Dokumentation der oberirdischen Biomasse und dendrochronologische Untersuchungen von Latschen (*Pinus mugo spp.*) auf einer Brandfläche in den nördlichen Kalkalpen

Masterarbeit

von

Inés Würtz

(9972238)

zur Erlangung des akademischen Grades Diplomingenieur

Umwelt- und Bioressourcenmanagement

Betreuer: Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Georg Gratzer

Institut für Waldökologie, Department der Wald- und Bodenwissenschaften der Universität für Bodenkultur

Wien, Jänner 2015

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich (Inés Würtz), an Eides statt, dass ich die vorliegende Masterarbeit

Dokumentation der oberirdischen Biomasse und dendrochronologische Untersuchungen von Latschen (*Pinus mugo spp.*) auf einer Brandfläche in den nördlichen Kalkalpen

selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Dies bezieht sich sowohl auf Textinhalte wie auf Abbildungen und Tabellen.

Die Arbeit wurde bisher keiner Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Wien, Jänner 2015 Ines Würtz

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Bedanken die mir bei der Durchführung der Masterarbeit geholfen haben.

Besonders möchte ich mich bei meinem Betreuer Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Georg Gratzer für die Ideen und den Zugang zu diesem Thema bedanken.

Für die umfassende fachliche Unterstützung möchte ich Michael Grabner, Sonja Vospernik und Monika Bolka meinen Dank aussprechen.

Auch meinen Freunden die mir bei der Datenerhebung auf der Brandfläche tatkräftig zu Seite gestanden haben möchte ich mich bedanken (Daniel Ripper, Nora Staudinger, Ecki David, Gunter Grall, Stephan und Felix Pfaffstaller, Julian Welsch und Thomas Brenner).

Zuletzt möchte ich meiner Familie und meinem Lebensgefährten für die umfangreiche Unterstützung und den unerschütterlichen Glauben an mich danken.

Abstract

Eine Brandfläche aus dem Jahr 2003, westlich des Haglergipfels im Nationalpark Kalkalpen konnte aufgrund ihres umfangreichen Totholzangebotes zur Dokumentation der oberirdischen Biomasse, für Einzelstammberechnungen und für dendrochronologische Untersuchungen von Pinus mugo spp. (Latsche) herangezogen werden. Mithilfe der gewonnen Daten soll der Einfluss des Totholzes als ökologisches Erbe (ecosystem legacy) auf die Wiederbewaldung bewertet werden. Bessere Volumen- und Biomasseschätzungen für den Latschenanteil im Gebüschwald können getroffen werden und dendrochronologische und klimatologische Erkenntnisse sollen Hinweise auf die Entwicklung von Latschenbeständen in Abhängigkeit klimatischer Bedingungen liefern.

Auf der 14 Hektar umfassenden Brandfläche wurde ein Durchschnittsvolumen von Latschen-Totholz von 109 m³/ha und ein Gesamttotholzvolumen von 1525 m³ errechnet.

Weiters wurde eine Volumsfunktion entwickelt, mit der es möglich ist, das Volumen von Latschen mithilfe der Parameter Stammfußdurchmesser und Stammlänge abzuschätzen. Je nach Volumenmodell ergibt sich eine Formzahl von *f* 0,46 oder 0,56. Die Biomasse eines Einzelstammes durch sektionsweise Volumenberechnung des Stammes und der Trockenbiomasse von Nadeln, Ästen und Zapfen beträgt je nach Berechnungsmodell 9,9 oder 11,3 kg.

Da sich die mit Hilfe dendrochronologischer Methoden ermittelte Altersverteilung innerhalb des Latschenbestandes als inhomogen erwies, konnten keine Rückschlüsse auf vergangene Großereignisse gezogen werden. Es konnten jedoch starke Zusammenhänge zwischen den März-Temperaturen und der Jahrringentwicklung desselben Jahres sowie zwischen Dezember Niederschläge und den Zuwächsen des Folgejahres nachgewiesen werden. Hohe Frühjahrestemperaturen und warme und niederschlagsreiche Sommer konnten als wachstumstreibende Faktoren identifiziert werden.

An area with extensive amounts of dead wood due to a wildfire in the year 2003, west of the Hagler peak in the Austrian national park Kalkalpen, is subject to dendrochronological analysis of *Pinus mugo spp.* and assessments of the above-ground biomass. The results of this study will evaluate the

influence of dead wood on reforestation being an ecosystem legacy. Future assessments of biomass and volume of populations of *Pinus mugo spp.* will be improved and dendrochronological and climatological insights provide Information on possible development of this species dependent on climate changes.

The average amount of dead wood of 109 m^3/ha and a total amount of 1525m^3 was determined on the whole area measuring 14 ha.

A volume function to assess the volume of a single stem from the diameter at the stem base and the length of the stem was developed for *Pinus mugo spp*. Depending on different volume calculation methods a constant of f 0,46 or 0,56 was calculated. The biomass of a single trunk was determined by multisectional measurements of volume and dry weight of the needles, branches and cones and amounts to 9,9kg or 11,3kg depending on calculation method.

Since age distribution within population was inhomogenous, no inferences could be drawn on past events. Strong correlation could be found between march-temperatures and age ring thickness within the same year and december- precipitation and growth in the following year. High springtime temperatures and warm and humid summers could be identified as growth-enhancing factors.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung I

Danksagung II

Abstract III

Inhaltsverzeichnis V

1. Einleitung 1

1.1. Problemstellung 1

1.2. Zielsetzungen und Abgrenzung von anderen Arbeiten 4

1.3. Aufbau der Arbeit 6

2. Untersuchungsfläche/Brandfläche 8

2.1. Charakteristik der Brandfläche 8

2.2. Lage der Untersuchungsfläche 11

2.3. Geologie und Boden 12

2.4. Klima 14

3. Die Latsche - *Pinus mugo spp.* 15

3.1. Verbreitung 15

3.2. Habitat/Standortfaktoren 16

3.3. Gefährdungen und Gefährdungsstatus 17

3.4. Ökologie 17

3.5. Verjüngung von Latschen 19

4. Material und Methoden 21

4.1. Erhebungsmethoden 21

4.1.1. Erhebung des Gesamttotholzvolumens der Brandfläche 21

4.1.2. Methoden der Einzelstammerhebung 24

4.1.3. Dendrochronologische Auswertung 30

4.2. Eingesetztes Material 43

5. Ergebnisse....45

5.1. Ergebnisse der Totholzvolumenberechnung 45
5.2. Ergebnisse der Einzelstammauswertung 46

5.2.1. Volumsfunktion 46
5.2.2. Ergebnisse der Biomasseberechnung von Einzelstämmen 51

5.3. Ergebnisse der dendrochronologischen Auswertungen....52

5.3.1. Altersverteilung 52
5.3.2. Weiserjahre (besondere Jahre) 57
5.3.3. Zusammenhänge zwischen Jahrringbreiten und Klima....59

6. Diskussion der Ergebnisse/Schlussfolgerungen....75

6.1. Diskussion Totholzvolumenberechnung....75
6.2. Diskussion der Einzelstammauswertung 76

6.2.1. Volumsfunktion und Formzahl 76
6.2.2. Biomasseerhebung der Einzelstämme....78

6.3. Diskussion der dendrochronologischen Auswertungen 78

6.3.1. Altersverteilung 78
6.3.2. Weiserjahre (besondere Jahre) 80
6.3.3. Zusammenhänge zwischen Jahrringen und Klima 81

7. Zusammenfassung und Ausblick....86
8. Verzeichnisse 88

8.1. Literatur- und Quellenverzeichnis....88
8.2. Abbildungsverzeichnis 96
8.3. Tabellenverzeichnis 98

1. Einleitung

1.1. Problemstellung

Waldbrände üben weltweit einen beträchtlichen Einfluss auf Ökosysteme aus (Kloss et al. 2012) und sind in borealen, mediterranen und teilweise auch in temperierten Wäldern sowie in Savannen treibende Faktoren für Struktur und Artenzusammensetzung der Ökosysteme. Dabei spielt die globale Erwärmung in Bezug auf die Häufigkeit und Größe der Brände, vor allem in borealen Wäldern eine wichtige Rolle (Gillett et al. 2004). Für Österreich haben Sass et al. (2012) herausgefunden, dass Waldbrände in südexponierten *Pinus mugo* (Latschen) Beständen der nördlichen Kalkalpen in Intervallen zwischen 200 und 300 Jahren auftreten. Eine Wiederbesiedelung von zuvor auf einem Standort existierenden Latschen, nach einem Waldbrand, dauert zudem zwischen 70 und 90 Jahre. Kalas und Berg (2013) geben für die Regenerationsdauer von *Pinus mugo* mindestens 60 Jahre an.

Die Latsche (*Pinus mugo*) bildet meist Gebüsche bis max. 3,50 m Höhe. Sie hat ihre Verbreitung oberhalb des geschlossenen Hochwaldes von etwa 1500-2200 m Höhe. Latschen sind typisch für kalkhaltige Böden und haben deshalb ihren Verbreitungsschwerpunkt in den nördlichen und südlichen Kalkalpen (Vacik et al. 2010; Dittfurth 2012).

Schutzwälder sind meist Bergwälder die oberhalb von Schutzgütern, wie Straßen, Schienen und Dörfer liegen oder aber den Standort selbst vor Umwelteinflüssen schützen. Hier sind laut dem österreichischem Forstgesetz insbesondere Wälder auf zur Verkarstung neigenden oder stark erosionsgefährdeten Standorten, Wälder in felsigen, seichtgründigen oder schroffen Lagen, Wälder auf Hängen, wo gefährliche Abrutschungen zu befürchten sind, der Bewuchs in der Kampfzone des Waldes oder der an die Kampfzone unmittelbar angrenzende Waldgürtel definiert.

Die Krummholzstufe oder Kampfzone oberhalb der Waldgrenze ist für den Menschen vor allem als Schutzwald von Bedeutung. Die Ökosystemleistungen dieses Schutzwaldes, insbesondere der dort vorkommenden Latschengebüsche, sind der Schutz des Bodens vor Erosion, das Bremsen von Steinschlag und der Schutz vor Lawinen und Muren, die meist oberhalb der Baumgrenze ihren Ursprung haben (Dittfurth 2012).

Das derzeitige Verbreitungsgebiet der Latsche reicht vom Zentral- und Ostalpenraum über das gesamte kroatischen Küstengebiet und Albanien bis ins nördliche Griechenland (Christensen 1987,

Ellmauer 2005). Die Baumgrenzen werden Großteils von Latschengebüschen dominiert, so auch in den nördlichen Kalkalpen (Dullinger et al. 2004).

