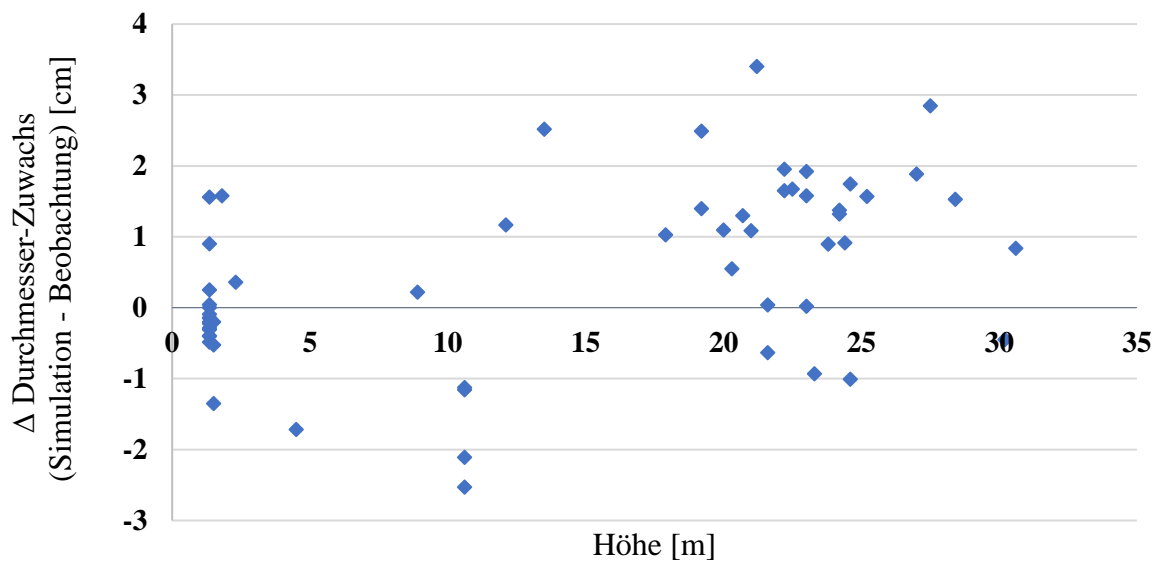


Abbildung 34: Residuen des 5-jährigen Durchmesser-Zuwachses (y-Achse) über die Höhe (x-Achse), $n = 59$

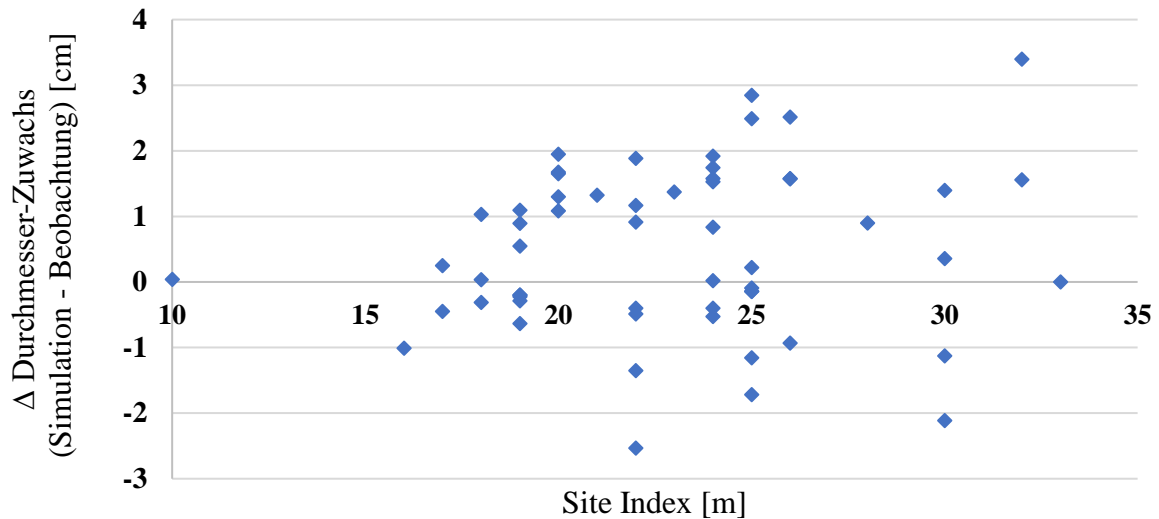


Abbildung 35: Residuen des 5-jährigen Durchmesser-Zuwachses (y-Achse) über den Site Index (x-Achse), $n = 59$

5.2.2 Waldentwicklung

In der Abbildung 36 ist die Vorratsentwicklung der nächsten 5 Simulationsperioden (25 Jahre) am gesamten Gerhardstein sowie für die identifizierten Standortseinheiten (vgl. Kapitel 5.1.8.4) graphisch dargestellt. Es werden alle Bäume inklusive Verjüngung berücksichtigt. Die Vorräte von 2018 sind bereits mit MOSES bis zum Ende der Periode simuliert, sodass sie sich von den Felderhebungen unterscheiden. Die Verjüngung wurde mittels Einwuchs generiert, sodass sie erst ab dem Zeitpunkt berücksichtigt wird, an dem sie die Höhe von 1,3 m überschreitet.

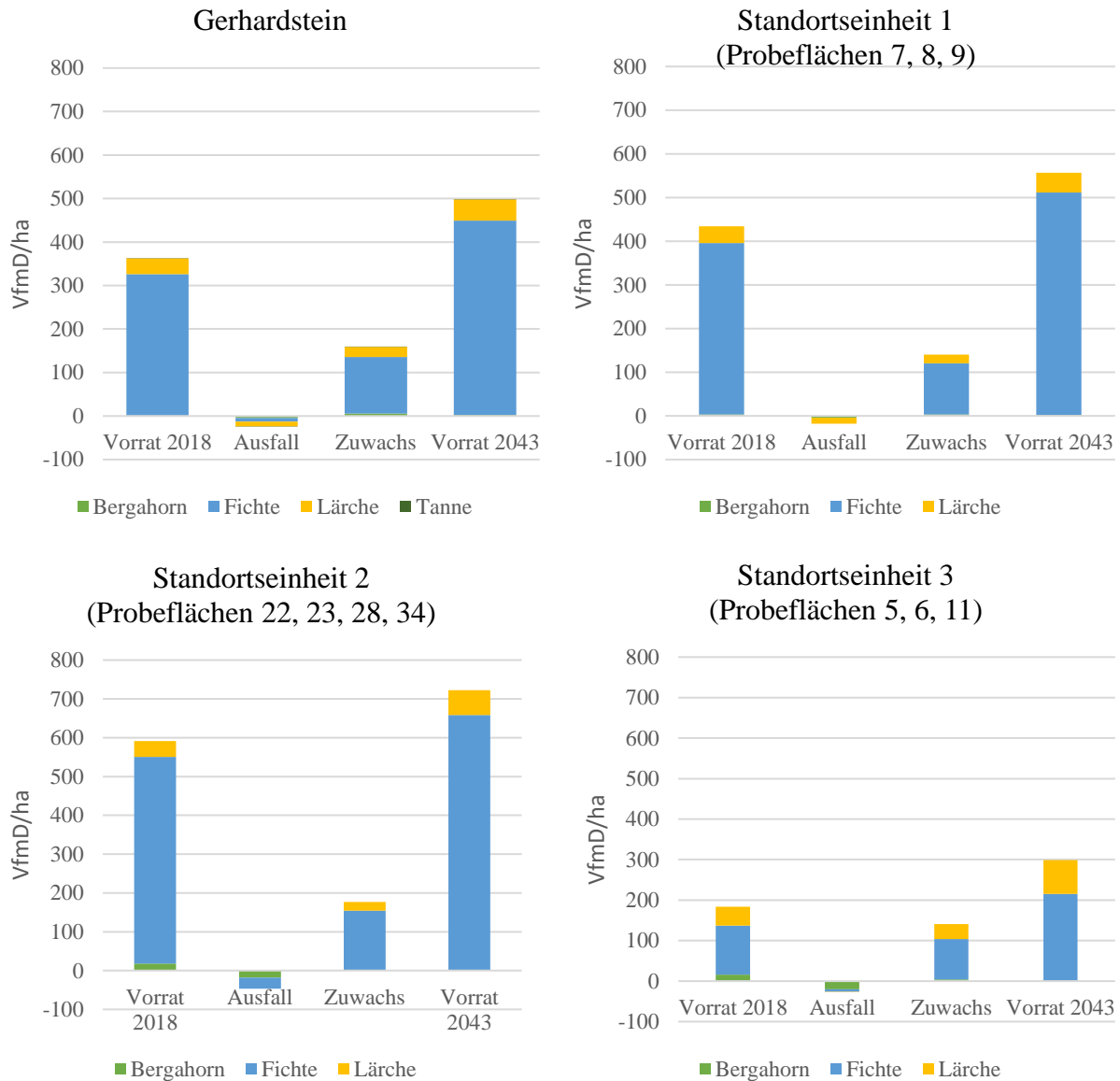


Abbildung 36: Vorratsentwicklung über 25 Jahre am Gerhardstein und den Standortseinheiten in Vfm Derbholz pro ha

Am Gerhardstein stocken am Ende der 0. Simulationsperiode (2018) laut Modell durchschnittlich 363 (± 208) Vfm/ha. Dieser steigt im Simulationszeitraum bis 2043 stark an auf knapp 500 (± 224) VfmD/ha (+ 38 %). Außer für die Tanne nehmen die Vorräte aller Baumarten zu. Die Baumartenanteile ändern sich nicht (ca. 90 % Fichte, 9 % Lärche, 1% Tanne und Bergahorn).

Der Gesamtvorrat der Standortseinheit 3 ist mit 183 (± 46) VfmD/ha erwartungsgemäß geringer. In den nächsten 25 Jahren steigt der Vorrat auf knapp 300 (± 13) VfmD/ha, wobei es zu einem Totalausfall von Bergahorn kommt. Dieser war 2018 noch mit einem Anteil von 9 % am Gesamtvorrat vertreten. Die Tanne kommt hingegen gar nicht vor. Den größten Zuwachs

hat die Lärche mit einem Zuwachs von 46 VfmD/ha auf knapp 84 VfmD/ha. Die Baumartenanteile sind am Ende der Simulation 72 % Fichte und 28 % Lärche.

In den Standortseinheiten (SE) 1 und 2 steigt der Vorrat im Baumholz (SE 1) um 28 % von 434 (± 92) VfmD/ha auf 557 (± 139) VfmD/ha und im Altholz (SE 2) um 22 % von 591 (± 187) VfmD/ha auf 722 (± 163) VfmD/ha. An beiden Standorten sinkt der Bergahornvorrat – im Altholz fällt er sogar ganz aus. Mit rund 90 % ist die Fichte jeweils die bestandesbildende Baumart (rund 90 %) mit beigemischter Lärche (rund 10 %).

Einen wichtigen Indikator für die Beurteilung der Waldentwicklungsphasen ist der Volumenzuwachs. Dieser wurde als Derbholz-Zuwachs für die drei Standortseinheiten für 50 Jahre simuliert. Den starken Anstieg in Periode 1 kann man vernachlässigen, da dieser aus dem Einwuchs der Verjüngung entsteht. Zwischen den Standorten sind sehr unterschiedliche Verläufe erkennbar. So steigt der Zuwachs auf der SE 3 auf über knapp über 60 VfmD/ha (vgl. Abbildung 37), während er auf der SE 1 zunächst sinkt (vgl. Abbildung 38) und sein Maximum wohl 2063 mit etwas über 35 VfmD/ha erreicht. In den Altholzbeständen von SE 2 geht der Zuwachs von knapp 40 VfmD/ha fast kontinuierlich auf knapp 30 VfmD/ha zurück (vgl. Abbildung 39).