Der Verbreitungsgrad der Latschen wurde unter Klimaänderungsszenarien modelliert (Dullinger et al. 2004). Demnach kann in den nächsten 1000 Jahren, je nach Klimaerwärmung, trotz erhöhter Waldbrandgefahr, die Verbreitung von Latschen von derzeitig zehn Prozent auf 24 bis 59 Prozent ansteigen (Dullinger et al. 2004)(siehe **Abbildung 1.1**).

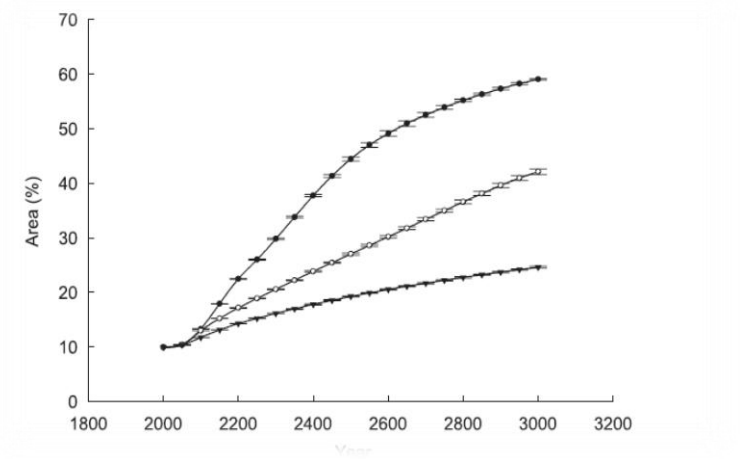


Abbildung 1.1: Prognostizierte Zunahme von *Pinus mugo* in den nächsten 1000 Jahren von derzeit 10% je nach Temperaturanstieg auf 24% und 59% (Dullinger et al. 2004).

Nichtbewaldete Gebiete werden bei einem durchschnittlichen Temperaturanstieg von 2 °C und fortschreitendem aufgeben der traditionellen Landnutzung in alpinen Gebieten, von Latschen besiedelt werden. Dies hat zur Folge, dass die Habitate der alpinen Vegetation aufgrund der Latschenausbreiteng auch in höheren Lagen über der aktuellen Baumgrenze dramatisch zurückgehen wird (Dirnböck et al. 2003). In **Abbildung 1.2** ist ein Ausbreitungsszenario von *Pinus mugo* auf einer Seehöhe über 1600 Meter dargestellt. Hier ist deutlich zu erkennen, dass die nichtbewaldeten alpinen Gebiete im Schwinden begriffen sind und von Latschen (als schwarzer Schatten dargestellt) besiedelt werden.

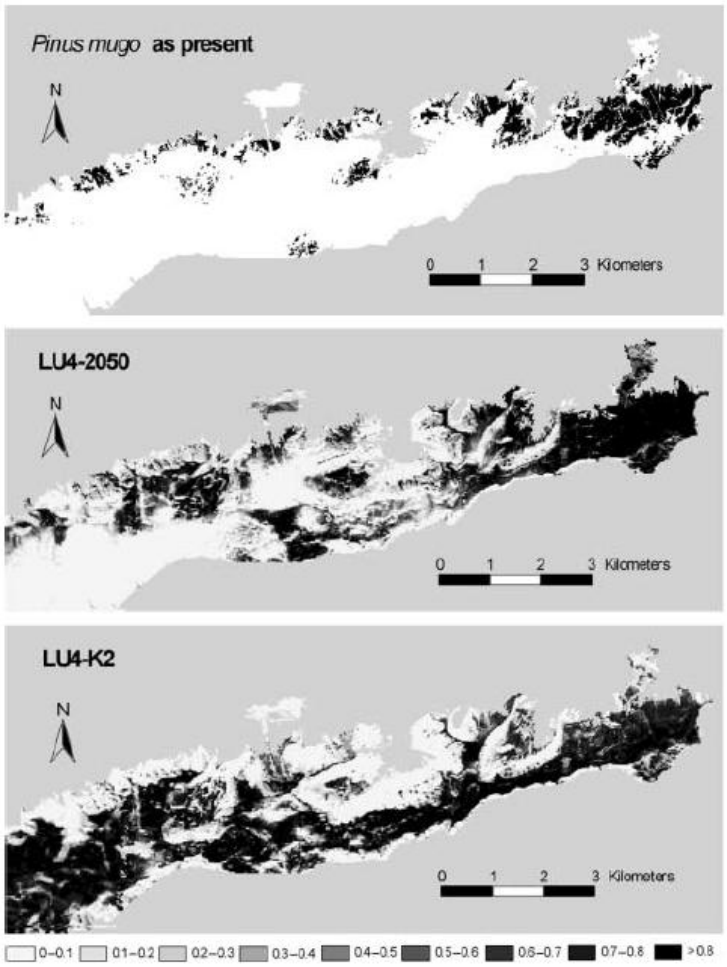


Abbildung 1.2: Verbreitungsszenario von Pinus mugo über einer Seehöhe von 1600 Metern. Die erste Abbildung zeigt den Ist-Zustand, die beiden unteren Bilder zeigen die Ausbreitung (als schwarzer Schatten dargestellt) der Latsche bei einem Temperaturanstieg von 0,65 °C u 2°C (Dirnböck et al. 2003).

In zahlreichen Forschungsarbeiten wird aufgezeigt, dass *Pinus mugo* eindeutig zu den Profiteuren des Landnutzungs- und Klimawandels gehören (Dirnböck et al. 2003; Dullinger et al. 2004; Dullinger et al. 2003).
Dem entgegen steht *Pinus mugo* auf der IUCN Liste der gefährdeten Arten (Farjon 2013) sowie auf der österreichischen Roten Liste der gefährdeten Biotoptypen (Essl et al. 2002).

Trotz der zahlreichen Forschungsarbeiten zu Ausbreitung der Latschen, gibt es wenige Daten zur oberirdischen Biomasse von Latschenbeständen, sowie über deren Altersverteilung und klimatischen Einflussfaktoren.

Die ca. 14 Hektar große Brandfläche westlich des Haglergipfels im Nationalpark Kalkalpen bietet sich als Untersuchungsfläche an, weil hier große, im ungestörten Zustand unterirdische Astteile, Absenker, usw. der Latschen freigelegt wurden.

Des Weiteren kann die Untersuchungsfläche aufgrund ihres hohen Totholzangebotes eine wichtige Rolle für die Wiederbewaldung spielen. Dies begründet sich unter anderem in der Funktion des Totholzes als ökologisches Erbe (ecosystem legacy), vor allem als strukturelles Erbe. Franklin et al. (2000) definieren strukturelles Erbe (structural legacy) als Totholzstrukturen mit stehenden und liegendem Totholz, Baumstämme, hölzerne Bruchstücke und Ablagerungen, wobei sich an der Totholzstruktur also an den hölzernen Bruchstücken usw. Sedimente ablagern und dadurch hydrologische und geomorphologische Prozesse in Gang setzen. Durch den langsamen Abbauprozess fungieren die bestehenden Totholzstrukturen über Jahrhunderte als funktionelle Elemente für terrestrische Ökosysteme.

Daher ist es wichtig die Totholzmenge auf der Brandfläche abzuschätzen, um dessen Rolle für Wiederbewaldung künftig besser untersuchen zu können.

1.2. Zielsetzungen und Abgrenzung von anderen Arbeiten

Bei der vorliegenden Arbeit wurden drei Hauptziele verfolgt.

1. Die Dokumentation der oberirdischen Biomasse auf der Brandfläche von 2003, da diese Fläche in ihrem Umfang und ihrem Totholzangebot betreffend, einzigartig ist. Zusätzlich gibt es aufgrund mangelnden holzwirtschaftlichen Interesses nur unzureichende Informationen zum Volumen oberirdischer Biomasse von Latschengebüschwäldern. In der Forschungsarbeit von Düggelin und Abegg (2011) wurden zwar Modelle zu Biomasse und Holzvolumenschätzung im schweizerischem Gebüschwald entwickelt, jedoch wurde die Erhebung ausschließlich an lebenden Pflanzen und vorwiegend oberirdischen Stämmen durchgeführt. Weiters haben sich Fattorini et al. (2004) mit dem durchschnittlichen oberirdischen Gehölzvolumen der Latsche und Trendelenburg (1939) mit der Berechnung von Raumdichten von Kiefern beschäftigt. Weiters dient die Dokumentation der oberirdischen Biomasse auf der Brandfläche zur Erklärung welche Rolle das Totholz als ökologisches Erbe und der damit in Verbindung stehenden Wiederbewaldung spielen kann.

2. Einzelstammerhebungen, die folgende Punkte beinhalten:

a. Die Entwicklung einer allgemein gültigen **Volumsfunktion** für Latschen, die mittels einfach zu erhebenden Parametern wie Stammfußdurchmesser und Stammlänge angewendet werden kann, sowie die Berechnung der für die Funktion benötigten spezifischen Latschen-Formzahl. In der Literatur beschränkt sich die Entwicklung von Formzahlen meist auf Baumarten von wirtschaftlichem Interesse (Fichte, Tanne, Buche, Kiefer, Lärche, Eiche usw.) (Gruber 2014; Pollanschütz 1974; Pollanschütz 1976; Schieler 1988; Johann 1968) jedoch gibt es kaum Informationen zu Formzahlen von Gebüschwaldarten.

b. Die Biomasseschätzung einer durchschnittlichen Latschenlode. Dadurch soll eine Verbesserung der Datengrundlage zur Abschätzbarkeit der Biomasse von Latschen innerhalb eines Gebüschwaldes ermöglicht werden. Die Datenerhebung kann in späterer Folge als Grundlage dienen, um die Rolle der Latschen als Funktion innerhalb der Wälder als Kohlenstoff (C)-Senken zu erkennen. Das ist wichtig für Bestimmungen der Senkenstärke von Wäldern und Gebüschflächen im Zuge des Kyoto-Protokolls. Mit Biomasseschätzungen und den akkumulierten Nährstoffgehalten von *Pinus mugo* haben sich auch Dusek et al. (2012) im Zuge ihrer Forschungsarbeit in den tschechischen Orlické hory Bergen auseinandergesetzt. Im Gegensatz zu Dusek et al. (2012) wurden bei der vorliegenden Arbeit das Fünffache an Proben untersucht und die Berechnungsmodelle unterscheiden sich voneinander.