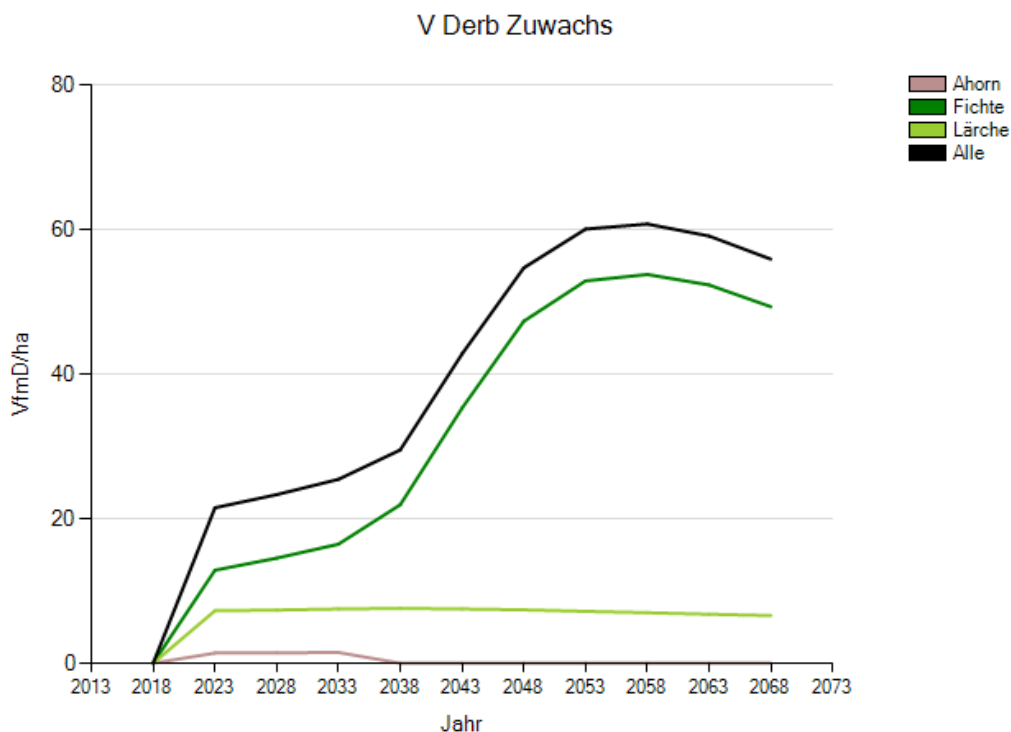


Abbildung 37: VfmD-Zuwachs/ha in der Standortseinheit 3 (Probeflächen 5, 6, 11)

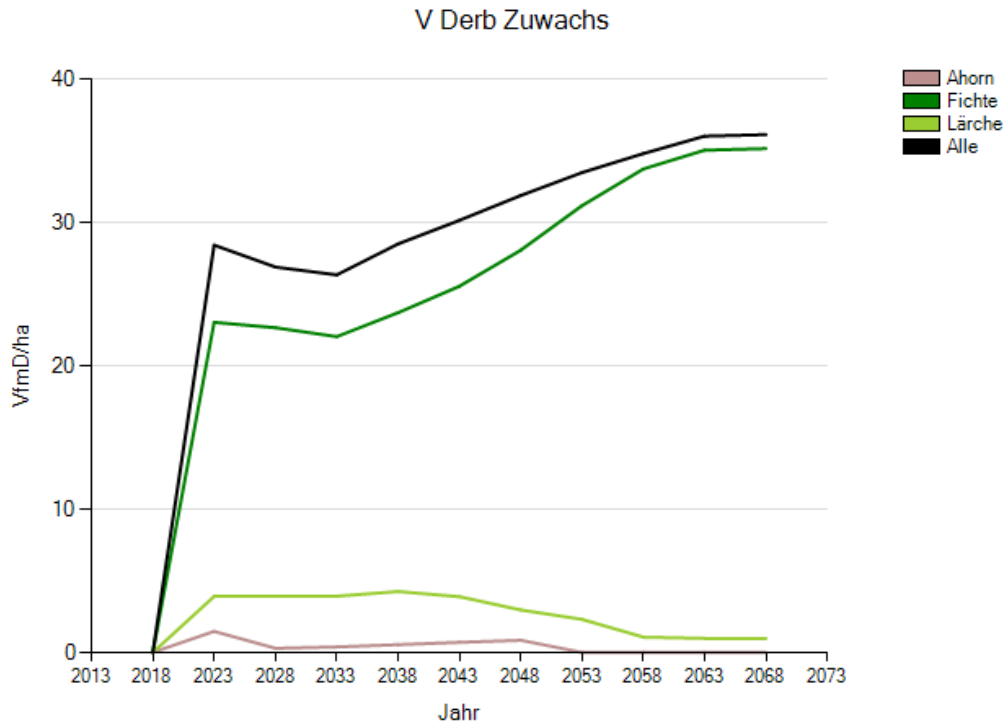


Abbildung 38: VfmD-Zuwachs/ha in der Standortseinheit 1 (Probeflächen 7, 8, 9)

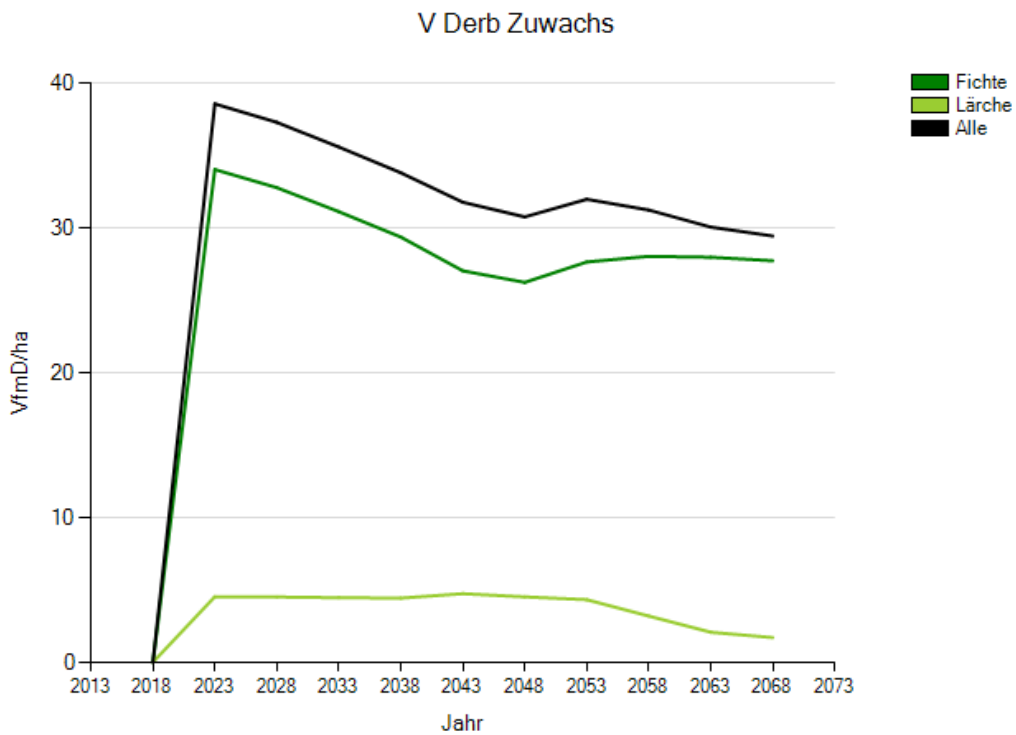


Abbildung 39: VfmD-Zuwachs/ha in der Standortseinheit 2 (Probeflächen 22, 23, 28, 34)

5.2.3 Entwicklung der Bestandesstruktur

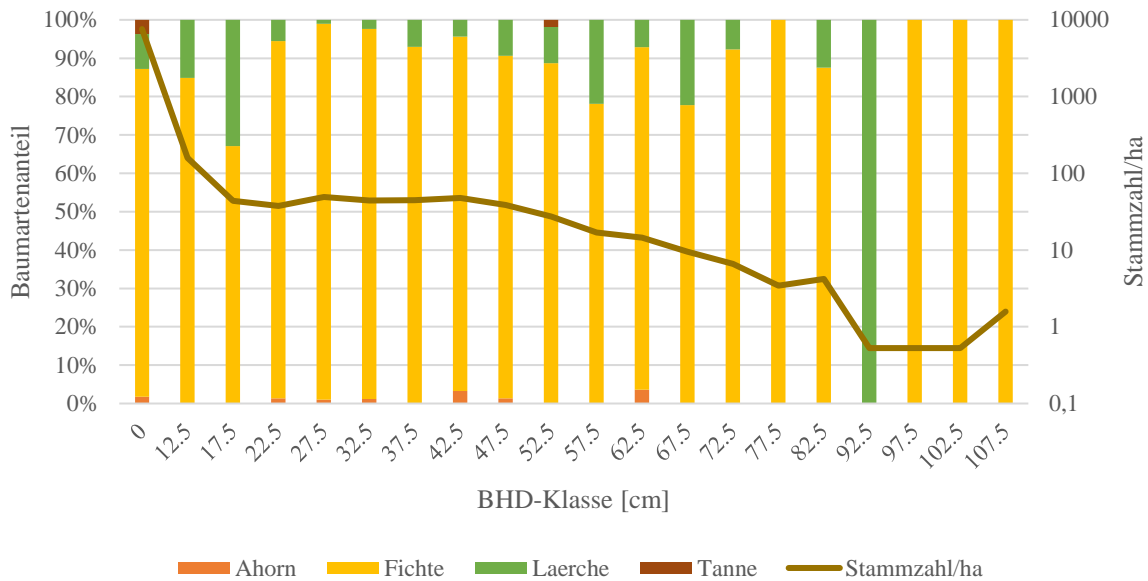


Abbildung 40: Simulierte Baumartenanteile und Stammzahl/ha nach BHD-Klassen für das Jahr 2043

Die Darstellung der BHD- und Stammzahlverteilung beinhaltet Bäume aller Durchmesser, wobei die Durchmesserklasse 0 alle Bäume unter 10 cm BHD sowie die Verjüngung enthält. Die ohnehin schon geringe Diversität am Gerhardstein nimmt weiterhin ab (vgl. Abbildung 40). Von den ursprünglich sechs Baumarten setzen sich nur vier über den Zeitraum von 25 Jahren durch, wobei die Fichte in allen BHD-Klassen (außer 90-94,9 cm) dominiert. Die Lärche ist in fast allen BHD-Klassen vertreten – nur bei den höchsten Durchmessern ab 95 cm fällt sie aus. Die Tanne tritt im Jungwuchs (bzw. bei den Bäumen < 10 cm BHD) und in den mittleren BHD auf. Bergahorn spielt bis zum BHD 64,9 cm eine untergeordnete Rolle.

Die Stammzahlentwicklung von 2018 bis 2043 für Bäume ab einem BHD von 10 cm steigt spätestens ab 2033 stark an (vgl. Abbildung 41). Dieser Trend ist insbesondere für die Standortseinheit 3 (Probeflächen 5, 6, 11) zu erkennen. Dort verzwanzigfacht sich die Stammzahl/ha auf knapp 6000, was weit über dem Durchschnitt liegt. In den Standortseinheiten 1 (Probeflächen 7, 8, 9) und 2 (Probeflächen 22, 23, 28, 34) steigt die Stammzahl/ha lediglich minimal auf etwas über 500 an. Der mittlere H/D-Wert entwickelt sich in ähnlicher Weise. Er sinkt bis 2038 von 58,5 auf 57,1 minimal ab, um dann wieder stärker auf 58,9 anzusteigen. Auf der Windwurffläche erreicht er dann sogar 61. Im Altholz bleibt er über den gesamten Simulationszeitraum annähernd gleich zwischen 55,6 und 55. Der Bestand bleibt also vorerst stabil.

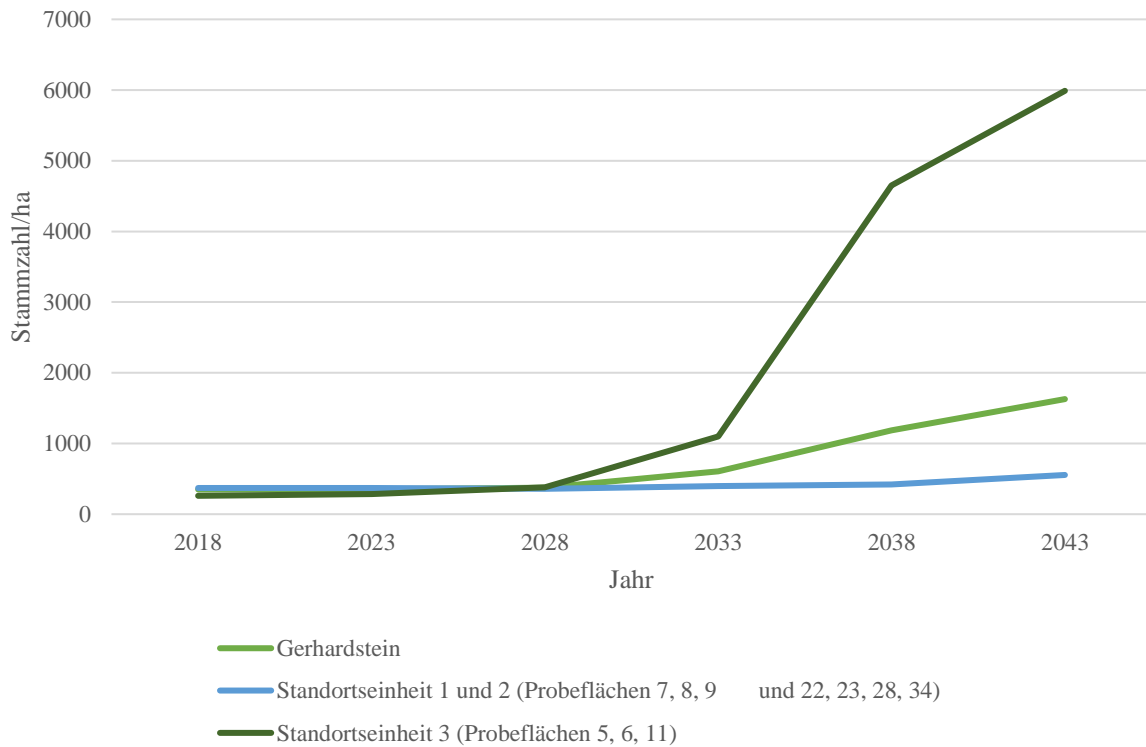


Abbildung 41: Stammzahlentwicklung/ha über den Simulationszeitraum am Gerhardstein und in den identifizierten Standortseinheiten