3. Dendrochrochronologische Untersuchungen um

a. Einblicke in die Altersverteilung innerhalb der Latschenbestände zu erlangen. Dies soll Rückschlüsse auf mögliche in der Vergangenheit stattgefundene Großereignisse (z.B. Feuer) zulassen.

b. Zusammenhänge zwischen der Ausprägung von Jahrringbreiten und klimatischen Einflüssen aufzuzeigen. Dabei soll festgestellt werden, ob die Einflussfaktoren Niederschlag und Temperatur mit den Jahrringbreiten korrelieren. Weiters sollen Wachstumstreiber (z.B. hohe Frühjahrstemperaturen) identifiziert werden und mögliche Auswirkungen des Brandes auf die überlebenden Latschenindividuen oberhalb der Brandfläche festgestellt werden.

Die Beziehung zwischen Klima und Baumwachstum hat bereits Leonardo da Vinci (1452-1519) erkannt. Seit den ersten Pionierleistungen der Jahrringforschung im 18. und 19. Jahrhundert (Evelyn, Duhamel, Hartig, Freiherr von Seckendorff-Guden, Douglas) stehen heute neben der Beobachtung

und Aufzeichnung (skeleton plots) von Jahrringbreiten moderne Messmethoden zur Verfügung. Dies führte zu umfangreichen Erkenntnissen auf dem Gebiet der Jahrringforschung. Viele Forschungsarbeiten deuten auf eine Wechselwirkung zwischen Baumwachstum und Klima hin, die mit sich verändernden Umweltbedingungen einhergehen. (Siehe dazu: Schweingruber 1983, Schweingruber 1993, Frittas 1976, Dobbertin und Giuggiola 2006.) Ausführungen die sich speziell mit dem klimabedingten Wachstum und der Ausbreitung von *Pinus mugo* beschäftigen sind unter anderem in den Arbeiten von Hoch und Körner 2009; Dullinger et al. 2003; Dullinger et al. 2004; Dirnböck et al. 2003 zu finden.

Aus den Zielsetzungen lassen sich folgende Forschungsfragen ableiten:

1. Wie viel Latschen-Totholz gibt es auf der Brandfläche von 2003 im Nationalpark Kalkalpen? Wie viel Volumen in Kubikmeter hat das vorhandene Totholz pro Hektar?
2. Welche mathematische Funktion beschreibt das Volumen einer Latsche mithilfe der Variablen Stammdurchmesser und Länge? Wie lautet die spezifische Formzahl für Latschen? Wie viel Biomasse beinhaltet eine Latschenlode (Einzelstamm)?
3. Gibt es eine homogene Altersverteilung in den Latschenbeständen? Kann man durch die Altersverteilung der Latschen Rückschlüsse auf frühere Großereignisse ziehen? Gibt es Korrelationen zwischen Jahrringbreiten und dem Klima? Von welchen Faktoren wird die Jahrringbreitenentwicklung getrieben? Hat der Brand von 1950 bzw. 2003 Einfluss auf die Zuwächse in den Folgejahren?

1.3. Aufbau der Arbeit

Die Dokumentation der oberirdischen Biomasse von Latschengebüschen erfolgte über die Ermittlung des Totholzvolumens auf der Brandfläche. Wie in Kapitel 4.1.2 beschrieben, wurden zunächst auf der Untersuchungsfläche sechs Transekte festgelegt, an denen anschließend nach der Linien-Intersekt-Methode nach Shiver und Borders (1996) das Volumen des liegenden Totholzes je Kubikmeter pro Hektar ermittelt wurde. Danach konnte eine Hochrechnung für die gesamte in etwa 14 Hektar umfassende Brandfläche vorgenommen werden. Im Kapitel 5.1 werden die Ergebnisse der Totholvolumenberechnung dargestellt und in Kapitel 6.1 diskutiert.
Für die Auswertung der Einzelstämme, (Kap. 4.1.2) mit dem Ziel einer allgemein gültigen Volumsfunktion (Kap. 4.1.2.1) und einer spezifischen Formzahl für Latschen, sowie der Ermittlung der

Biomasse einer Latschenlode (Kap. 4.1.2.2), wurden zunächst die Volumen sowohl von lebenden als auch toten Latschenstämmen sektionsweise berechnet.

Die mathematische Funktion zur Abschätzung des Volumens mithilfe einfach zu erhebender Parameter und einer baumartspezifischen Formzahl, wird in Kapitel 5.2.1 vorgestellt.

Die Biomassewerte einer durchschnittlichen Latschenlode je nach Modellrechnung werden in Kapitel 5.2.2 erläutert und in Kapitel 6.2.2 diskutiert.

Als letzter Punkt werden die dendrochronologischen Auswertungen behandelt. Die Methoden der Jahrringanalyse werden im Kapitel 4.1.3 ausführlich erklärt und in weiterer Folge wird auf die Ergebnisse der dendrochronologischen Fragestellungen eingegangen (Kap. 5.3). In Kapitel 6.3. werden die Ergebnisse der Altersverteilung sowie die Zusammenhänge zwischen den Jahrringbreiten und den klimatischen Faktoren diskutiert.

2. Untersuchungsfläche/Brandfläche

2.1. Charakteristik der Brandfläche

Die Brandfläche präsentiert sich als eine Geröllhalde mit liegendem und etwas stehendem Totholz (**Abbildung 2.1** und **Abbildung 2.2**), mit dazwischenliegenden Inseln (vor allem in Gräben) mit niedriger Vegetation (Weigand 2008; Weigand s.a.).

Kalas und Berg (2013) charakterisieren die Brandfläche als eine Fläche auf der es eine niedrig ausgeprägte Pflanzenschicht mit inhomogenen Stellen gut wachsender Kräuter gibt. Es kommen typische Arten sowohl für Bergkahlflächen *(montane forest clearings)*, als auch für subalpine Geröllvegetation *(subalpine talus vegetation)* vor. Weiters finden sich viele Arten der collinen bis submontanen Höhenstufen wie z.B. *Mycelis muralis* (Mauerlattich), *Calamagrostis epigeios* (Land-Reitgras), *Thymus pulegioides* (Breitblättriger Thymian) und solche die für anthropogen geprägte Standorte charakteristisch sind wie z.B. Urtica dioica (Große Brennessel), Epilobium montanum (Berg-Weidenröschen), Taraxacum officinale agg. (Gewöhnlicher Löwenzahn) (Kalas und Berg 2013).

Vereinzelt gibt es überlebende Latschen (*Pinus mugo*) und Lärchen (Larix decidua), sowie schlecht wachsende und oft verbissene Baumsprösslinge dieser Arten (Weigand s.a., eigene Beobachtung). Kalas und Berg (2013) konnten dem widersprechend eine gute Lärchenverjüngung beobachten, wobei die meisten Individuen nicht älter als 1-3 Jahre alt waren. Beobachtungen zufolge weisen diese Jungpflanzen jedoch hohe Mortalität auf, vorwiegend durch Dürreperioden, die zu Austrockung führten (Wegand, pers. Komm.).

Es ist anzunehmen, dass der ursprüngliche Vegetationstyp Subalpine Krummholzvegetation auf Kalkfels (Rhodothammno-Laricentum) (Willner und Grabherr 2007) war, da dieser Vegetationstyp auch auf den angrenzenden Gebieten vorkommt (Kalas und Berg 2013).

Der Brand selbst begann offiziell am 17. August 2003, wurde aber vermutlich bereits zwei Tage früher durch einen Blitzschlag ausgelöst und dauerte acht Tage bis durch eine starke Regenfront der Brand unter Kontrolle gebracht werden konnte. Seitens der Feuerwehr wurden nur aufflammende Brandnester bekämpft, was dazu führte, dass über weite Teile der Fläche, nahezu der gesamte Boden

bis auf die Gesteinsoberfläche verbrannt ist (Weigand 2008). Dies führt zu dauerhaften Schäden der Vegetation und hat auf den Boden, durch hohe Verluste an organischem Material, langfristige Auswirkungen (Kloss et al. 2012). Die Entwicklung der Fläche nach dem Brand kann nach Weigand (2008) in vier Phasen eingeteilt werden:

1. Die Graue Phase - unmittelbar nach dem Brand (2003):

Das gesamte Gebiet ist mit lockerer Asche bedeckt, es sind so gut wie keine Tiere zu beobachten.

2. Die Schwarze Phase – das erste Jahr nach dem Brand (2004):

Durch Regenfälle verschwindet die graue Asche und verkohltes Holz, Steine und Felsen kommen zum Vorschein. Es kommt auf der Fläche zu massiver Erosion, ausgelöst einerseits durch das Absterben der Vegetation (Verlust des Wurzelzusammenhalts) und andererseits durch die dort vorherrschenden extremen Wetterbedingungen (Niederschläge treffen durch Westfronten unmittelbar auf den Gebirgsstock, extreme Sommertrockenheit durch südexponierte Lage, hohe tages- und jahreszeitliche Temperaturunterschiede) (Weigand s.a.). Die Artenvielfalt und Besiedelungsdichte der Bodenfauna hat sich stark reduziert.

3. Die Schwarz-weiße Phase - Das zweite Jahr nach dem Brand (2005):

Felsen und Steine wurden von Regen und Schnee wieder „weiß“ gewaschen und bilden einen starken Kontrast zu dem verbrannten, schwarzen Totholz. Es entwickelt sich nur spärlich Vegetation, und die Erosion hält unvermindert an. Ganze Flächen des lockeren Gesteins wandern talwärts und werden nur teilweise vom auf der Fläche liegenden Totholz gehalten. Es entwickelt sich eine Ausgeprägte Stein- bzw. Schutthalde. Durch den vergangenen Schneereichen Winter wird zudem eine große Menge des Latschen-Totholzes talwärts transportiert.

4. Beginn der Weißen Periode - das dritte Jahr nach dem Brand (2006):

Es löst sich zunehmend die verkohlte Borke von den verbrannten Latschen und Lärchen sodass das darunterliegende Holz zum Vorschein kommt und durch die starke Sonneneinstrahlung rasch ausbleicht. Das Feinmaterial und die Reste des Organischen Bodens haben sich weiter Reduziert und sind auf weniger als 3% gegenüber vor dem Brand gesunken. In wenigen geschützten Senken konnten erste Bodenverfestigungen beobachtet werden. Zudem entwickelte sich die Brandfläche als attraktives Habitat für Totholzbewohner unterschiedlicher Art (z.B. Schlupfwespen, Laufkäfer, Hundertfüssler).