Der Aggregationsindex nach Clark und Evans (vgl. Formel 7) für Bäume ab einem BHD von 10 cm ergibt nur noch 0,53. Dabei weisen alle Stichprobenpunkte einen Wert < 1 auf. Die Flächen, die 2018 noch den höchsten (Probefläche 26) bzw. den niedrigsten (Probefläche 6) Index aufwiesen, liegen nun bei 0,74 (2018: Windwurffläche) und 0,52 (2018: Stangenholz). Während sich die aufkommende Verjüngung auf der Windwurffläche in Richtung zufällige Verteilung entwickelt (vgl. Abbildung 42 und 43), bilden sich im ehemaligen Stangenholz die typischen geklumpten Rottenstrukturen eines subalpinen Fichtenwaldes aus (vgl. Abbildung 44 und 45). In MOSES 3.0 kann ein Probekreis grafisch dargestellt werden. Die Durchmesser der Bäume repräsentieren dabei verhältnismäßig den BHD. Die Füllung der Kreise zeigt die Baumart (grün: Fichte, khakigrün: Lärche, schraffiert: Bergahorn). Rote Kreise repräsentieren Bäume, die ausfallen werden. Pinke Kreise repräsentieren Bäume mit einem HD-Wert > 80 . Neben der räumlichen Struktur kann hier auch die veränderte Baumartenzusammensetzung erkannt werden. Am Stichprobenpunkt 6 ergibt sich in 50 Jahren ein hoher Anteil mit Bergahorn mit geringen Durchmessern. Die Fichten, die schon im Jahr 2018 wahrscheinlich als Überhälter dort standen, entwickeln sich größtenteils weiter. Auch in der Verjüngung kommen erste Fichtengruppen unter dem Ahorn auf. Auch am Stichprobenpunkt 26 sieht man eine leicht

veränderte Baumartenzusammensetzung, da sich im lichterem Bereich in der Simulation Lärche etabliert, wo vorher nur Fichte in der herrschenden Schicht stand.

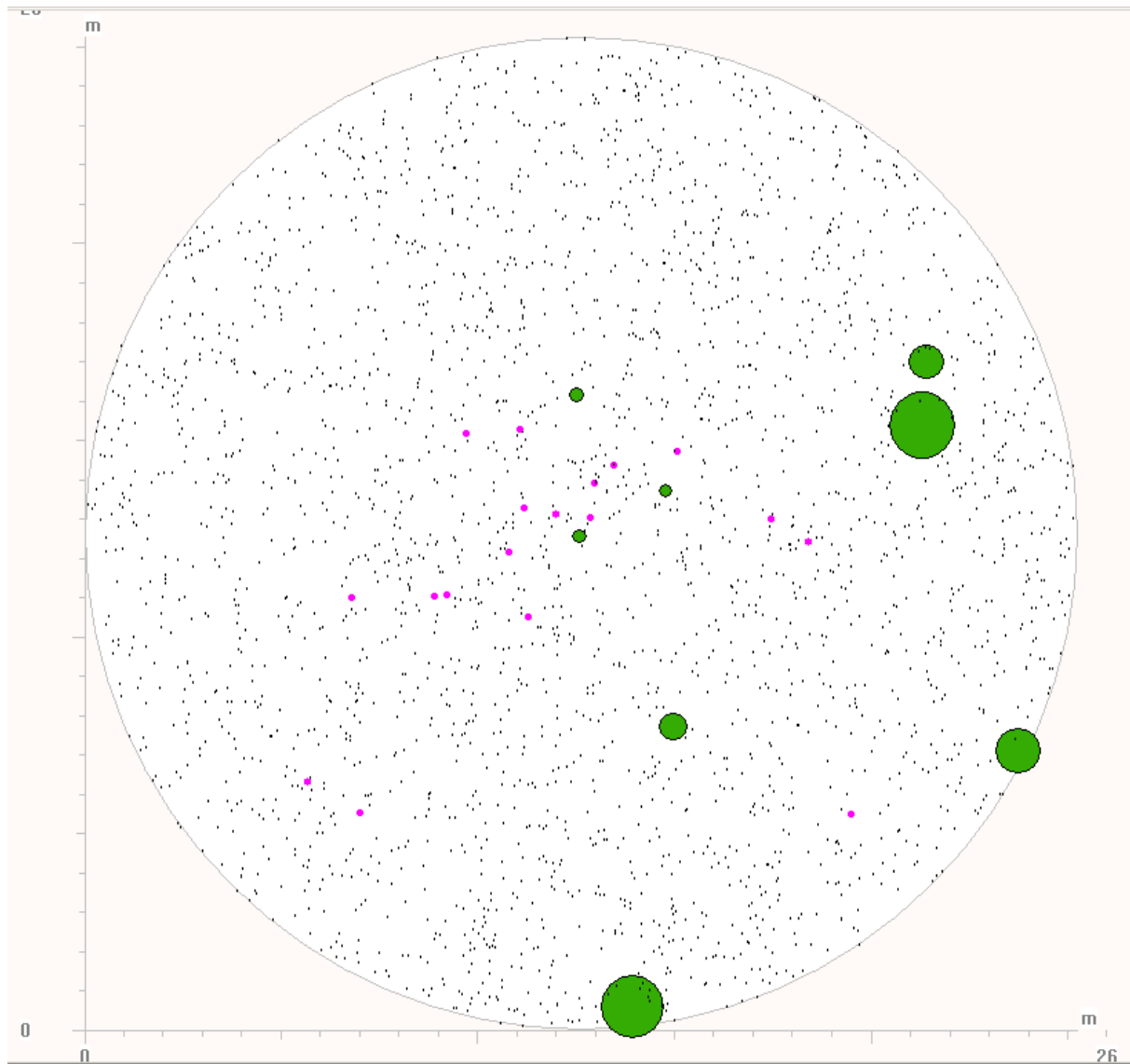


Abbildung 42: Visualisierung der Probefläche 6 im Jahr 2018 mit MOSES 3.0 (Screenshot)

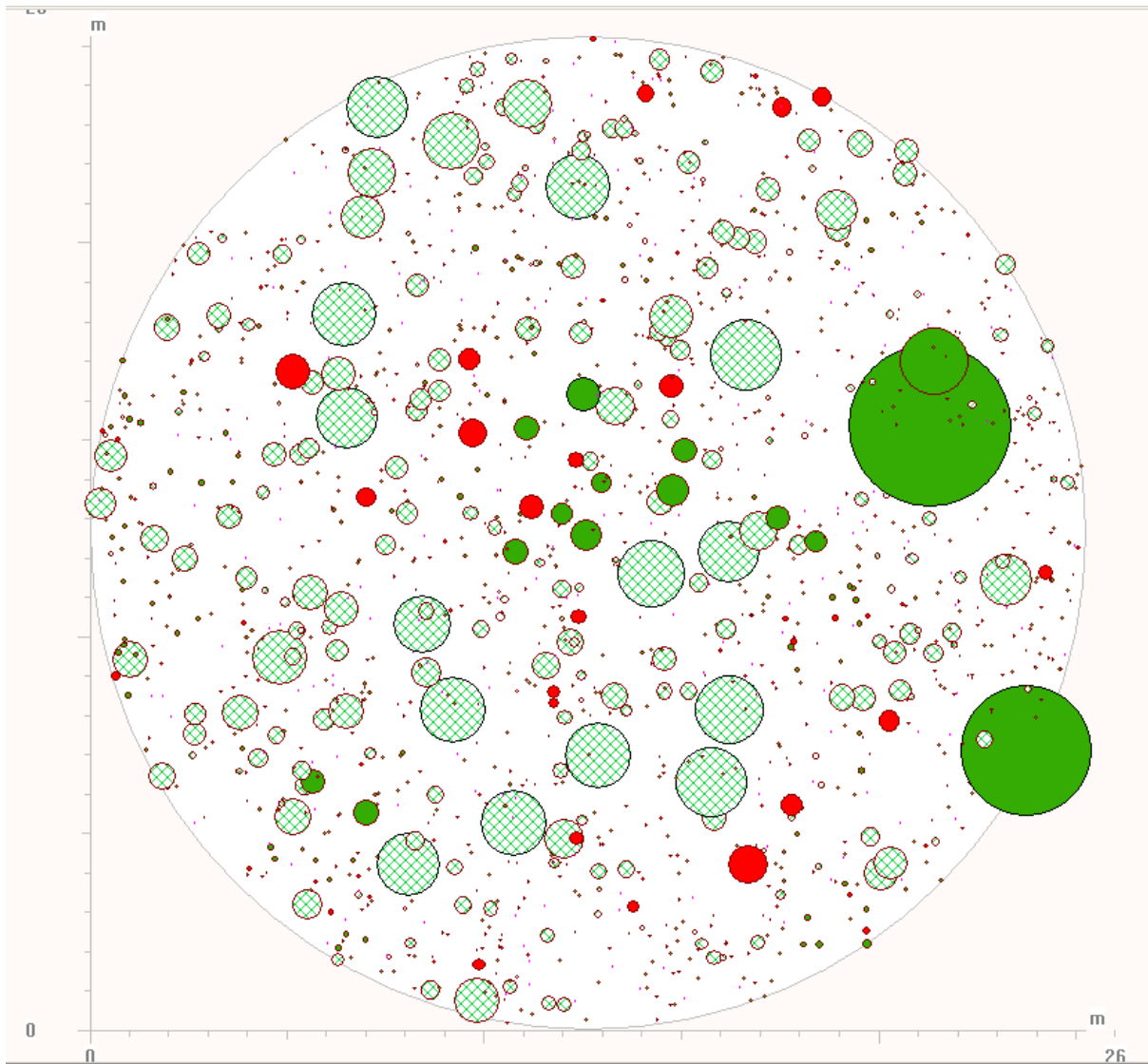


Abbildung 43: Visualisierung der Probefläche 6 im Jahr 2068 mit MOSES 3.0 (Screenshot)

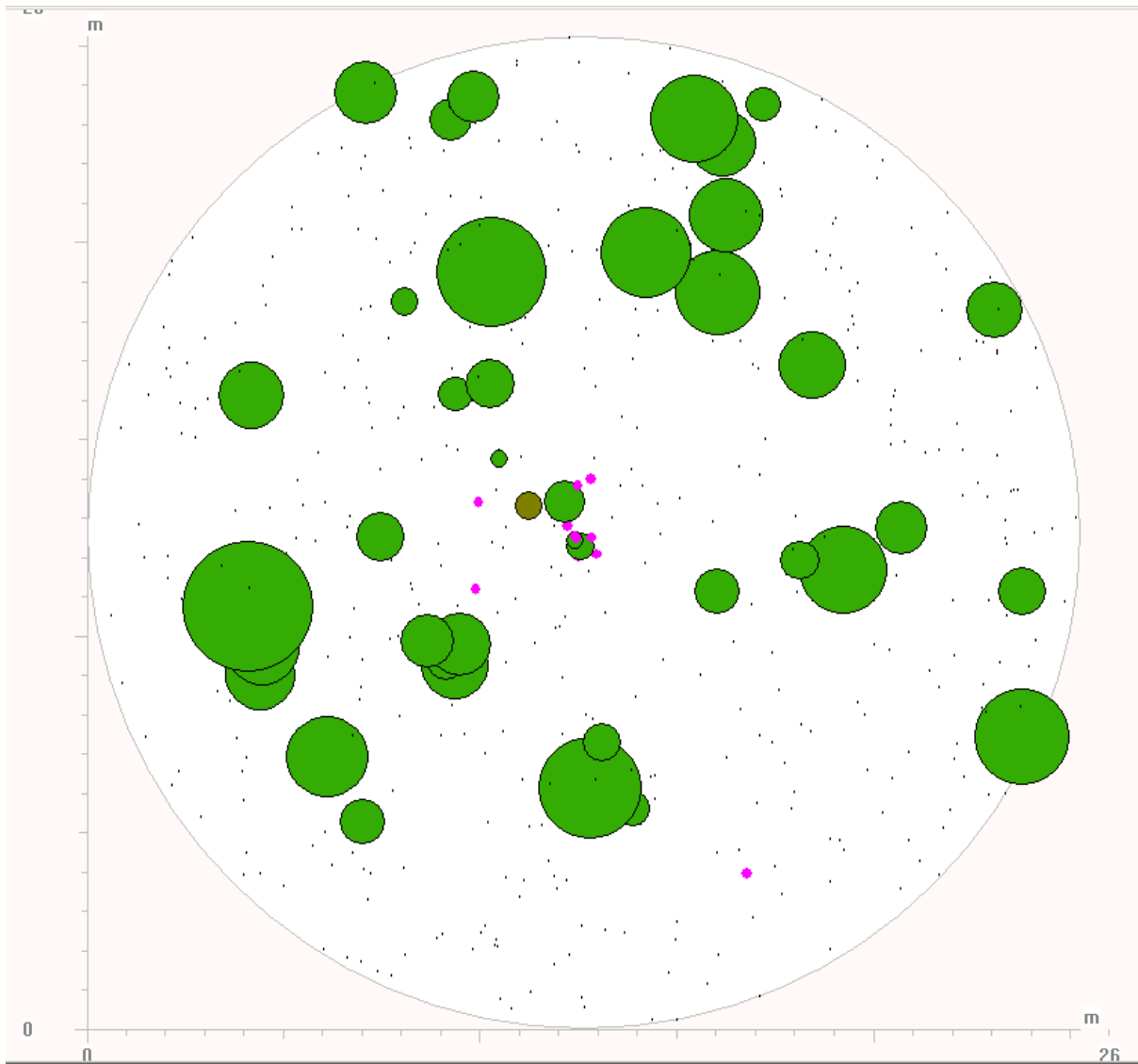


Abbildung 44: Visualisierung der Probefläche 26 im Jahr 2018 mit MOSES 3.0 (Screenshot)

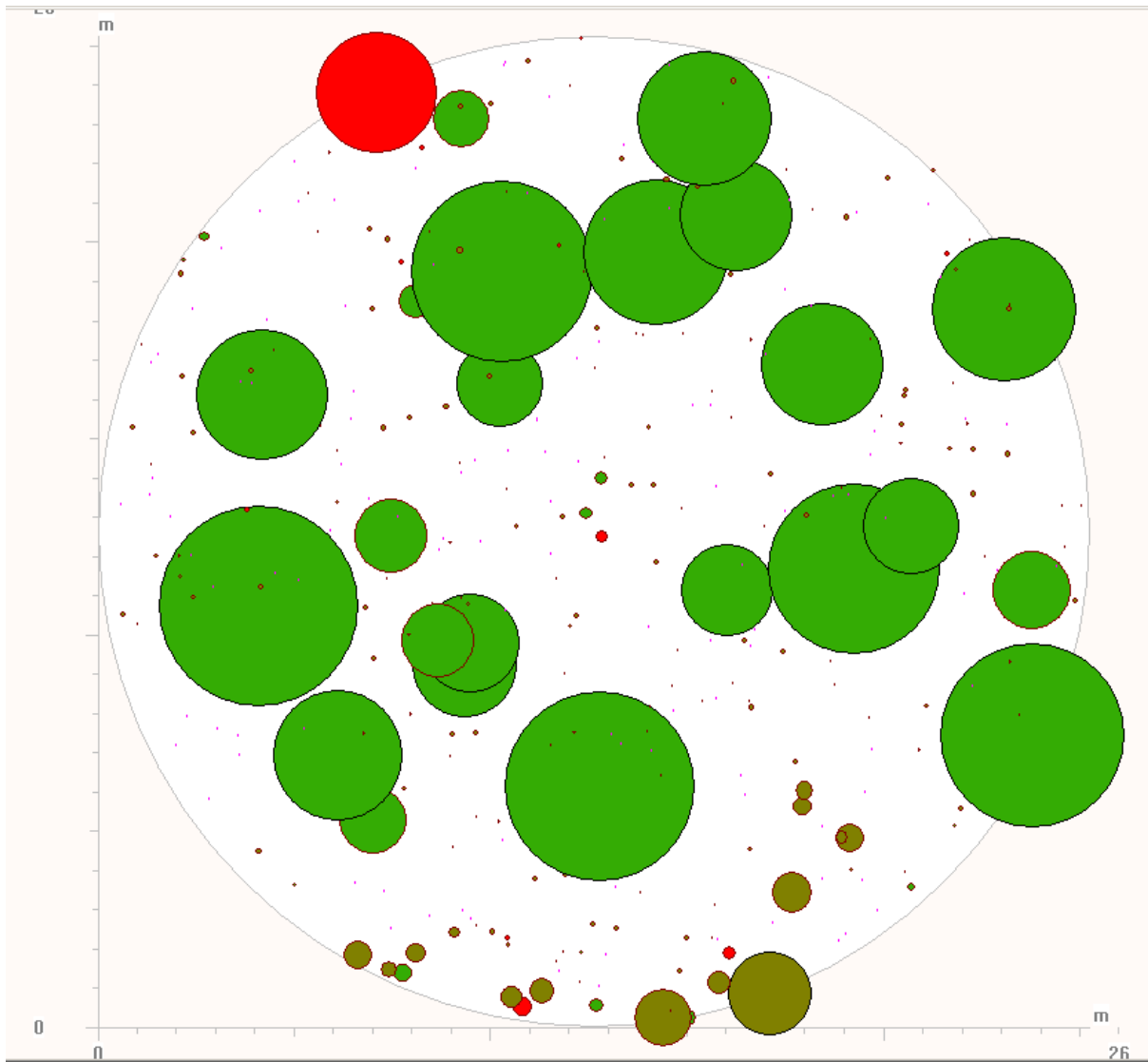


Abbildung 45: Visualisierung der Probefläche 26 im Jahr 2068 mit MOSES 3.0 (Screenshot)

5.2.4 Verjüngung

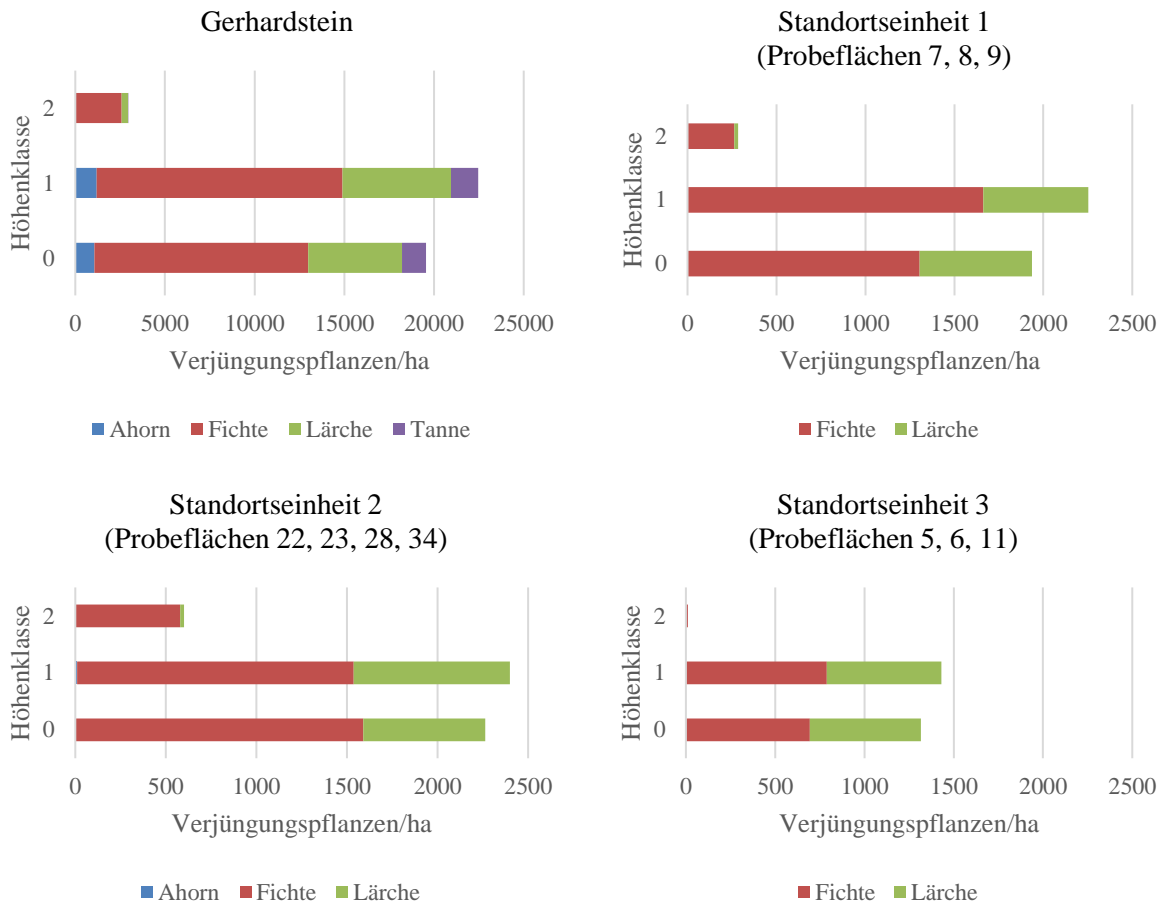


Abbildung 46: Verjüngungsverteilung in drei Höhenstufen (0 = 10-19 cm, 1 = 20-49 cm, 2 = 50-130 cm) in Individuen/ha ohne Keimlinge

Die Verjüngungspflänzchen werden ab einer Höhe von 10 cm berücksichtigt und in drei Höhenklassen eingeteilt (H0 = 10-19 cm, H1 = 20-49 cm, H2 = 50 – 130 cm). Auch hier ist wieder ein Rückgang der Diversität zu verzeichnen, da die Buche nach dem Simulationszeitraum nirgendwo in der Verjüngung aufkommt (vgl. Abbildung 46). Insgesamt ergibt die Simulation hohe Werte mit maximal etwa 22.500 Pflanzen/ha auf dem gesamten Plateau. Auf den Standortseinheiten kommt weniger Verjüngung/ha auf, wobei der Windwurf knapp 3.000 Pflanzen/ha das Minimum aufweist. Auffallend ist, dass mehr Verjüngungspflänzchen pro Hektar in H1 vertreten sind als in H0. In H2 schafft es durchschnittlich nur 6 % der gesamten Verjüngung. Auf Standortseinheit 3 (Probeflächen 5, 6, 11) ist so gut wie gar keine Verjüngung in dieser Höhenklasse vorhanden. Im Altholz der Standortseinheit 2 (Probeflächen 22, 23, 28, 34) kommt dagegen fast $\frac{1}{4}$ der Verjüngung aus H1 in H2. Die Fichte beherrscht auch die Verjüngung, wobei Lärche bis H1 einen größeren Anteil einnimmt. An Standortseinheit 1 (Probeflächen 7, 8, 9) gibt es zudem einen höheren Anteil

Ahorn als Standortseinheit 2. Die Verjüngung ist zudem durch Verbiss gefährdet. Auch wenn dieser derzeit gering ist am Gerhardstein, muss trotzdem davon ausgegangen werden, dass sich vor allem die Tanne nicht etablieren wird.

5.2.5 Mortalität

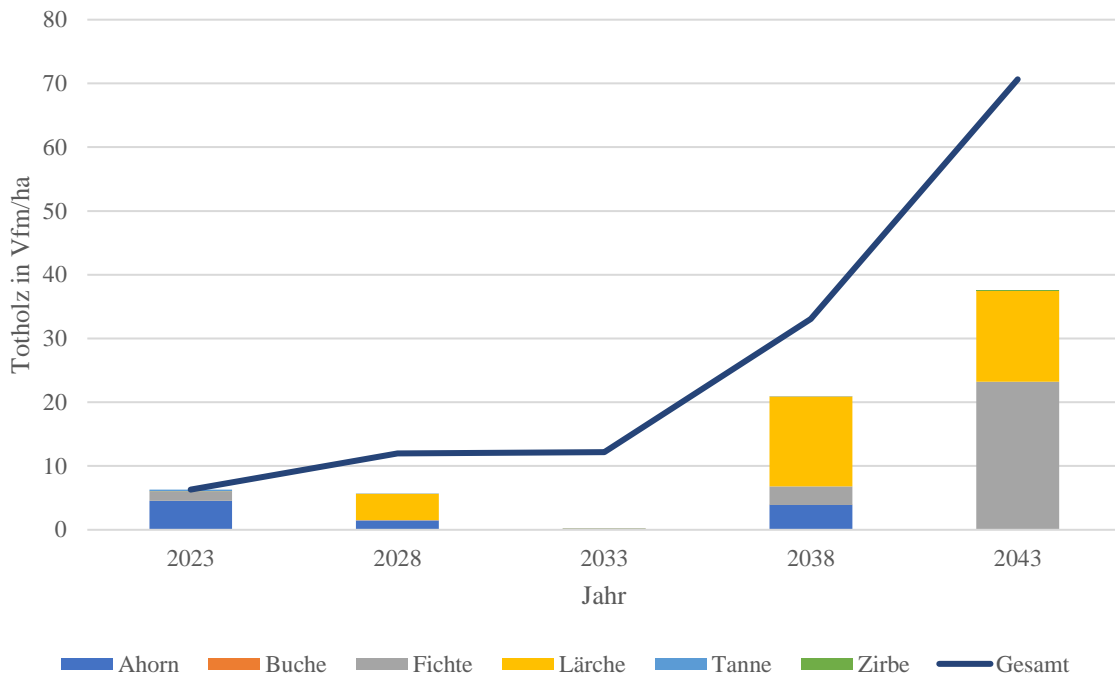


Abbildung 47: Mortalität über den Simulationszeitraum in Vfm/ha und baumartenweiser Totholzvorrat pro Simulationsperiode in Vfm/ha