In unmittelbarer Nähe zu der Untersuchungsfläche, mit nahezu gleicher Ausrichtung und Exposition, befindet sich eine weitere Brandfläche, die bereits im Jahr 1950, vermutlich ebenfalls durch Blitzschlag verursacht, abbrannte.

Abbildung 2.1 Foto von der Brandfläche (westlich des Haglergipfels) mit liegendem Totholz (2013)

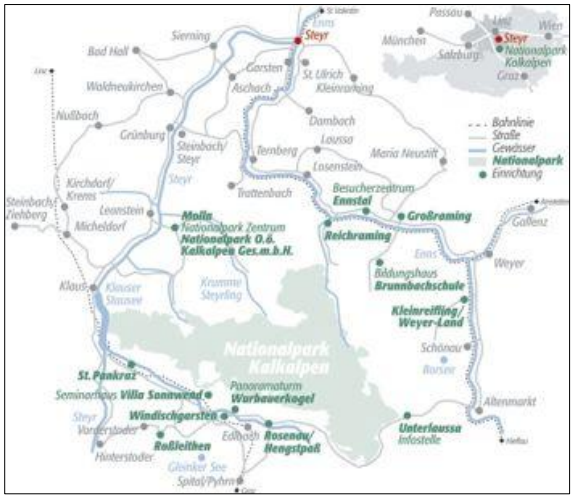
Abbildung 2.2 Bild von der Brandfläche mit aufragendem Lärchentotholz.

2.2. Lage der Untersuchungsfläche

Die Untersuchungsfläche befindet sich am Rand des Nationalpark Kalkalpen (siehe **Abbildung 2.3**). Die Brandfläche ist im Sengsengebirge, welches den nördlicher Vorposten der alpinen Kalkalpen darstellt, angesiedelt. Der etwa 20 km lange Hauptkamm des Sengsengebirges erreicht mit dem Hohen Nock (1.963m) seine höchste Erhebung.

Die Datenerhebung fand auf der Brandfläche von 2003, westlich der Bergspitze des Hagler (1669m) statt (siehe **Abbildung 2.4** und **Abbildung 2.5**).

Es handelt sich dabei um eine ca. 14 Hektar große, südexponierte Brandfläche (Mitte der Brandfläche: Hochwert 522.824, Rechtswert 292.778 (Fuxjäger 2007)), mit 30 bis 40 Grad Geländeneigung. Der niedrigste Punkt der Brandfläche liegt bei 1381 Meter Seehöhe und diese erstreckt sich über rund 260 Höhenmeter bis zu einer Seehöhe von 1639 Meter (Weigand s.a.).



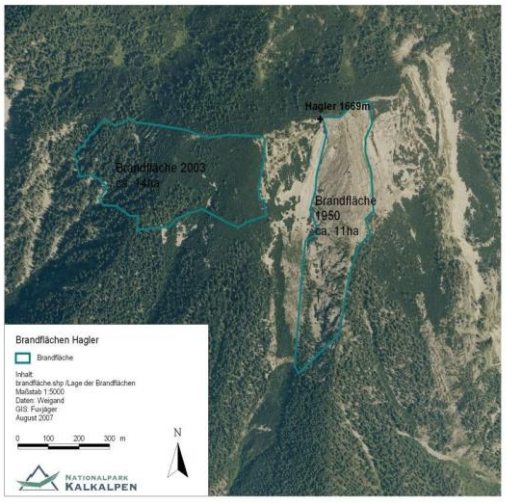


Abbildung 2.3: Lage der Untersuchungsfläche (Nationalpark Kalkalpen 2014)
Abbildung 2.4: Lage der Brandfläche westlich der Hagler-Spitze (Weigand und Fuxjäger 2007)

Abbildung 2.5: Blick von der Brandfläche ins Tal (Windischgarsten) (Foto: Felix Pfaffstaller 2013)

2.3. Geologie und Boden

Der geologische Aufbau des Sengsengebirges ist in seinem Grundzug durch Wettersteinkalk, Dachsteinkalk, Hauptdolomit und Ramsaudolomit geprägt. Es ist Teil der Staufen-Höllengebirgs-Decke (Tirolikum) (Kutzenberger et al. 2007).

Typisch für das Sengsengebirge ist die durch den steilen Schichtbau bedingte ausgeprägte Kettenform, welche die volle Ausbreitung der alpinen Karren- und Dolinenlandschaft in der breiten Kuppenlandschaft um den Hohen Nock erreicht. Das gesamte Sengsengebirge weist ausgedehnte innere Hohlkörper auf, die in den Bergfußbereichen in Karstquellen zu Tage treten.

Das Becken von Windischgarsten ist eine der sogenannten Salinarmulden. Sie entstand durch Verdunstungsprozesse und Lösungsvorgänge sowie nachträgliches Einsinken der nicht löslichen Stoffe. Die weitere Formung des Gebietes entstand durch Gletscher (Kutzenberger et al. 2007).

Zeitlicher Aufbau der Gesteinsschichten:

- Dachsteinkalk: Trias (200 Mio.) weiß-grau, intensiv verkarstet, Bildung von Höhlensystemen
- Hierlatzkalk: Jura (185 Mio.) rosa bis gelblich, gute Verkarstung, häufig im Nationalpark
- Fleckenmergel: Jura (175 Mio.) dunkel-fleckige Mergel und Kalke, brüchig, kaum verkarstet
- Rossfeldschichten — Alpiner Flysch: Kreide (110 Mio.), Grundlage für gute Almböden, wenig standfest, verantwortlich für häufige Bergrutsche und Plaiken

(Kutzenberger et al. 2007, Nationalpark OÖ Kalkalpen 2014, Amt der Oö. Landesregierung 2014).

Auf der Untersuchungsfläche ist hauptsächlich der unten angeführte Humustyp und folgender Bodentypen vorzufinden:

- **Rohhumus:** L-F-H- Ah infiltriert (Ahe, Ae) /Fels-Auflagehumusboden auf Kalkfels: F-(Ai)- Cn
- **Rendzina:** (F-H-) Ahb-C; (F-) H-C

Der Humustyp **Rohhumus** / Fels-Auflagehumusboden kommt auf Kalk und Dolomit vor. Er entwickelt sich durch Akkumulation organischer Substanzen auf Fels oder grobem Blockwerk und ist durch eine (5-30 cm) mächtige Humusauflage gekennzeichnet. Meist fehlt ein humoser A-Horizont. Die Auflage ist in Grob- und Feinhorizonte geteilt, wobei sich die Übergänge der einzelnen Horizonte stark voneinander abheben. Der Bodentyp weist einen niedrigen (meist unter 4) pH-Wert auf und verfügt über ein mäßiges Wasserspeichervermögen. Der Nährstoffvorrat ist sehr gering, da es zu stark verzögerter Umsetzung kommt. Die Verfügbarkeit der vorhandenen Nährstoffe hingegen ist gut. (Kilian 2002, Scheffer und Schachtschnabel 2010).

Rohhumusböden bilden sich auf äußerst nährstoffarmen und grobkörnigen Böden. Zudem liegen sie unter einer Vegetationsdecke, die schwer abbaubare und nährstoffarme Streu liefert. Ein kühl-feuchtes Klima begünstigt ebenfalls die Bildung von Rohhumusböden (Scheffer und Schachtschnabel 2010).

Der Bodentyp **Rendzina** entwickelt sich auf karbonatischem Fels- oder Lockergestein (Kalk, Dolomit und Gipsgestein). Rendzinen sind typisch für Karstgebiete und Gebirge in denen kalkreiches Material und Hangneigung zusammentreffen. Bei günstigen Bedingungen können sich Rendzinen zu Schwarz- oder Braunerden weiterentwickeln.

Rendzinen weisen zwei Horizonte (Ahb/C) auf. Über dem Ausgangsmaterial (karbonatisch) liegt ein durchgängig entwickelter humoser und skelettreicher Mineralbodenhorizont (Ah). Der durch Frostsprengung oft zerteilte obere Gesteinshorizont ist meist mit Sekundärkalk angereichert. Das Substrat des aufgewitterten Auflagehumus kann von unterschiedlicher Mächtigkeit sein.

Renzinen sind sehr gut strukturierte, aber flache Böden mit weniger als 40 cm Mächtigkeit und zeichnet sich deshalb durch geringe Wasserspeicherung und Nährstoffverfügbarkeit aus. Der hohe Ph-Wert und die hohe Ca-Sättigung ermöglicht eine intensive Tätigkeit der Bodenorganismen, insbesondere der Regenwürmer (Kilian 2002, Scheffer und Schachtschnabel 2010).

2.4. Klima

Das Sengsengebirge ist durch ein feucht-gemäßigtes ozeanisches Klima geprägt und erreicht in den Hochlagen alpinen Charakter. Durch deutlich geringere Niederschläge als in den westlichen Kalkalpen macht sich der auslaufende Einfluss des pannonischen Klimas bemerkbar.
Das Gebirge liegt im Nordstaubereich und ist durch die dort auftretende Prallhangsituation geprägt. Die Niederschlagsmenge nimmt mit steigender Seehöhe zu und erreicht Werte zwischen 1200 und 2100 mm Jahresniederschlag, wobei die Maximalwerte im Sommer auftreten.
Die Mittleren Neuschneemengen erreichen 222 cm Höhe und an durchschnittlich 57 Tagen des Winters wird eine Schneedecke von über 10 cm Höhe gemessen (Kutzenberger et al. 2004).

3. Die Latsche - *Pinus mugo spp.*

3.1. Verbreitung

Das Verbreitungsgebiet der Latschen (*Pinus mugo)* ist Zentral und Südosteuropa. Das westlichste Vorkommensgebiet liegt nahe der Schweiz-österreichischen Grenze und führt über die Ostalpen in süd-östlicher Richtung über die Dinariden (Slowenien, Kroatien, Bosnien, Montenegro, Serbien, Mazedonien und Bulgarien) und reicht bis zu den Karpaten (Rumänien). Zusätzlich gibt es isolierte Populationen im Zentralbereich des Apennins, Griechenland und Albanien. (Christensen 1987, Ellmauer 2005). Die unten stehende **Abbildung 3.1** zeigt das Verbreitungsgebiet der *Pinus mugo* (rot) und der *Pinus uncinata* (Spirke) (grün), deren Verbreitungsschwerpunkt in den Westalpen liegt.

Abbildung 3.1: Darstellung des Verbreitungsgebietes von *Pinus mugo* (Latsche) in rot dargestellt und *Pinus uncinata* (Spirke) in grün abgebildet (Barbéro et al., in Richardson 1998).