Im Abschnitt 5.2.2 wurde bereits der Ausfall ins Verhältnis zum Einwuchs gesetzt, um so die Vorratsentwicklung zu verdeutlichen. Da Totholz ein wichtiges Habitatelement darstellt, wird nun die Struktur der Totholzverteilung auf Grundlage des Mortalitätstools genauer untersucht. Totholz verrottet bei den vorherrschenden Standortbedingungen am Gerhardstein sehr langsam. Dies kann auch durch die vorherrschende Humusform (Tangelhumus) als schlecht zersetzte Humusform bestätigt werden. Daher wird der Aufbau des Totholzvorrates (ab BHD >15 cm) der nächsten 25 Jahre aufsummiert und als Vorrat im Jahr 2043 angenommen. So ergibt sich ein Totholzvorrat von ca. 71 Vfm/ha, was nur etwas weniger ist als in der Erhebung von 2018 festgestellt. Dies entspricht 14,2 % des zukünftigen Lebendholzvorrates – der Anteil im Vergleich zu 2018 wird damit geringer. In Abbildung 47 ist der Aufbau des Totholzvorrates über den Simulationszeitraum dargestellt. Es fällt auf, dass am Ende der 3. Periode nur geringfügig Totholz aufgebaut wird. Ab der 4. Periode steigt die Mortalität im Bestand stark

an, was durch die erhöhte Fichten-Mortalität in der 5. Periode erklärt werden kann. Die Mortalität des Laubholzes ist im Verhältnis zum Lebendvorrat sehr hoch und fällt bis zur 4. Periode fast komplett aus. Zur Lage und zum Zersetzungsgrad kann keine Aussage getroffen werden.

6. Diskussion

„Wer bist du, woher kommst du und wohin gehst du?“ Mit diesen drei Fragen beschrieb der Schweizer Forstwissenschaftler Hans Leibundgut das Wesen des Waldbaus. Sie unterstützen die*den Forstwirt*in bei der Einschätzung der Divergenz zwischen unbeeinflusster Bestandesentwicklung und Bewirtschaftungsziel (nach Hasenauer 2013). Diese grundlegenden Fragen können mit dieser Arbeit für den Gerhardstein beantwortet oder zumindest eine diesbezügliche Einschätzung gegeben werden.

6.1 Explorative Datenanalyse

Gemäß der Zielvorgabe der Naturrauminventur zur Beantwortung der Frage: „Wie sehen die derzeitigen Waldverhältnisse am Gerhardstein unter naturschutzfachlichen Gesichtspunkten aus?“ sollte zunächst einmal geklärt werden, was „naturschutzfachlich“ bedeutet. Dazu definiert das deutsche Bundesnaturschutzgesetz (2009) die Ziele des Naturschutzes als dauerhafte Sicherung der biologischen Vielfalt, der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes einschließlich dessen Regenerationsfähigkeit und der Vielfalt, Eigenart und Schönheit sowie den Erholungswert von Natur und Landschaft. In dieser Arbeit wurden Parameter erhoben und analysiert, die Hinweise auf die Erfüllung dieser Ziele im Wald des Gerhardsteins geben.

Grundsätzlich konnten viele naturschutzrelevante Schlüsselstrukturen von Landschaftsebene bis zur Bauebene festgestellt und quantifiziert werden, die im Folgenden näher beschrieben werden. Nicht nur die großflächigen Bedingungen eines Standorts beeinflussen die Biodiversität eines Ökosystems, auch die kleinflächig auftretenden Sonderlebensräume leisten einen Beitrag. Sie können auch als Korridore für weniger mobile Arten dienen. Es wurde bereits festgestellt, dass der Gerhardstein sehr kleinstrukturiert ist. Dies liegt zum einen am karstigen Untergrund mit der ausgeprägten Karrenbildung und zum anderen an den groß- und kleinflächigen Windwürfen, die als „Belastungen“ festgestellt wurde. Da großflächige Windwürfe in subalpinen Fichtenwäldern Teil des natürlichen Störungsregimes sind, ist dies aus naturschutzfachlicher Sicht nicht negativ zu bewerten. Die aus Störungen entstandenen kleinflächigeren Bestandeslücken sind ebenso ein wichtiger Bestandteil der natürlichen Sukzession, da sie die Baumartenzusammensetzung, Struktur und Artenvielfalt eines Bestandes stark beeinflussen. Dies liegt besonders am veränderten Licht- und Wärmehaushalt in der Lücke – hier können sich vorher unterdrückte Lichtbaumarten etablieren oder es entsteht

aufgrund der ökologischen Bedingungen im subalpinen Bereich ein neuer Sonderstandort für Insekten, Spinnen, Flechten und lichtliebende Gefäßpflanzen, die auf bestocktem Boden kein geeignetes Habitat vorfinden (Bartsch und Röhrig 2016). Lücken bedingen außerdem Waldrandsituationen, die den Bereich zwischen geschlossenem Wald und Lichtungen beschreibt. Hier ist die Artendichte für Käfer, Wanzen und Hautflügler sehr viel höher als im Waldesinneren (Moning et al. 2009). Insofern entsprechen auch die aufgelassenen Almflächen, die als Blößen erhoben wurden, wichtige Schlüsselstrukturen. Zusätzlich konnten zahlreiche Indikatoren eines Auerwild-Habitates festgestellt werden. Das Auerhuhn gilt als Flaggschiffart, da es komplexe Lebensraumansprüche hat. Ihr Vorkommen weist auf eine Vernetzung von Waldstrukturen hin. Es braucht nämlich reich gegliederte, vom Menschen ungestörte Waldflächen mit vielfältigen Übergängen zwischen den einzelnen Beständen. Das bedeutet, dass einschichtige Fichtenreinbestände, wie sie in bewirtschafteten Fichtenwäldern meist vorkommen keine geeigneten Habitatbedingungen für diese Raufußhuhnart bieten (Moning et al. 2009). Außerdem wurden vorkommende Ameisenhaufen auf den Probeflächen gezählt. Eine Auswertung dieser Zählung sollte jedoch vor dem Hintergrund einer systematischeren Erhebung mit Fangmethoden passieren (Rauh 1993). Die hier festgestellten Werte sind lediglich ein Hinweis auf das erhöhte Vorkommen weiterer leicht erkennbarer Schirmarten.

Auf der Bestandesebene hat die Vegetationsstruktur den größten Einfluss für das Vorkommen einzelner Arten und Artengruppen. Hier spielen neben der oben beschriebenen Lückendynamik und des davon beeinflussten Lichtangebotes die Baumartenzusammensetzung, die Schichtigkeit und die Totholzstrukturen eine große Rolle. Die Baumartenzusammensetzung ist im subalpinen Fichtenwald von Natur aus sehr fichtenlastig, trotzdem hat das lokale Lichtangebot einen großen Einfluss auf die Ausprägung der Baumartenanteile von Fichte, Lärche, Bergahorn und Tanne. Durch die intensive Nutzung des Gerhardsteins als ehemaliger Sudwald, hat sich der Anteil der Fichte sicher noch weiter erhöht, doch können im Vergleich zur Erhebung von 2006 (Ederer 2006) bereits Entwicklungstendenzen festgestellt werden. Zum damaligen Zeitpunkt war die Fichte noch auf dem Großteil der Probeflächen mit über 90 % vertreten. Dieser Anteil hat sich zugunsten der Lärche verringert und unterstreicht die oben bereits beschriebene Lückendynamik am Gerhardstein.

Je nach Sukzessionsphase des Waldes fällt unterschiedlich viel Totholz in einem Wald an. Es ist ein charakteristisches Merkmal natürlicher Wälder. Dabei hängen mindestens 20% der im Wald lebenden Arten von Alt- und Totholz ab (Moning et al. 2009). Neben dessen Bedeutung als Strukturelement spielt es im Gebirgswald eine große Rolle für die Naturverjüngung (Bartsch

und Röhrig 2016). Je nach Sukzessionsphase und Standort des Waldes gelten verschiedene Richtwerte als „naturnah“. So ermittelte die ÖWI 2016/18 einen durchschnittlichen Totholzvorrat von etwa 40 Vfm/ha im Bereich der Nördlichen Randalpen Österreichs (Gschwantner 2019). Eine Erhebung in drei deutschen Naturwaldreservaten ergab eine Totholzmenge von 10 bis 180 Vfm/ha (Scherzinger 1996). Im Urwald Neuwald konnten in neueren Erhebungen sogar bis 300 Vfm/ha erhoben werden (Frank und Steiner 2013). In einem vergleichbaren subalpinen Fichtenwald, dem Naturwaldreservat Dürrwald, welches seit 1997 aus der Nutzung gestellt wurde, wurde im Zuge einer Diplomarbeit von 2015 (Becker 2015) ein ähnlicher Totholzvorrat mit 72,5 m³/ha festgestellt. Dieser Vergleich soll eher als Richtwert dienen, da der Vorrat von vielen Faktoren abhängig ist und nicht so leicht als Maß für Naturnähe gelten kann. Zusätzlich ist die Aufnahme von Totholz auch hochgradig von der Aufnahmemethodik abhängig, da es nicht gleichmäßig verteilt ist. Totholz tritt geklumpt auf und kann daher nur zufällig von Probekreisen erfasst werden. Um dieses Problem zu umgehen, schafft die „Line Intersect Methode“ (van Wagner 1986) Abhilfe.

Ein wichtigerer Wert für die Beurteilung des Totholzvorrates sind artspezifische Schwellenwerte. Untersuchungen haben ergeben, dass viele Artengruppen ab Totholzmenge von rund 30m³/ha profitieren (Moning et al. 2009). Im Hinblick auf besonders gefährdete Arten wie Urwaldreliktarten, die hohe Ansprüche auf Totholzmenge und -qualität haben und wneig mobil sind, sollte dieser Wert nie unterschritten werden. Am Gerhardstein bestehen aufgrund der große Altersdifferenzierung mit teilweise hohem Bestandesalter, der Exposition gegenüber Windwürfen aufgrund des kühlen Lokalklimas günstige Voraussetzungen, dass die geforderten Totholzmenge nachhaltig zur Verfügung stehen.

Mit vielen schwachen und nur einigen starken Bäumen entspricht die BHD-Verteilung am Gerhardstein einem Plentergefüge: die einzelnen BHD-Klassen besitzen somit einen ähnlichen Anteil an der Bestandesfläche. Es gilt jedoch zu beachten, dass BHD-Verteilung über die gesamte Fläche streng genommen nichts über die Struktur aussagt, da man mit 37 Altersklassenwäldern unterschiedlichen Alters vielleicht auf ein ähnliches Diagramm käme. Wesentlich ist hier die räumliche Verteilung der BHD-Stufen, die aus der Verteilung der Wuchsklassen abgeleitet werden kann sowie die Nachbarschaftsverhältnisse der Bäume auf den einzelnen Probeflächen, welche durch die Spannweite der Aggregationsindices ausgedrückt werden. Am Gerhardstein handelt es sich also nicht um ein Nebeneinander von Altersklassenbeständen, sondern um ein Mosaik aus unterschiedlichen Bestandesgefügen und -strukturen. Die Wuchsform der dortigen autochthonen Fichten ist so angepasst, dass die

durchschnittlichen H/D-Werte in der Baumschicht niemals den Grenzwert 80 überschreiten. Aufgrund des teilweise sehr lockeren Schlussgrades wird das Aufkommen einer Kraut- und Strauchschicht begünstigt, was wiederum die Konkurrenz für die Verjüngung erhöht. Von den dadurch ohnehin wenigen Keimlingen/ha schaffen es nur 10 % in die Höhenklasse > 50 cm. Lange Verjüngungszeiträume und meist kleinflächige Verjüngungsaufkommen sind typisch für subalpine Fichtenwälder, was daher nicht negativ bewertet werden kann. Vorteilhaft für die Verjüngung ist der geringe Verbiss. Ein Vergleich mit dem österreichischen Wildeinflussmonitorings (WEM) ist nur bedingt möglich, da dort der Keimlingsverbiss (bzw. alle Pflanzen unter 10 cm) nicht aufgenommen wird. Da im Gegensatz zur Österreichischen Waldinventur (ÖWI) jedoch ebenfalls der Vorjahresverbiss erhoben wird, kann das Ergebnis durchaus als Richtwert dienen. Laut WEM 2016-2018 sind in Salzburg durchschnittlich 12,8 % der Oberhöhenbäumchen in Stammzahl/ha der Fichtenverjüngung und 37,9 % der Weißtannenverjüngung verbissen (Schodterer 2019).

Schlussendlich wurden außerdem objektbezogene Schlüsselstrukturen oder Biotopbaummerkmale erhoben. In bewirtschafteten Wäldern beträgt die Dichte an Habitatbäumen mit einem Durchmesser von mehr als 70 cm zwischen unter 0,5 und 2 Bäumen pro Hektar (Bütler 2016). Am Gerhardstein beträgt der Wert zwischen 1 und 53 (Höhlenbäume), allerdings ist diese hohe Zahl darin begründet, dass durch die Karststrukturen vermehrt Höhlen im Bereich der Wurzeln entstanden sind, die ebenfalls aufgenommen wurden. Sie sind nur in einzelnen Fällen als Stammschaden (z.B. Spechthöhle) zu klassifizieren. Trotzdem können sie von vielen Tierarten als Platz für Jungenaufzucht, Tages- oder Nachtversteck oder als Nahrungsdepot genutzt werden.

Insgesamt belegt dies, dass der Gerhardstein mit seinem Strukturreichtum im Vergleich zu einem bewirtschafteten Wald nur im geringen Maße durch Störungen beeinflusst wird und unterstreicht dessen Bedeutung als Fläche für die standortstypische Vegetation mit einer naturnahen Struktur- und Artenvielfalt.

6.2 Modell und Entwicklungstendenz

Zur Validierung der MOSES-Simulation müssen prognostizierte und beobachtete Daten gegenübergestellt werden. Wichtig dabei ist, dass die beobachteten Daten direkt gemessen und nicht abgeleitet werden, um Fehler zu minimieren. Die beobachteten Daten müssen sich wie die berechneten Prognosen auf eine Wachstumsperiode von 5 Jahren beziehen. Die besten

Validierungs-Daten sind jene zum potenziellen Höhenwachstum. Da diese in einer Ersterhebung nicht verfügbar sind, wird der Validierung der potenzielle 5-jährige Durchmesserzuwachs zugrunde gelegt. Diese Daten wurden direkt gemessen und geben daher unabhängige und exakte Werte des Zuwachses wieder, die direkt vergleichbar mit den simulierten Werten sind. Es ergibt sich dort eine leichte Überschätzung höherer Durchmesser, die auf die Degradierung der Böden durch die ehemalige Waldweide und die intensive Bewirtschaftung am Gerhardtstein zurückzuführen ist. Insgesamt ergab die Validierung gute Ergebnisse für die Anwendbarkeit des Modells auf den hier untersuchten Bestand, allerdings ist die Qualität eines Modells „nur so gut wie das schwächste Glied in der Kette“ (Hasenauer 1994, S. 120). So kann MOSES nur mit rechteckigen Probeflächen arbeiten. In der Praxis sind fixe Probekreise leichter anwendbar, daher muss bereits hier eine Anpassung der erhobenen Daten durch die Generierung von Zufallsbäumen erfolgen. Das wichtigste ist jedoch das Bewusstsein darüber, dass jedes Modell nur eine gute Nachahmung der natürlichen Wachstumsprozesse darstellt und man daher keine exakten Werte, sondern nur Relationen und Tendenzen daraus ableiten kann (Hasenauer 1994).

Welche Sukzessionsphasen können nun also am Gerhardtstein identifiziert werden? Die natürliche Bestandesentwicklung im subalpinen Fichtenwald geht von einer lärchenreichen Initialphase nach größeren Störungen, wie etwas Windwürfen, über eine Lärchen-Fichten-Übergangsphase hin zu einer lärchenarmen bis lärchenfreien Terminalphase. Im Schlusswald ist sie dann aus Lichtmangel und auch aufgrund fehlender Rohboden-Kleinstandorten als geeignete Verjüngungsstandorte wenig konkurrenzfähig.

Die Simulation ergab aufgrund des größer werdenden Fichtenanteils eine Entwicklung in Richtung Terminal- bzw. Schlusswaldphase auf dem gesamten Plateau. Es ist jedoch davon auszugehen, dass diese Denkweise der Monoklimax-Theorie am Gerhardtstein aufgrund des Struktureichtums unzureichend ist. Gemäß des Mosaik-Zyklus-Konzepts, nach dem innerhalb eines Waldkomplexes viele kleinere „patches“ unterschiedlicher Waldentwicklungsphasen existieren (Scherzinger 1996), wurden am Gerhardtstein drei Standortseinheiten zur kleinräumigen Beurteilung der Waldentwicklungsphasen unterschieden. Hier konnten drei verschiedene Entwicklungsphasen aufbauend auf den Ergebnissen der Naturrauminventur abgeleitet werden. Auf der Windwurffläche kommt es nach einer großen Störung zur Initialphase mit einem großen Anteil Lärche in der Verjüngung und dem hohen Volumenzuwachs/ha. In den Altholzbeständen ist der Zuwachs rückläufig, was auf eine ausgehende stammzahlärmere Terminalphase hinweist. In dieser Phase wird das

Vorratsmaximum erreicht jedoch einhergehend mit einem Vitalitäts- und Schichtungsverlust (Scherzinger 1996). Die Zuwächse der Baumholzbestände sind noch im Anstieg begriffen bei viel geringeren Totholz mengen. Hier erscheint die stammzahlreiche, zuwachskräftige Optimalphase mit Tendenz zur Einschichtigkeit passend (Scherzinger 1996). Hier ist zu beachten, dass die ungestörte Entwicklung des Bestandes abgebildet wird – eine weitere Simulation mit künstlichen Störungen, z.B. durch intensive Zufallsdurchforstungen, wäre sicher interessant. Zudem könnten zur Untersuchung der möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf den Bestand einzelne Parameter des Modells, wie etwa das Mortalitätstool, angepasst werden. Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse aus der Simulation die Funktionstüchtigkeit des Waldes am Gerhardstein im Hinblick auf das Monitoring einer ungestörten und eingriffsfreien Langzeitdynamik von natürlichen Prozessen in einem subalpinen Fichtenwald.

Auffällig ist, dass das Laubholz im Modell von MOSES batch nach 25 Jahren komplett ausfällt. Im MOSES 3.0 setzt sich dieses, vor allem Bergahorn, zum Teil über 10 Simulationsperioden durch. MOSES berechnet das Wachstum des Laubholzes vor allem auf Grundlage der Ertragstafel Buche Braunschweig. Vor diesem Hintergrund wäre ein Ausfall dieser Bäume in dieser Höhenstufe nicht überraschend, da die Verjüngung in MOSES 3.0 jedoch Laubhölzer beinhaltet, muss von einem Artefakt des Modells ausgegangen werden, dass durch Anpassung der Parameter und Kalibrierung des Modells eventuell geändert werden kann.

7. Naturschutzfachliche Bedeutung des Gerhardsteins und Ausblick

Naturnahe Waldwirtschaft ist seit den 1980er Jahren ein steigender Trend. Sie steht für eine kleinflächige, auf den natürlich vorkommenden Baumarten aufbauende Bewirtschaftungsform, die auf die optimale Nutzung der biologischen Abläufe in einem Waldökosystem abzielt (Mayer 1984). Auslöser war die steigende Häufigkeit von großflächigen Windwürfen und Schädlingsbefällen, die vor allem sekundäre Fichtenwälder betrafen und die Ungewissheit der Veränderung der Waldstruktur durch neuartige Umweltbelastungen (Hasenauer 1994). Auch die Zwischenauswertung der ÖWI 2016/18 bestätigt diesen Trend zu naturnäherer Waldbewirtschaftung durch Umwandlung von Nadelholz- und Fichtenreinbeständen hin zu laubholzreicheren Mischwäldern sowie einen steigenden Anteil an Sträuchern auf Bestandeslücken (Russ 2019). Es braucht jedoch genauso so ungenutzte Flächen, um natürliche Dynamiken und Entwicklungen zu erforschen und zu verstehen. Standortstypische Waldgesellschaften und deren charakteristische Pflanzen- und Tierwelt sollten daher langfristig gesichert werden. Dabei liegt besonderes Augenmerk auf die Sicherung natürlicher Prozesse und deren wissenschaftliche Begleitung. Die vorliegende Forschungsarbeit über einen aus der Nutzung gestellten subalpinen Fichtenwald eröffnet neue Einblicke in die natürliche Sukzession, die schon nach kurzer Zeit nach einer jahrhundertelangen intensiven Nutzung untersucht werden kann. Der Wald am Gerhardstein repräsentiert einen weitgehend standortstypischen Fichtenwald, wobei anthropogene Überprägungen nach wie vor erkennbar sind. Trotzdem ist er durch eine hohe strukturelle Vielfalt ausgezeichnet, die auch in Zukunft erhalten bleibt. Struktureichtum bietet vielfältige Habitate für diverse naturschutzrelevante Arten, die solche Naturwälder als Rückzugsgebiete nutzen. Deshalb ist eine Auswertung der Ergebnisse nach faunistisch bedeutsamen Arten, wie beispielsweise Schnecken, Insekten, insbesondere holzbewohnende Käfer, und Vögel von großer Bedeutung, um notwendige Schlüsselindikatoren oder Schwellenwerte für vergleichbare Standorte und auch naturnahe Bewirtschaftungsformen ableiten zu können (Moning et al. 2009). Durch die Einbettung des Gerhardsteins in einen Naturpark und dessen Nähe zu einem Nationalpark ist auch die Konzeption eines funktionalen Biotopverbundes denkbar und sinnvoll, um waldbundenen Arten einen Austausch zwischen ihren Lebensräumen zu ermöglichen. So ein Kombinations- und Integrationsmodell von Schutzgebieten und naturnah bewirtschafteten Forsten setzt ebenfalls eine gemeinsame Basis waldökologischer Erkenntnisse über natürliche Prozesse in einem ungenutzten Wald zwischen Bewirtschafter*innen und Naturschützer*innen voraus

7. Naturschutzfachliche Bedeutung des Gerhardsteins und Ausblick

(Scherzinger 1996). In einem solchen Netzwerk kann der Gerhardstein als Kernlebensraum vieler wenig mobilen Arten einen Knotenpunkt in einem solchen Biotopverbund darstellen. Auch für großräumig agierende Arten stellt der Gerhardstein ein geeignetes Habitat bzw. Trittsteinbiotop dar.

Je regelmäßiger und konsequenter Wiederholungsaufnahmen nach den hier durchgeführten Methoden durchgeführt werden, desto höher ist der Mehrwert der hier vorgestellten Ergebnisse. Daher sollte auf jeden Fall ein fixer Wiederholungsaufnahme-Zeitraum definiert werden. Ausgehend von den hier vorgestellten Ergebnissen erscheint ein Turnus von 10 Jahren sinnvoll, da knapp 10 Jahre nach der letzten Nutzung bereits Veränderungen festgestellt werden konnten und die Entwicklungstendenz laut des Modells auch ab 10 Jahren auffälligere Tendenzen aufzeigt. Außerdem wird in einer Publikation von Winter et al. (2016) zu integrativen Ansätzen in der Waldbewirtschaftung zur Erhaltung der Artenvielfalt gezeigt, dass bereits ein Jahrzehnt nach Veränderung der Bewirtschaftungsform Auswirkungen auf die Diversifikation der Flächenanteile mit verschiedenen Waldentwicklungsphasen bemerkbar werden. Zusätzlich sollten den Wiederholungsaufnahmen ein feineres Stichprobenraster zugrunde gelegt werden, um die Kleinstrukturiertheit des Gerhardsteins besser herausarbeiten zu können.

Auf Grundlage dieser Arbeit kann nun auch beispielsweise das Hemerobiekonzept (Grabherr et al. 1998) angewendet werden, um die Naturnähe des Bestandes zu beschreiben. Viele der in diesem Zusammenhang untersuchten Einzelkriterien decken sich mit den Aufnahmen dieser Arbeit. Eine detailliertere vegetationsökologische Aufnahme im Frühsommer und bodenkundliche Untersuchungen wären für eine sichere Einordnung der Waldgesellschaft und als Störungszeiger empfehlenswert.