3.2. Habitat/Standortfaktoren

Das natürliche Verbreitungsgebiet der Latsche (*Pinus mugo*) liegt oberhalb der potentiellen Waldgrenze. Das sind meist sehr flachgründige, trockene Standorte in der subalpinen und hochmontanen Höhenstufe (Essl et al. 2002). Latschengebüsche können in der subalpinen Zone der Kalkgebirge ausgedehnte Bestände bilden. Deshalb werden Latschen oft für basiphil gehalten, was jedoch nicht zutrifft. Sie sind nicht an Kalk gebunden und kommen laut Ellenberg und Leuschner (2010) an allen Standorten vor, die einerseits baumfeindlich sind und andererseits noch von Gebüschen besiedelt werden können. In den Übergangsbereichen von Waldgrenze zu Krummholz kommen noch vereinzelt andere Baumarten (wie z.B. Lärche [*Larix decidua*], Fichte [*Picea abies*] oder Zirbe [*Pinus cembra*]) vor, die aus dem Latschengebüsch wie Säulen hervorragen (Elmauer 2005). Generell können Latschen bis in 2200 Meter Seehöhe geschlossene Bestände bilden (Vacik et al. 2010).

Im Bereich potentieller Waldstandorte können Latschen ausgedehnte Buschwälder bilden, vor allem dann, wenn Almgebiete und andere alpine Gras- und Weideflächen zu wenig bestockt oder ganz aufgelassen werden (Essl et al.2002, Dullinger et al. 2003).

Latschen kommen auf Sonderstandorten (Blockschutt, Lawinenbahnen, Murschutt) vereinzelt vor und stellen dort eine natürliche Dauergesellschaft dar. Sie können aber auch abhängig vom Standort eine Pioniergesellschaft (Waldentwicklungsstadium auf flachgründigen, unreifen Böden), oder besonders in der subalpinen Stufe, wo die Latsche aufgrund klimatischer Bedingungen die Waldvegetation ersetzt, die zonale Klimaxvegetation darstellen (Elmauer 2005, Vacik 2010).

Latschen sind sowohl auf durchlässig-skelettreichen als auch auf vernässten Böden, sowie auf jedem Grundgestein (häufig aber auf Kalk und Dolomit) anzutreffen (ETH Zürich 1995).

3.3. Gefährdungen und Gefährdungsstatus

Auf stark eingestrahlten Südhängen kann es zu Frosttrocknis kommen, die dann auftritt, wenn Pflanzen im Winter bei gefrorenem Boden Wasserverluste durch Verdunstung erleiden (Vacik et al. 2010).

In besonders schneereichen Mulden und bei langer Schneebedeckung kann der schwarze Schneeschimmel (Heprotichia *juniperi*) auftreten, bei dem es zu einem Absterben der schneebedeckten Triebe sowie der Verjüngung kommt. Weitere Gefährdungen stellen Wildverbiss (besonders an Verjüngung), Waldbrände, Schneebruch und Sturmereignisse dar. Letztgenanntes ereignet sich häufig auf flachgründigen Böden (ETH Zürich 1995, Vacik et al. 2010).

Laut der IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources) (2013) wird *Pinus mugo* als „Least Concern[1]“ eingestuft. In der Roten Liste der Waldbiotoptypen Österreichs (Essl et al. 2002) sowie in den Roten Listen der Bundesländer Kärnten, Salzburg und Vorarlberg werden Latschengebüsche derzeit als „nicht gefährdet“ eingestuft (Petutschnig 1998, Wittmann und Strobl 1990, Grabherr und Polatschek 1986).

3.4. Ökologie

Das physiologische Optimum erreicht die Latsche bei trocken bis frischen und mäßig sauren bis basischen Böden. Aufgrund der Konkurrenzschwäche und Lichtbedürftigkeit wird die Latsche auf nährstoffarme Extremstandorte zurückgedrängt und kann ihre physiologische Amplitude, die das gesamte Spektrum von nass bis dürr und sehr sauer bis basisch umfasst, nicht nutzen. Vor allem im

[1] LEAST CONCERN (LC)
A taxon is Least Concern when it has been evaluated against the criteria and does not qualify for Critically Endangered, Endangered, Vulnerable or Near Threatened. Widespread and abundant taxa are included in this category (IUCN 2013)

trockenen Bereich bildet die Vorkommensgrenze der Fichte den Beginn des Latschenauftretens(Ellenberg und Leuschner 2010, ETH Zürich 1995).

Die **Abbildung 3.2** zeigt ein Ökogramm nach Ellenberg (1996), in dem die waldbildenden Baumarten der sub-montanen Höhenstufe Mitteleuropas abgebildet sind.

Bei der Betrachtung des Ökogramms wird deutlich, dass die Kiefern (Pinus sp.) an den ökologischen Rand gedrängt werden und sich nur dort durchsetzen können, wo andere Baumarten aufgrund der extremen Standortbedingungen nicht mehr gedeihen können.

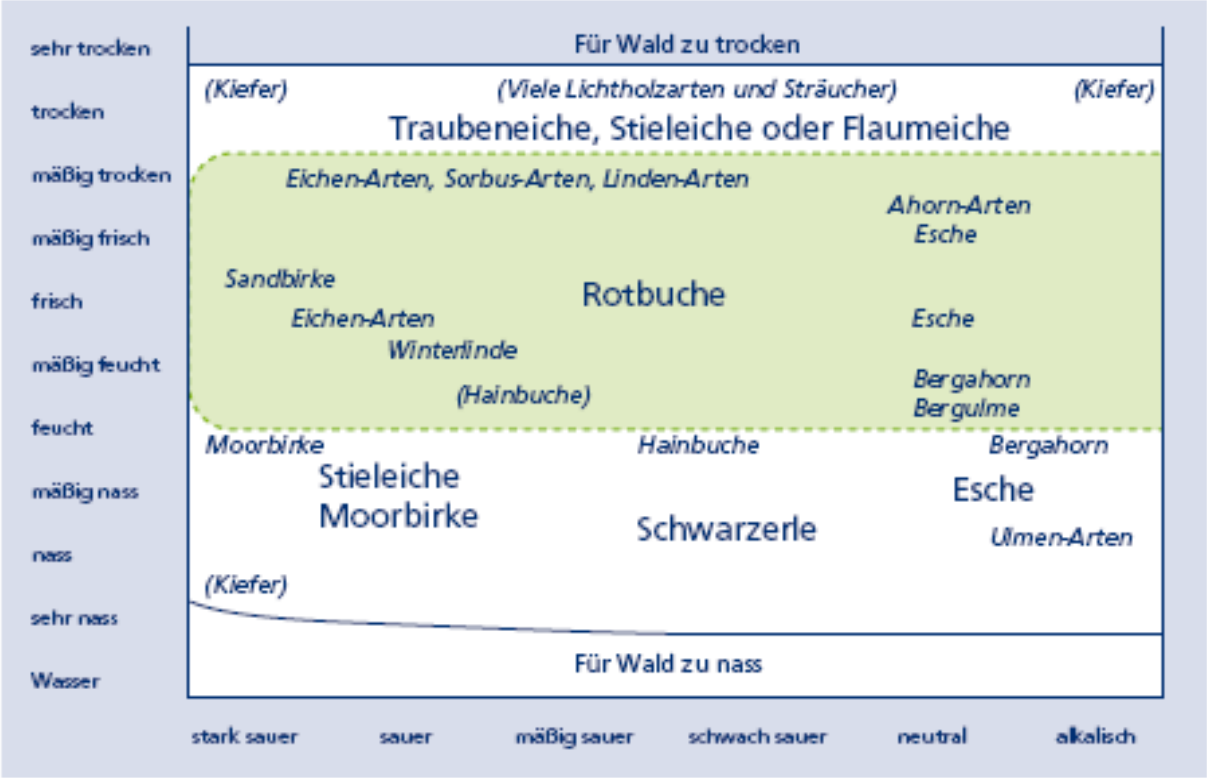


Abbildung 3.2: Ökogramm der Waldbaumarten im Naturwald in der submontanen Höhenstufe Mitteleuropas (nach Ellenberg und Leuschner 2010).

Weiters stellt die Latsche geringe Ansprüche an das Klima und ist sehr winterhart. Latschen haben auch nur geringe Ansprüche an den Wasserhaushalt, sowie an die Nährstoffverfügbarkeit (Ellenberg und Leuschner 2010, ETH Zürich 1995).

Außerdem ist die Latsche sehr lichtbedürftig. In der frühen Jugend ist sie eine Halblicht- und ab der Dickung eine reine Lichtbaumart (ETH Zürich 1995).

3.5. Verjüngung von Latschen

Latschen verjüngen sich sowohl vegetativ als auch generativ.

Auf nordexponierten Hängen kommt überwiegend generative Verjüngung vor (Vacik et al. 2010). Latschen werden windbestäubt und blühen im 4.-10. Jahr, wobei sie fast jährlich fruktifizieren. Sie zeichnen sich durch langsames Wachstum aus und können mehrere 100 Jahre alt werden (Ellenberg und Leuschner 2010).

Hafenscherer (1985) stellt fest, dass die spärliche generativer Verjüngung der Latschenbestände, die zudem an bestimmte Standortfaktoren gebunden ist, nicht zur Regeneration einer Klimaxgesellschaft ausreicht. Zu diesen Standortfaktoren zählen Konkurrenzarmut und lokal gesteigerte Feuchtigkeit.

Bei der vegetativen Verjüngung werden Äste durch Schnee oder Geschiebe zu Boden gedrückt und bilden dabei sekundäre Wurzeln aus (Vacik et al. 2010). Die niederliegende Wuchsform nimmt mit zunehmendem Alter, bedingt durch die Schwerkraft, zu. Dabei werden die liegenden Ast- und Stammteile, begünstigt durch eine mächtige Humusauflage, in den Boden eingebettet und mit der Zeit von der Bodenvegetation überwachsen. Schuttnachlieferung kann ebenfalls zu einer Überdeckung der Äste und Stämme führen. Die unterirdischen Astteile sind meist bewurzelt, aber auch Astteile die auf humosen feuchten Standorten oder auf trockenen Grobblockhalden und Felsstandorten aufliegen, können bereits Wurzeln ausbilden (Hafenscherer 1985).