Literaturverzeichnis

- Bartsch, N. und E. Röhrig 2016. Waldökologie. Einführung in Mitteleuropa. Springer Verlag, Heidelberg. 417 S.
- Becker, S. 2015. Bestandesentwicklung und Schutzfunktionalität des Naturwaldreservates Dürrwald, Montafon. Diplomarbeit. Universität für Bodenkultur Wien. 176 S.
- Braun-Blanquet, J. 1964. Pflanzensoziologie: Grundzüge der Vegetationskunde. Springer Verlag, Wien - New York. 865 S.
- Bundeskanzleramt (Hrsg.) 2020. Regierungsprogramm 2020-2024, Online im Internet. https://www.bundeskanzleramt.gv.at/dam/jcr:73dc534e-e1a4-4ac4-a3da-deb9f75e7aa0/Regierungsprogramm_2020-2024.pdf (Stand: 02.02.2020, abgerufen am 08.03.2020)
- Bütler, R. 2016. Habitatbäume: Schlüsselkomponenten der Waldbiodiversität. In: Kraus, D. und Krumm, F. (Hrsg.). Integrative Ansätze als Chance für die Erhaltung der Artenvielfalt in Wäldern. European Forest Institute. 86-95.
- Clark, P. und F. Evans 1954. Distance to nearest neighbor as a measure of spacial relationships in populations. In: Ecology 35 (4), 445-453.
- Ederer, S. 2006. Die Bewertung verschiedener Nutzungsvarianten für den Gebirgswald am Beispiel des Gerhardstein. Diplomarbeit. TU München. 175 S.
- Ek, A. und R. Monserud 1974. FOREST: A computer model for simulating the growth and reproduction of mixed species stands. Univ. Wisconsin. 90 S.
- Frank, G. 2009. Naturwaldreservate in Österreich - von persönlichen Initiativen zu einem systematischen Programm. In: Mitteilungen des Vereins für Forstliche Standortskunde u. Forstpflanzenzüchtung 46: 23-32.
- Frank, G., und F. Müller 2003. Voluntary approaches in protection of forests in Austria. In: Environmental Science & Policy 6: 261-269.
- Frank, G. und H. Steiner 2013. Stand Dynamics in Virgin Forest "Neuwald". In: Conference Volume „5th Symposium for Research in Protected Areas“, Mittersill. 739-742.
- Füldner, K. 1996. Die "Strukturelle Vierergruppe" - ein Stichprobenverfahren zur Erfassung von Strukturparametern in Wäldern. In Gadow, K. v. & Beisch, Th. (Hrsg.): Beiträge zur Waldinventur. Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr. Alparslan Akça. Cuvillier Verlag, Göttingen. 13-30.
- Gini, C. 1912. Variabilità e Mutabilità. Contributo allo Studio delle Distribuzioni e delle Relazioni Statistiche. Bologna: Cuppini. 158 S.
- Grabherr, G., G. Koch, H. Kirchmeir und K. Reiter 1998. Hemerobie österreichischer Waldökosysteme. Veröffentlichungen des Österreichischen MaB-Programms (17). Universitätsverlag Wagner: Innsbruck. 493 S.

- Gschwantner, T. 2019. Totholz-Zunahme ausschließlich positiv? In: Bundesforschungszentrum für Wald (Hrsg.). Zwischenauswertung der Waldinventur 2016/18. Praxisinformation Nr. 50 – 2019. Wien. 17-22.
- Hasenauer, H. 1994. Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten-Kiefern- und Buchen-Fichtenmischbestände. Dissertation. Forstliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur Wien Band 8. 162 S.
- Hasenauer, H. 1997. Dimensional relationship of open-grown trees in Austria. In: Forest Ecology and Management 96: 197-206.
- Hasenauer, H. 2000. Die simultanen Eigenschaften von Waldwachstumsmodellen. Parey Buchverlag, Hamburg. 131 S.
- Hasenauer, H. 2013. Skriptum zur VU 913.102: Waldbau, Version WS2016/2017. Skript. Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Waldbau. 181 S.
- Hasenauer, H. und G. Kindermann 2006. Modeling Regeneration in Even and Uneven-Aged Mixed Species Forests. In: H. Hasenauer (Hrsg.). Sustainable Forest Management. Growth Models for Europe. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg. 167-193
- Kahn, M. und H. Pretzsch 1997. Das Wachstumsmodell SILVA - Parametrisierung der Version 2.1 für Rein- und Mischbestände auf Fichte und Buche. In: Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 168: 115-123.
- Kilian, W., F. Müller und F. Starlinger 1994. Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. Eine Naturraumgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten. In: Forstliche Bundesversuchsanstalt (Hrsg.). FBVA-Berichte 82: 1-60.
- Kindermann, G. 2004. Wachstumssimulation in Mischbeständen. Dissertation. Universität für Bodenkultur Wien. 160 S.
- Kindermann, G. und H. Hasenauer 2005. Zusammenstellung der Oberhöhenfunktionen für die wichtigsten Baumarten in Österreich. In: Austrian Journal of Forest Science 122 (4): 163-184.
- Klopf, M. 2014. MOSES: a single tree growth simulator for forest management planning. Dissertation. Universität für Bodenkultur Wien. 155 S.
- Koller, F. 2013. Kurze Geschichte der Saalforste bis zu Salinenkonvention 1829. In: Zanker, T. (Hrsg.). Saalforste – Bayerns Wälder in Österreich. Liliom, Waging. 9-32.
- Konnert 2000. Waldentwicklung im Nationalpark Berchtesgaden von 1983 bis 1997. In: Nationalparkverwaltung Berchtesgaden (Hrsg.). Forschungsbericht 43/2000. Nationalpark Berchtesgaden, Berchtesgaden. 146 S.
- Leibundgut, H. 1978. Über die Dynamik europäischer Urwälder. In: Allgemeine Forstzeitschrift/München 33: 686-688.
- Mayer, H. 1984. Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage. Fischer Verlag, Stuttgart/New York. 513 S.
- Mitscherlich, E. 1919. Das Gesetz des Pflanzenwachstums. In: Landwirtschaftliches Jahrbuch 53: 167-183.

- Moning, C., H. Bussler und J. Müller 2009. Ökologische Schlüsselwerte in Bergmischwäldern als Grundlage für eine nachhaltige Forstwirtschaft. Wissenschaftliche Reihe (19). Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, Grafenau. 103 S.
- Pollanschütz, J. 1974. Formzahlfunktionen der Hauptbaumarten Österreichs. Allgemeine Forstzeitung 85: 341-343.
- Pretzsch, H. 2002. Grundlagen der Waldwachstumsforschung. Parey, Berlin. 414 S.
- Rauh, J. 1993. Naturwaldreservate in Bayern. Schriftenreihe des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Naturwaldreservate in Bayern. Band 2. IHW-Verlag, Eching. 199 S.
- Rössler, G. Zusammenhang von Stabilität, Standraum und H/D-Wert, Online im Internet. www.waldwissen.net/waldwirtschaft/waldbau/wachstum/bfw_standraum/index_DE (Stand 19.10.2017, abgerufen am 07.03.2020).
- Russ, W. 2019. Mehr als 4 Millionen Hektar Wald in Österreich. In: Bundesforschungszentrum für Wald (Hrsg.). Zwischenauswertung der Waldinventur 2016/18. Praxisinformation Nr. 50 – 2019. Wien. 3-7.
- Scherzinger, W. 1996. Naturschutz im Wald. Qualitätsziele einer dynamischen Waldentwicklung. Ulmer, Stuttgart. 447 S.
- Schodterer, H. 2019. Baumartenzusammensetzung, Höhenentwicklung und Verbiss Salzburg. In: Bundesforschungszentrum für Wald (Hrsg.). Bundesweites Wildeinflussmonitoring 2016-2018, Periode 1-5. Praxisinformation Nr. 48 -2019. Wien. 35-37.
- Shannon, C. 1948. The mathematical theory of communication. In: C. E. Shannon und W. Weaver. The mathematical theory of communication Urbana: Univ. of Illinois Press. 3-91.
- Sterba, H. 1977. Ertragstabellen der ÖBF. Universität für Bodenkultur, Wien. 179 S.
- Thurnher, C., M. Klopff und H. Hasenauer 2017. MOSES – A tree growth simulator for modelling stand response in Central Europe. In: Ecological Modelling 352: 58-76.
- van Wagner, C. 1986. The Line Intersect Method in forest fuel sampling. In: Forest Science 14 (1): 20-26.
- von Bülow, G. 1962. Die Sudwälder von Reichenhall: ihr ursprüngliches Waldbild und ihre Bestockungsentwicklung unter der Wirkung des Massenholzbedarfes der Reichenhaller Saline während der letzten 800 Jahre salinarisch-forstlichen Betriebes. In: Mitteilungen aus der Staatsforstverwaltung Bayerns (33). 316 S.
- Weise, W. 1880. Ertragstabellen für die Kiefer. Springer Verlag, Berlin. 156 S.
- Winter, S., T. Vrška und H. Begehold 2016. Naturnähe von Wäldern als Schlüssel zum Erhalt biologischer Vielfalt. In: D. Kraus und F. Krumm (Hrsg.). Integrative Ansätze als Chance für die Erhaltung der Artenvielfalt in Wäldern. European Forest Institute. 54-65.
- Zanker, T. 2013. Der Forstbetrieb St. Martin / Bayerische Saalforste. In: ebd. Saalforste. Bayerns Wälder in Österreich. Liliom, Waging. 175-192.

Zukrigl, K. 1990. Naturwaldreservate in Österreich - Stand und neu aufgenommene Flächen.
Monographien Bd. 21. Umweltbundesamt, Wien. 256 S.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage des Gerhardsteinplateaus im Salzburger Pinzgau (© SAGIS, BEV und Bayerische Staatsforsten)	5
Abbildung 1.1: Blick vom Litzkogel nach Südwesten auf das Plateau vom Gerhardstein.....	6
Abbildung 1.2: Eindrücke vom Gerhardstein.....	7
Abbildung 1.3: Spuren vergangener Nutzung.....	9
Abbildung 2: Stichprobenraster und Abgrenzung des Untersuchungsgebiets. Der rot gefärbte südliche Teil sowie die Steilhänge im Osten wurden ausgelassen.....	13
Abbildung 3: Screenshot aus MOSES framework mit den eingestellten Modellfunktionen (rechts).....	21
Abbildung 4: Konzept der Standortspotenzial-abhängigen Zuwachsberechnung für das Höhenwachstum (Thurnher et al. 2017).....	22
Abbildung 5: Stichprobenpunkte im Untersuchungsgebiet mit Exposition (oben) und mittlere Hangneigung (unten).....	25
Abbildung 6: Baumartenverteilung in Stammzahl/ha	27
Abbildung 7: Anteilsmäßige Baumartenzusammensetzung an den Stichprobenpunkten.....	28
Abbildung 8: Mittlere Deckungsgrade der Vegetationsschichten [%] in Abhängigkeit vom Deckungsgrad der Baumschicht (n = 37)	29
Abbildung 9: BHD-Klassen in Vorrat/ha und Stammzahl/ha (auf Sekundärachse)	31
Abbildung 10: Baumartenspezifische BHD-Verteilung in BHD-Klassen von 5 cm.....	31
Abbildung 11: Grundflächen-Mitteldurchmesser (dg) in den Altersklassen (20 Jahre)	32
Abbildung 12: Höhenkurve nach Pollanschütz für Fichte mit $a = 3,586$ und $b = -21,769$ und gemessene Höhen.....	33
Abbildung 13: Residuen (Berechnete Werte - Beobachtete Werte) für Höhenkurve der Fichte und Trendlinie	33
Abbildung 14: Höhenkurve nach Pollanschütz für Lärche mit $a = 3,569$ und $b = -17,27$ und gemessene Höhen	34
Abbildung 15: Residuen (Berechnete Werte - Beobachtete Werte) für Höhenkurve der Lärche und Trendlinie	34
Abbildung 16: Verteilung der Höhenklassen bezogen auf die Stammzahl/ha.....	35
Abbildung 17: Mittlerer HD-Wert bezogen auf Altersklassen	36
Abbildung 18: Oberhöhen-Bonitierung („Site Index“) am Gerhardstein. Rot: Fichte, Grün: Lärche, Lila: Tanne, Pink: Bergahorn (von oben nach unten)	37