Diese sekundär bewurzelten Äste können infolge zu Ablegerästen werden, die an den Verbindungsstellen absterben und sich zu eigenständigen Pflanzen entwickeln bei denen die Sekundärwurzeln die Versorgung der jüngeren Äste übernehmen. Abiotische und biotische Faktoren (z.B. Fäulnis oder Reliefhindernisse) beenden die Verjüngungsentwicklung meist in Falllinie (Hafenscherer 1985). Die untenstehende **Abbildung 3.3** zeigt ein typisches Latschengebüsch in den nördlichen Kalkalpen mit sich bereits absenkenden Ästen.

Abbildung 3.3: Foto von einem Latschengebüsch in den nördlichen Kalkalpen. Hier sind die sich bereits absenkenden Äste gut zu erkennen (Foto: Daniel Ripper).

4. Material und Methoden

4.1. Erhebungsmethoden

Im Juni 2013 wurde die Brandfläche erstmals besichtigt. Die eigentlichen Geländeaufnahmen fanden an zwei Wochenenden im Oktober und November 2013 statt. Die Aufnahmen im Gelände erwiesen sich Aufgrund der Hangneigung und des laufend abrutschenden Gerölls als schwierig.

Die in den folgenden Kapiteln öfter verwendeten Begriffe wie Latschen-Individuum und Latschenstamm beziehen sich auf die Lode eines Latschenbusches. Es handelt sich dabei nicht um den gesamten Latschenbusch. Der Begriff Lode steht für einen einzelnen Stamm einer basiton wachsenden Gehölzpflanze (basiton heißt, die Gehölzpflanzen haben keinen Stamm als Hauptachse, sondern sie bilden regelmäßig Stämme aus bodennahen Knospen).

Ein weiterer in den nachfolgenden Kapiteln vorkommender Begriff ist der Stammfußdurchmesser. Der Stammfußdurchmesser wird an der Stelle definiert, an der die Lode aus dem Boden tritt und keine Wurzeln mehr aufweist.

4.1.1. Erhebung des Gesamttotholzvolumens der Brandfläche

Für die Volumenerhebung des liegenden Totholzes auf der Brandfläche wurde ein Linienstichprobenverfahren (line-intersect-sampling = LIS) eingesetzt. Das LIS ist ein in der Forstwirtschaft häufig verwendetes Verfahren (Warren und Olsen 1964, Marshall et al. 2000, Waddell 2002), mit dem das flächenbezogene Volumen mit hoher Präzision und vergleichsweise geringem Aufwand erhoben werden kann (Van Wagner 1968, Ståhl et al. 2001, Roth et al 2003). In der Literatur werden unterschiedliche Herangehensweisen beschrieben, die jedoch mit erheblich mehr Aufwand zu nur marginal besseren Schätzwerten kommen (Shiver und Borders 1996). Bei der

hier angewandten Methode wird der Kreuzungspunkt mit den Stichprobenlinien quer zur Mittelachse gekluppt (Shiver und Borders 1996, Vacik et al. 2000).

Die Brandfläche wurde in zwei Straten, die die Fläche in einen oberen und einen unteren Teil trennt, geteilt. Dabei wurde von der mittleren Seehöhe der Fläche ausgegangen. Anschließend erfolgte die Ermittlung von acht 50 Meter lange Transekten via Zufallszahlen (**Tabelle 4.1**), wovon sechs ausgewählt wurden. Jeweils drei Transekte befinden sich in der oberen, und drei in der unteren Hälfte der Untersuchungsfläche.

Zur Ermittlung der Transektkoordinaten wurde zuerst die Brandfläche auf google maps geortet, anschließend ein Koordinatensystem darüber gelegt und innerhalb des Koordinatensystems per Zufallszahlen die Koordinaten (= Ausgangspunkte der Transekte) sowie die Ausrichtung festgelegt (siehe **Tabelle 4.2**). Die durch google maps erhaltenen geographischen Koordinaten wurden dann mit Hilfe eines GPS-Gerätes auf die Versuchsfläche übertragen. Unter Zuhilfenahme des Kompasses konnte die bereits festgelegte Ausrichtung, transferiert werden. Von dem so ermittelten Ausgangspunkt der Ausrichtung folgend, wurde jeweils ein Markierungsband mit 50 Meter Länge ausgelegt und an zwei Fluchtstangen, jeweils am Anfang und am Ende des Transekts, befestigt. Die Fluchtstangen dienten zur Richtungsüberprüfung um Abweichungen zu vermeiden.

Tabelle 4. 1: Übersicht der Zufallszahlen zur Ermittlung der Transekte

Zufallszahlen für Länge, Breite und Ausrichtung								
Transekt Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
Breite (mm)	4	11	25	19	33	25	18	13
Länge (mm)	82	25	54	28	58	11	63	35
Ausrichtung (°)	229°	1°	325°	207°(27°)	41°	310°	190°	289°

Tabelle 4. 2: GPS Koordinaten der Transekte

GPS Koordinaten								
Transekt Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
Nord	47°46´11.05´´	47°46´12.49´´	47°46´08.81´´	47°46´09.72´´	47°46´14.10´´	47°46´09.34´´	47°46´12.42´´	47°46´10.13´´
Ost	14°18´21.39´´	14°18´12.49	14°18´17.31´´	14°18´13.35´´	14°18´17.73´´	14°18´10.64´´	14°18´18.53´´	14°18´14.29´´
Seehöhe (m)	1522	1505	1466	1455	1564	1433	1537	1470

Nachfolgend wurden die Durchmesser aller Latschenholzteile die das Transekt kreuzen, gemessen (**Abbildung 4.1 und 4.2**). Aufgrund der unregelmäßigen (ovalen) Wuchsform wurde an dem jeweiligen Kreuzungspunkt doppelt (gekreuzt) gekluppt.

Abbildung 4.1: Foto von einem Transekt auf der Brandfläche

Abbildung 4.2: Foto von Kreuzungspunkt der Transektlinie mit Totholz

Die Berechnung des Totholzvolumens erfolgte nach der von Shiver und Borders (1996) bzw. Vacik et al. (2000) entwickelten Gleichung:

$$V = \frac{\pi^2}{8L} \sum_{i=1}^{n} {d_i}^2$$

mit:

V = Volumen liegendes Totholz (m³/ha)

d_i= Durchmesser des i-ten Totholzstückes an seinem Kreuzungspunkt mit der Stichprobenlinie / Transekt (cm)

l = Gesamtlänge der Stichprobenlinie/Transekts (m)

Entscheidende Variablen bei dieser Formel sind zum einen die Gesamtlänge des Transekts und zum anderen die ungerichtete, zufällige Anordnung des Totholzes auf der Untersuchungsfläche (Van Wagner 1968, Shiver und Borders 1996). Da das Totholz auf der Brandfläche im Nationalpark Kalkalpen sehr regelmäßig ausgerichtet ist, wurde um statistische Verzerrungen zu minimieren, die Transektanordnung, also die Startpunkte sowie der Neigungswinkel, via Zufallszahlen bestimmt. Die Ergebnisse der gemittelten Transektberechnungen wurden anschließend auf die gesamte Brandfläche hochgerechnet.

4.1.2. Methoden der Einzelstammerhebung

Die Auswertung der Einzelstämme dient zum einen der Entwicklung einer Volumsfunktion, inklusive der Formzahl für Latschen und zum anderen der Ermittlung der Biomasse einer durchschnittlichen Latschenlode.

4.1.2.1. Entwicklung einer Volumsfunktion

Zur Entwicklung einer Volumsfunktion und der Formzahl ist eine möglichst genaue Berechnung des Volumens von Einzelstämmen Voraussetzung.

Zur Volumenberechnung der Einzelbäume sind fünfzehn tote und fünfzehn lebende Latschen, wie anschließend beschrieben, beprobt worden:

Es wurden möglichst intakte, tote Individuen ausgewählt. Von diesen fünfzehn Individuen wurde die Gesamtlänge des Baumes, die Verzweigungen und die unterirdischen Baumteile vermessen, sowie an fünf Zehntel (1/10, 3/10, 5/10, 9/10) der Länge des Stammes die Durchmesser bestimmt (**Abbildung 4.3**).

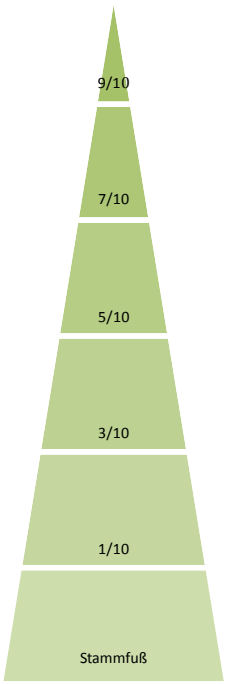


Abbildung 4.3: Schematische Darstellung der Zehntelmessung an einem Latschenstamm.

Für die Beprobung der lebenden Latschen wurden fünfzehn, möglichst die Durchmesserspreitung abdeckende Individuen ausgewählt, von denen die Gesamtlänge sowie an fünf Zehntel der Länge die Durchmesser gemessen wurden. Zusätzlich wurde von sechs Individuen das Gesamtgewicht ermittelt.

Die Stammform eines Einzelbaumes hängt im speziellen von der Baumart, seiner Entwicklung im Bestand, sowie von seiner Genetik ab (Nagel 2001). Um das Volumen der Einzelstämme möglichst genau zu berechnen wurde das Volumen sektionsweise (siehe **Abbildung 4.4**) mit Hilfe einer einfachen Volumenformel bestimmt. Dafür bietet sich der Zylinder als Modellkörper an. Für die Voluminierung der einzelnen Sektionen wurde zunächst die vereinfachte Smalian´sche Formel, bzw. das Verfahren nach Huber angewandt (Smalian 1837; Huber 1828). Diese berechnet sich wie folgt:

$$V_{Zylinder} = \sum \frac{d^2\pi}{4} . l$$

wobei *d* der durchschnittliche Durchmesser und *l* die Länge der Sektion darstellt.

Smalian´sche Formel: $V_{Smalian} = \frac{g_u + g_o}{2} . l$

Hier steht *g* für Grundfläche, *u* für Sektionsunterende, *o für* Sektionsoberende und *l* für die Sektionslänge.

$$V_{Sektion} = \frac{\frac{(d_u{}^2 + d_o{}^2)}{2}\pi}{4} . l$$

$V_{Sektion}$ ist das Volumen je Sektion (V_{S1}-V_{S5}), wobei d_u für den mittleren Durchmesser am Sektionsunterende und d_o für den mittleren Durchmesser am Sektionsoberende steht.

$$V_{Stamm} = \sum (V_{S1} + V_{S2} + V_{S3} + V_{S4} + V_{S5})$$

V_{Stamm} steht für das Volumen des Gesamtstammes und V_{S1}-V_{S5} für das Volumen je Sektion.