Abbildung 19: Residuen (Berechnete Werte - Beobachtete Werte) für die Höhe der Kronenansätze und Trendlinie	38
Abbildung 20: Baumartenweise Verteilung der Verjüngung am Gerhardstein mit n = 974....	40
Abbildung 21: Pflanzen pro ha in Höhenklassen und Anzahl der verbissenen Pflanzen/ha....	41
Abbildung 22: Lage des Totholzes nach Stärke in Vfm/ha.....	42
Abbildung 23: Anteilmäßige Lage des Totholzes	42
Abbildung 24: Menge in Vfm/ha der unterschiedlichen Zersetzungsgrade pro Lage des Totholzes	43
Abbildung 25: Graphische Darstellung des GINI-Index für den Gerhardstein	45
Abbildung 26: Verteilung der Kleinstrukturen und Sonderlebensräume (vgl. Tabelle 12) im Gebiet (oben) und Felsbedeckung in % (unten).....	48
Abbildung 27: Waldentwicklungsphasen im Naturwald nach Scherzinger (1996, S. 131).....	50
Abbildung 28: Aufteilung der Wuchsklassen (vgl. Tabelle 13) am Gerhardstein (n = 38)	52
Abbildung 29: Abweichung der Operatsalter von dem ermittelten Alter aus den Bohrkernen	52
Abbildung 30: Verteilung der Alters- und Wuchsklassen (vgl. Tabelle 13) am Gerhardstein	53
Abbildung 31: mittlerer Volumenzuwachs/ha/Jahr nach Wuchsklasse und Stichprobenpunkt	54
Abbildung 32: Gegenüberstellung Lebendholzvorrat und Totholzvorrat in Vfm/ha in den Wuchsklassen	55
Abbildung 33: Residuen des 5-jährigen Durchmesser-Zuwachses (y-Achse) über BHD (x-Achse), n = 59	58
Abbildung 34: Residuen des 5-jährigen Durchmesser-Zuwachses (y-Achse) über die Höhe (x-Achse), n = 59	58
Abbildung 35: Residuen des 5-jährigen Durchmesser-Zuwachses (y-Achse) über den Site Index (x-Achse), n = 59.....	59
Abbildung 36: Vorratsentwicklung über 25 Jahre am Gerhardstein und den Standortseinheiten in Vfm Derbholz pro ha	60
Abbildung 37: VfmD-Zuwachs/ha in der Standortseinheit 3 (Probeflächen 5, 6, 11).....	61
Abbildung 38: VfmD-Zuwachs/ha in der Standortseinheit 1 (Probeflächen 7, 8, 9).....	62
Abbildung 39: VfmD-Zuwachs/ha in der Standortseinheit 2 (Probeflächen 22, 23, 28, 34)...	62
Abbildung 40: Simulierte Baumartenanteile und Stammzahl/ha nach BHD-Klassen für das Jahr 2043	63
Abbildung 41: Stammzahlentwicklung/ha über den Simulationszeitraum am Gerhardstein und in den identifizierten Standortseinheiten.....	64
Abbildung 42: Visualisierung der Probefläche 6 im Jahr 2018 mit MOSES 3.0 (Screenshot)	65

Abbildung 43: Visualisierung der Probefläche 6 im Jahr 2068 mit MOSES 3.0 (Screenshot)	66
Abbildung 44: Visualisierung der Probefläche 26 im Jahr 2018 mit MOSES 3.0 (Screenshot)	67
Abbildung 45: Visualisierung der Probefläche 26 im Jahr 2068 mit MOSES 3.0 (Screenshot)	68
Abbildung 46: Verjüngungsverteilung in drei Höhenstufen (0 = 10-19 cm, 1 = 20-49 cm, 2 = 50-130 cm) in Individuen/ha ohne Keimlinge	69
Abbildung 47: Mortalität über den Simulationszeitraum in Vfm/ha und baumartenweiser Totholzvorrat pro Simulationsperiode in Vfm/ha	70

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eckdaten zum Untersuchungsgebiet am Gerhardstein.....	8
Tabelle 2: Einteilung der Probekreise in Baumschicht und Parameter	12
Tabelle 3: Straucharten mit Deckungsgarden nach Braun-Blanquet (1964).....	28
Tabelle 4: Fehleranalyse der Residuen der Höhenkurven.....	32
Tabelle 5: Baumartenweiser mittlerer H/D-Wert.....	35
Tabelle 6: Fehleranalyse der Residuen der Kronenansatz-Höhe (KA) für Fichte	38
Tabelle 7: Baumartenweises mittleres Kronenprozent.....	39
Tabelle 8: Verteilung der Schäden an Bäumen	39
Tabelle 9: Anteile der Ausscheidungsgründe verschiedener Baumarten (n = 187).....	44
Tabelle 10: Zusammenfassung der berechneten Diversitätsindices am Gerhardstein	46
Tabelle 11: Biotopbäume in Stammzahl pro Hektar	47
Tabelle 12: Anzahl gefundener Kleinbiotope und Sonderlebensräume und Ameisenhaufen..	48
Tabelle 13: Beschreibung der Wuchsklasse aus dem schlagweisen Hochwald nach Hasenauer et al. (2013)	51
Tabelle 14: Zusammenfassung der statistischen Auswertung der Residuen (Δ 5-jähriger-Durchmesser-Zuwachs (Simulation - Beobachtung))	57

Anhang I: Aufnahmeformulare und -schlüssel

Aufnahmeblatt

1. Orts- und Flächenangaben

Stichprobenpunkt		GPS-Koordinaten	
Datum		Besonderheiten	

2. Standortbeschreibung

Seehöhe	
Exposition	
Hangneigung [%]	
Felsbedeckung [%]	

Bodenfeuchte	
Bodenplastizität	
Skelettanteil	

3. Bestandesbeschreibung und naturschutzrelevante Parameter (Taxation)

Baumart	Alter	AKL-Anteil	BA-Anteil

Schlussgrad	Wuchsklasse	Stärkeklassen-anteil	Vertikale Bestandesstruktur	Horizontale Bestandesstruktur	Verjüngungsmilieu
			BS: SS: ZS: KS: Gras: Farn: Moos: Krummholz:		

Kleinstrukturen/Sonderlebensräume					
Anzahl Ameisenhaufen					
Straucharten und Deckungsgrad					
Weidezeiger und Deckungsgrad					
Belastungen und Flächenangaben					

4. Verjüngungsaufnahme (alle Bäume < 1,3 m in r = 2,82 m)

Baumart	Anzahl < 50 cm	Anzahl 50-130 cm	Anzahl Wildeinfluss	

Repräsentationsbäume

#	Baumart	BHD	Höhe	Alter	Zuwachs		Schadens-art	Schadensstufe
					5-j.	10-j.		

Anmerkungen:

5. BHD-Klassen (Bäume > 1,3 m Höhe und < 10 cm BHD mit r = 3,99 m)

Baumart	BHD-Klasse (cm) Höhe (m)					
	<4	H	4-6	H	7-9	H

Repräsentationsbäume

#	Baumart	BHD	Höhe	Kronen- ansatz	Kronen- länge	Alter	Zuwachs	Schadensart			Schadens-stufe		

Anmerkungen:

6. Baumaufnahme (BHD \geq 10cm mit $r = 12,62$ m)

#	Baumart	Winkel	Entfernung	BHD	Höhe	Alter	Kronen- ansatz	Kronen-länge	Schadens-art			Schadensstufe			Biotopbaum- merkmale			BA Nächster Nachbar	Abstand Nächster Nachbar	Zuwachs		
																				5 j.	10 j.	

Anmerkungen:

7. Totholzaufnahme (BHD > 15 cm mit r = 12,62m)

#	Baumart	Lage	Wurzelteller	BHD	Aus-scheidungs- grund	Zerfalls-stadium	Winkel und Entfernung 1	Durch-messer 1	Winkel und Entfernung 2	Durch-messer 2	Höhe

Anmerkungen:

Schlüssel

1. Orts- und Flächenangaben für die Teilfläche
2. Standortsbeschreibung
3. Bestandesbeschreibung

Altersklassenanteil: Angabe in 1/10 der auftretenden Altersklassen

Baumartenanteile: Bestimmung und BA-Anteile in 1/10 der vorkommenden Baumarten

Zuwachs: Ergebnisse der Bohrung des Zentralstamms

Schlussgrad: Kronenschluss in 1/10 des vollen Schlusses

Wuchsklasse:

Blöße

ungesicherte Verjüngung

gesicherte Verjüngung

Dickung

Stangenholz (Ø10 cm BHD - Ø25 cm BHD)

Baumholz (ab 26 cm BHD)

Altholz

Stärkeklassenanteil: in Zehntel

Schwachholz: bis 24 cm BHD (ganzzahlig abgerundeter Messwert)

Mittelholz: 25 – 49 cm BHD

Starkholz: ab 50 cm BHD

Vertikale Bestandesstruktur: Beschreibung der Stufigkeit des Bestandes mit

Hauptart pro Stufe und Deckungsgrad nach der Braun-Blanquet-Skala

r : Einzelexemplare

+ : vorhanden, aber <1% der Kreisfläche

1 : 1-5% der Kreisfläche

2 : 6-25% der Kreisfläche

3 : 26-50% der Kreisfläche

4 : 51-75% der Kreisfläche

5 : >75% der Kreisfläche

Horizontale Bestandesstruktur: Mischung der bestandesbildenden Baumarten

(Einzel, Trupp/Rotten, Gruppen, Horst, Streifen)

Verjüngungsmilieu:

Keimsubstrate der Keimlinge (Ranne, Stock, Rohboden, Stein/Fels,

Gras/Farn, Zwergstrauch)

Kleinstrukturen/Sonderstandorte: schützenswerte Biotope und Sonderstandorte

wenn nötig mit Ortsangabe

A Abiotische Naturgebilde (z.B. besondere Felsgebilde)

B Biotische Naturgebilde (z.B. Baumriesen)

F	Feuchtbiotop
H	Flächen mit historische Nutzungsform (z.B. aufgelassene Almen)
K	Trockenbiotope
P	Fläche mit schützenswerten Pflanzen
R	Reste; selten gewordene, ehemals verbreitete Gesellschaften, die bewirtschaftungsbedingt dezimiert wurden
T	Fläche mit schützenswerten Tieren (z.B. Auerwildbiotop)
U	Uferbereiche an Fließgewässern (z.B. in Auwaldgesellschaften)
V	Verlandungsbereiche an Stillgewässern
W	Waldrand/Hecke
Z	Sukzessionsfläche

Angaben über Art und Bedeckung (Braun-Blanquet-Skala) der Straucharten und Weidezeigern:

Liste von Inventur Berchtesgaden (vgl. Konnert 2000, S. 20-21)

Belastungen und Flächenangaben: Abschätzung der Störungen (welche Arten?) und der Flächengröße

- Wege / Steige (Trittschäden)
 1. Nur an Vegetation ersichtlich
 2. An Vegetation und Boden ersichtlich
 3. Tiefenerosion
- Eutrophierung / Stickstoffeintrag (Fläche)
- Schnee
 1. An Vegetation und Boden ersichtlich
 2. Tiefenerosion
- Wasser (Fläche)
- Wasser – Umfang
 1. Vegetation und Boden
 2. Tiefenerosion
- Bodenkriechen (Fläche)
- Überschüttung (Fläche)

4. – 6. Baum- und Verjüngungsaufnahme

Winkel: in Grad (vom Kreismittelpunkt bis zum linken Rand des Baumes)

Entfernung: in cm (zum Stichprobenmittelpunkt)

BHD [cm]

Höhe [m]

Alter: durch Fortschreibung der Daten aus Forsteinrichtung oder Jahrringzählung an Bohrspäne

Kronenansatz [m]

Kronenlänge: Angabe der mittleren Verhältnisse in Prozent der Baumhöhe

Schadensart:

- 1 Schälschäden alt
- 2 Schälschäden neu
- 3 Steinschlag
- 4 Verbiss- und Fegeschäden
- 5 Schnee- und Windbruch/-wurf
- 6 Blitzschlag
- 7 Insektenschaden (Borkenkäfer)
- 8 Säbelwuchs
- 9 Kronenschäden (Nadel- oder Blattverlust)

Schadensstufe:

- 1 gering
- 2 mittel
- 3 hoch

Biotopbaum-Merkmale:

- 1 Horstbaum
- 2 Höhlenbaum (ab 5 cm)
- 3 Pilzbefall
- 4 Verletzungen/Stammschäden
- 5 Moos-/Flechtenbewuchs (>25% der Stammdeckung)
- 6 Schling-/Kletterpflanzenbewuchs (>25% der Stammdeckung)
- 7 Totholz in der Krone (>25%)
- 8 markante Wuchsform
- 9 fehlende Primärkrone
- 10 Wurzelteller
- 11 Wucherung

Zuwachs: Nur vom Zentralstamm

7. Totholzaufnahme

Lage

- 1 stehend
- 2 liegend
- 3 hängend
- 4 Stock

Wurzelteller

Ursprünglicher Standort des Baumes (in- oder außerhalb des Kreises)

Möglicher Ausscheidungsgrund

- 1 Bedrängung
- 2 Wind/Schnee
- 3 Wild (geschält)
- 4 Käfer/Insekten
- 5 neuartige Waldschäden
- 6 unbestimmbar
- 7 Borkenkäfermanagement

Zerfallsstadium

- 1 im Absterben begriffen
- 2 frisch abgestorben, eventuell noch dürre Nadeln
- 3 lose Rinde, evtl. Grobäste
- 4 überwiegend ohne Rinde und Äste, eventuell anbrüchig
- 5 in Zersetzung / Einarbeitung in den Boden
- 6 überwiegend zersetzt

Winkel und Entfernung 1

Winkel und Entfernung (cm) zum starken Ende des Totholzes

Durchmesser 1

Durchmesser des starken Endes des Totholzes (cm)

Winkel und Entfernung 2

Winkel und Entfernung (cm) zum schwachen Ende des Totholzes

Durchmesser 2

Durchmesser des schwachen Endes des Totholzes (cm)

Höhe

Bei stehendem Totholz sowie bei Stöcken (in m)

Anhang II: CD mit digitaler Version und Dokumentation