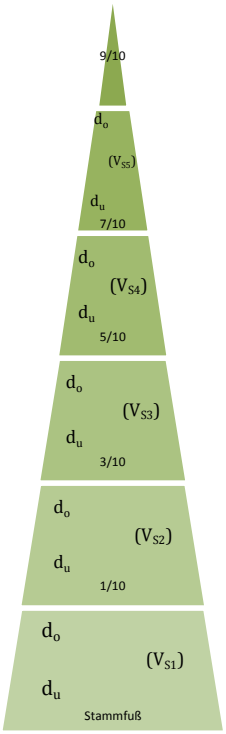


Abbildung 4.4: Schematische Darstellung der sektionsweisen Volumenberechnung eines Latschenstammes.

Um eine möglichst genaue Annäherung an das Stammvolumen zu bekommen, wurde die oben beschriebene Formel in abgewandelter Form als Vergleich herangezogen, um für die zu entwickelnde Funktion und deren Formzahl das bestmögliche Ergebnis zu erlangen.

Die Abwandlungen der ursprünglichen Formel für die Volumenberechnung können wie folgt beschrieben werden:

- **Volumen Kegel**: Es wurden sechs Sektionen berechnet. Für die ersten fünf Sektionen wurden die Zylinderform und für die letzte Sektion die Kegelform als Modellkörper herangezogen. Für die Länge der 1. und 6. Sektion wurde die Distanz zwischen Stammfuß und dem ersten Zehntel der Länge angenommen. Für die restlichen Sektionen wurde die Länge eines Zehntels der Stammlänge herangezogen.

- **Volumen Zylinder:** Auch hier wurden sechs Sektionen berechnet. Für alle Sektionen wurde der Zylinder als Modell verwendet. Die Länge der 1. und 6. Sektion ist die Distanz zw. Stammfuß und dem ersten Zehntel der Länge. Für die restlichen Sektionen wurde die Länge eines Zehntels der Stammlänge herangezogen.

- **Volumen Zylinder 1:** Es wurden fünf Sektionen berechnet, wobei für alle Sektionen die Zylinderformel herangezogen wurde. Die Länge der 1. Sektion ist die Distanz zwischen Stammfuß und dem ersten Zehntel der Gesamtlänge. Für die übrigen Sektionen wurde die Länge eines Zehntels der Stammlänge herangezogen.

- **Volumen Zylinder 2 (Ausgangsformel nach Smalian):** Auch bei diesem Modell wurden 5 Sektionen jeweils mit dem Zylinder als Modellkörper und der gleichen Länge (ein Zehntel der Stammlänge) berechnet.

Für die Durchmesser je Sektion wurden die Durchmesserwerte, der fünf Zehntelmessungen der beprobten Latschenindividuen herangezogen.

Im Anschluss an die Voluminierung der Einzelstämme wurden die Ergebnisse der Berechnung mit der jeweiligen Stammlänge und dem Stammfußdurchmesser korreliert. Die Korrelationsergebnisse lieferten Hinweise darauf, welche Volumenberechnungsvariante am besten mit den Parametern Stammlänge und Stammfußdurchmesser übereinstimmen.

Aus den nun zur Verfügung stehenden Parametern lässt sich eine Formzahl für Latschen wie folgt beschreiben:

$$Volumen = f.l.d^2.\frac{\pi}{4}$$

Somit ergibt sich für die Formzahl:

$$Formzahl = \frac{V}{l.d^2.\frac{\pi}{4}}$$

f = Formzahl

V = Gesamtvolumen

l = Gesamtlänge je Stamm

d = Stammfußdurchmesser

Durch einsetzten der nun berechneten Formzahl in die oben angeführte Volumenformel und dem anschließenden Vergleich zwischen den unterschiedlichen sektionsweisen Volumenberechnungen, wurde die Zuverlässigkeit der Formzahl geprüft.

4.1.2.2. Biomasse der Einzelstämme

Für die Biomasseberechnung wurden bei den fünfzehn ausgewählten lebenden Individuen alle Äste gezählt und der Durchmesser der Äste am Stammansatz gemessen. Anschließend wurden für jedes Individuum 5 Äste nach einer Auswahlmethode bei der die Gesamtzahl der Äste durch die gewünschte Probenanzahl dividiert wurde, zum Abschneiden und Mitnehmen für spätere Labortrocknung bestimmt.

Anschließend kamen die ausgewählten Äste zur einwöchigen Vortrocknung bei 40 Grad Celsius in den Darrofen. Danach waren die Äste soweit getrocknet, dass sich die Nadeln gut von dem Holz trennen ließen. Dabei wurden Nadeln, Zapfen und Holz jeweils in ein Papiersäckchen, zur weiteren Trocknung aufgeteilt und entsprechend beschriftet. Danach kamen die Äste erneut in den Darrofen, diesmal 24 Stunden bei circa 100 C°, um den Feuchtgehalt vollständig aus der Biomasse zu entfernen. Woraufhin die Äste erneut mittels Digitalwage abgewogen (aufgetrennt in Nadeln, Zapfen und Holz) wurden.

Die Biomasse eines Einzelstammes errechnet sich aus der Biomasse der Zapfen, Nadeln und Äste (Holzteile) plus der Stammbiomasse.

Die Stammbiomasse wurde durch das Multiplizieren des Stammvolumens mit der Holzdichte errechnet. Für die Volumenberechnung der Einzelstämme wurden unterschiedliche Modelle (siehe

Kapitel 4.1.2.1 Entwicklung der Volumsfunktion) herangezogen. Hierfür wurde mit den Modellen „Zylinder 2“ und „Kegel“ gerechnet. Für die Dichte wurde der Darrdichtewert für Kiefer (=0,49 g/cm³) angenommen (Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe 2000).

Da ein Zusammenhang zwischen der Trockenbiomasse (Zapfen, Nadeln, Äste (Holzteile)) mit dem jeweiligen Astdurchmesser mit einem Bestimmtheitsmaß R^2 von 0,68 gegeben ist, konnte für die nicht erhobenen Äste eine Hochrechnung angestellt werden.

Dafür wurde der Biomassenmittelwert der im Labor getrockneten Äste (= Trockenbiomasse aus Zapfen, Nadeln, Äste (Holzteile)) b_T mit den jeweiligen Astdurchmesser der nicht erhobenen Äste d_{xi} multipliziert und anschließend durch den mittleren Durchmesser der Laborproben d_T dividiert. Siehe folgende Formel:

$$Biomasse_{xi} = \frac{b_T \cdot d_{xi}}{d_T}$$

Rechnet man nun den Mittelwert aus der hochgerechneten Astbiomasse und der Stammbiomasse erhält man die durchschnittliche Biomasse einer Latschenlode.

4.1.3. Dendrochronologische Auswertung

Für die spätere Jahrringanalyse wurde von allen (fünfzehn lebende und vierzehn tote) ausgewählten Latschenindividuen jeweils eine Stammscheibe am Stammfuß geworben. Von zehn der neunundzwanzig Bäume wurden zusätzlich an fünf Zehntel der Stammlänge (siehe **Abbildung 3.3**), Stammscheiben zur dendrochronologischen Auswertung gewonnen.

Zusätzlich wurden entlang der Transekte intakte Latschen ausgewählt und Stammscheiben geworben, welche jedoch nicht in die Auswertung gelangten.

Es wurden alle Stammscheiben zur Vermessung ins dendrochronologische Labor des Instituts für Holzforschung in Tulln gebracht. Dort wurden sie genauer in Augenschein genommen und entschieden, dass acht der lebenden und zwei der toten Latschenproben nicht verwertbar sind. Eine Probe war bereits zu verwittert, eine andere hatte die Form eines Dreiecks und war deshalb nicht

aussagekräftig, die übrigen acht ausgeschiedenen Proben waren zu klein um vermessen werden zu können. Die Übersichten in den **Tabelle 4.3 und 4.4** zeigen die zur Jahrringbreitenmessung herangezogenen Proben, Latschen-Proben die nicht vermessen wurden, sowie deren Ausschluss-kriterien.

Tabelle 4. 3: Übersicht der zur Jahrringbreitenmessung ausgewählter lebender Latschenproben. X = vermessen

Proben lebender Latschen						
Baumprobe	**Stammfuß**	**1/10**	**3/10**	**5/10**	**7/10**	**9/10**
1	x	x	x	zu klein	zu klein	zu klein
2	x	x	x	x	x	x
3	x	x	x	x	x	x
4	x	dreieckig	x	x	zu klein	zu klein
5	x	x	x	x	x	x
6	x					
7	x					
8	x					
9	x					
10	x					
11	x					
12	zu klein					
13	x					
14	x					

Tabelle 4. 4: Übersicht der zur Jahrringbreitenmessung ausgewählter toter Latschenproben. X = vermessen

Proben toter Latschen						
Baumprobe	**Stammfuß**	**1/10**	**3/10**	**5/10**	**7/10**	**9/10**
1	x	x	x	x	x	x
2	x	x	x	x	x	zu klein
3	x	x	x	x	x	x
4	x	x	x	x	x	x
5	x	x	x	x	x	x
6	x					
7	x					
8	x					
9	x					
10	verwittert					
11	x					
12	x					
13	x					
14	x					
15	x					

Zunächst wurden die Proben mit der Bandschleifmaschine bei Körnung 50 vorbearbeitet und mit einem rotierenden Schleifteller in drei weiteren Verfeinerungsschritten bis zu Körnung 600 äußert fein geschliffen (Methode nach Grabner 2013).

Die Proben wurden anschließend unter dem Auflichtmikroskop durch einfaches Auszählen der Jahrringe vordatiert. In diesem Schritt wurden zum einen undeutliche und schmale Jahrringgrenzen erkannt und zum anderen das teilweise oder gänzliche Ausfallen oder Auskeilen der Jahrringe berücksichtigt.

Kommen in einer Vegetationsperiode äußerst ungünstige Wachstumsbedingungen vor, kann es dazu kommen, dass das Kambium seine Zellbildung reduziert oder völlig einstellt und ein oder mehrere Jahrringe teilweise oder komplett ausfallen und an anderen Stellen auskeilen (Ellenberg und Leuschner 2010). Neben ungünstigen Standorten und widrigen Witterungsbedingungen kann es verschiedene Ursachen für das Fehlen oder Auskeilen von Jahrringen geben, wie zum Beispiel Immissionen, Entlaubung durch Insektenepidemien, Spätfröste oder Sommerdürren (Schweingruber 1983).

Mit Hilfe dieser im ersten Schritt gewonnenen Informationen konnten die zwei günstigsten Abschnitte zum Messen der Jahrringe bestimmt werden. Auf diese Weise wurden einige Schwierigkeiten, die durch fehlende oder auskeilende Jahrringe verursacht werden können, für die korrekte Datierung der Stammscheiben vorgebeugt. In der **Abbildung 4.5** ist der unter dem Mikroskop bestimmte geeignete Messabschnitt einer Baumscheibe zu erkennen. Es sind weiters sehr schmale und auskeilende Jahrringe zu sehen.

Das eigentliche Messen der Jahrringe erfolgte mit einem LINTAB-Linearmesstisch der eine Genauigkeit von 1/100 mm aufweist (Rinn 2003). Durch das Drehen der Spindel am Messtisch, die einen Schlitten in Bewegung setzt, wird die Distanz der Umdrehung gemessen. Eine Videokamera überträgt das Bild des Mikroskops auf einem mit einem Fadenkreuz präparierten Bildschirm. Dies ermöglicht genaue Messwertaufnahmen. An jeder Jahrringgrenze wird mittels Mausklick ein Wert an den direkt angeschlossenen Personal Computer übermittelt. Die Verarbeitung der digitalen Messdaten erfolgte über die Software TSAP-Win (Rinntech, Heidelberg).

Abbildung 4. 5: Außenrand einer Stammscheibe mit sehr schmalen und auskeilenden Jahrringen

4.1.3.1. Ermittlung des Alterstrends

Um den Alterstrend ermitteln zu können müssen zunächst eine Reihe statistischer Berechnungen angestellt werden, die in den folgenden Kapiteln beschrieben werden.

4.1.3.1.1. Synchronisieren der Jahrringkurven (Cross-Dating)

Beim Cross-Dating werden zwei oder mehrere Wachstumskurven miteinander verglichen und deren Synchronlage dargestellt (Cook und Kairiukstis 1990). Grundsätzlich werden durch das Synchronisieren der Kurven, die Messungen verifiziert und mögliche Fehler (fehlende oder falsche Jahrringe) beseitigt (Rinn 2003).

Das Verfahren beruht auf zwei unterschiedlichen Methoden: visuell und statistisch. Das visuelle Vergleichen von möglichen Synchronlagen zweier Kurven ist für die Datierung von Holzproben äußerst wichtig, da das menschliche Auge ein gutes Kriterium für die Erkennung von Überlappungen darstellt (Grundmann 2009). Die folgende Grafik (**Abbildung 4.6)** zeigt zwei Wachstumskurven in guter Synchronlage.

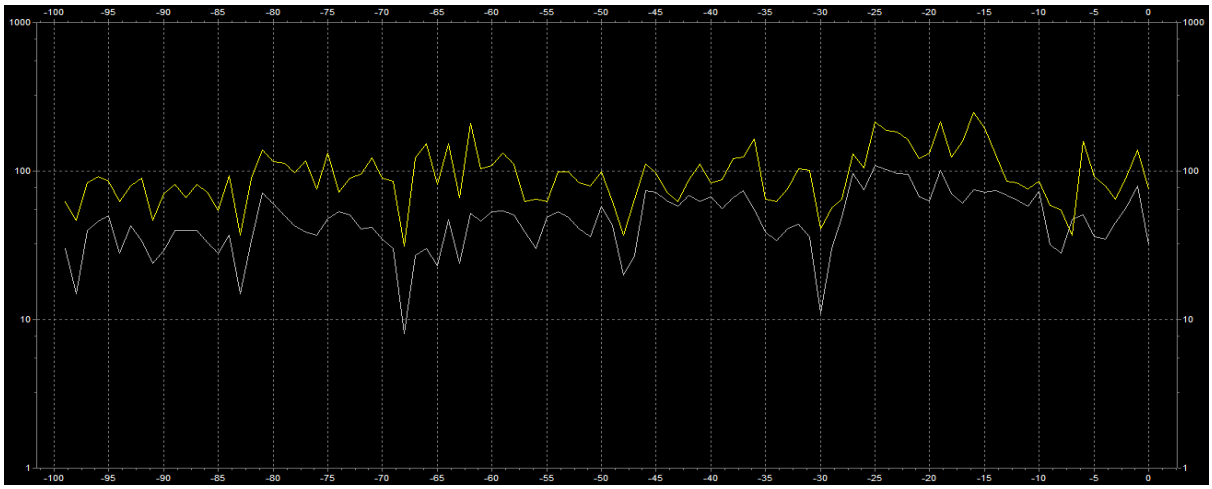


Abbildung 4.6: Zwei übereinandergelegte Wachstumskurven mit guter Synchronlage

Die Wichtigsten statistischen Parameter sind die Gleichläufigkeit (Eckstein und Bauch 1969), deren Signifikanz, der t-Wert nach Baillie-Pilcher (Baillie 1982) und der t-Wert nach Hollstein (1980) und der Cross Date Index (CDI) (Rinn 1996).

4.1.3.1.2. Gleichläufigkeit

Die Gleichläufigkeit wurde als Mittel zum cross-dating von Eckstein und Bauch (1969) entwickelt. Sie stellt ein Vergleichsmaß zweier Zeitreihen, bei der nur die Tendenz der Werte Zu- oder Abnahme innerhalb eines Intervalls beurteilt wird, dar. Dieser Wert wird in Prozent ausgedrückt.

Kommt es zu hohen Gleichläufigkeitswerten, das heißt zu parallel verlaufenden Jahrringkurven, so kann man vermuten, dass die Wachstumsfaktoren beider Jahrringkurven ähnlich waren. Die

Gleichläufigkeit kann ein Maß für die Homogenität eines Standortes sein, dazu muss innerhalb eines Standortes jede Probe mit derselben Kurve verglichen werden (Schweingruber 1983). Ein wichtiger Faktor für die Aussagekraft der Gleichläufigkeit ist die Überlappungslänge der Messkurven. Eckstein und Bauch (1969) errechneten bei einer Überlappungslänge von 100 Jahren eine notwendige Gleichläufigkeit von mindestens 65 %, um eine korrekte Synchronlage mit einer statistischen Sicherheit von 99 % zu bestätigen. Die Gleichläufigkeit wird wie folgt ausgedrückt:

$$Glk = \sum (yi_j = xi_j)$$

Wobei die Gleichläufigkeit (Glk) die Summe der Intervalle gleicher Steigung in Prozent ist.

4.1.3.1.3. Kreuzkorrelation (Cross-Correlation)

Die Korrelation beschreibt den linearen Zusammenhang und die Stärke des Zusammenhangs zweier Datensätze. Es lässt sich jedoch keine Kausalität ableiten. Die Maßzahlen der Korrelation liegen in einem Bereich von Null (= kein Zusammenhang) bis +/- Eins (= starker Zusammenhang).

Neben der Vorzeichenänderung spielt auch die Zuwachsveränderung eine wichtige Rolle, die bei der empirischen Korrelationsberechnung nach Bravis-Pearson beachtet wird. Die Formel lautet wie folgt:

$$r = \pm \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x}).(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 . \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}}$$

wobei die Variablen x und y für die Werte der Kurven stehen. Im Gegensatz zur Gleichläufigkeit bezieht sich der Korrelationskoeffizient auf effektive Werte und nicht auf Intervalle (Schweingruber 1983, Grundmann 2009).

4.1.3.1.4. t-Wert

Mit der Berechnung des t-Wertes wird überprüft, ob zwei Kurven miteinander in Beziehung stehen. Zusätzlich wird bei der Berechnung des t-Wertes die Überlappungslänge der Einzelkurven mit der Chronologie beachtet. Mittels 2-seitigem Test wird die empirische Irrtumswahrscheinlichkeit errechnet.

Aus dem zuvor berechneten Korrelationskoeffizienten r, wird nun der Student´s t-Wert mit folgender Formel

$$t = /r/ \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$$

errechnet. Da die Rohwertkurven noch Langzeitschwankungen wie den Alterstrend beinhalten, müssen diese vor der Berechnung des Korrelationskoeffizienten entfernt werden. Baillie und Pichler (1973) verwenden für die Glättung der Kurven ein 5 Jähriges gleitendes Mittel. Weiters wird durch Logarithmieren der Werte die schiefe Werteverteilung in eine Normalverteilung transformiert (Schweingruber 1983, Grundmann 2009).

Um die statistische Sicherheit zu erhöhen wird ein weiterer t-Wert nach Hollstein (1980) hinzugezogen. Dieser unterscheidet sich in der Indexierung der Ausgangskurven und berechnet sich als Logarithmus der Differenz zweier aufeinanderfolgender Jahrringbreiten (Grundmann 2009).

4.1.3.1.5. Cross-Date-Index (CDI)

Cross-Date-Index (CDI) verbindet die Ergebnisse der t-Wert Analyse (nach Baillie-Pichler 1973; Hollstein 1980) mit den Werten der Gleichläufigkeit. Dabei wird die Sensitivität des t-Werts auf einzelne Extremwerte mit der über die gesamte Zeitreihe greifende Wuchstrendbetrachtung, verbunden (Grundmann 2009, Rinn 2003) und wird mit folgender Formel beschrieben.

$$\mathrm{CDI} = \frac{\left(G - 50 + 50\,.\sqrt{\frac{overlap}{max.overlap}}\right).r}{10}$$

G steht für die kombinatorische Berechnung der Gleichläufigkeit und T für einen Wert aus dem t-Wert nach Baillie-Pilcher und Hollstein.

4.1.3.1.6. COFECHA

Zur Überprüfung der Messdaten wurde die von Holmes (1983) entwickelte Software COFECHA verwendet. Mit dieser Software wir aus den Baummittelkurven eine „mastercurve“ erstellt, an der jede Einzelkurve getestet wird. Die Korrelationen werden in 50 Jahres-Segmenten berechnet. Dabei wird der vorangegangene und folgende Abschnitt mit jeweils 25 Jahren überlappt. Dadurch können schlecht synchronisierte Abschnitte in den Einzelkurven entdeckt und entfernt werden.

Im Anschluss wurden die einzelnen Kurven in mehreren Stufen zusammengefasst. Angefangen bei den zwei Radien jeder Stammscheibe über den gesamten Baum bis hin zu allen lebenden und allen toten Latschenbäumen gemeinsam um schließlich auch diese in eine Kurve zusammenzufügen. Nach optischer Überprüfung der Synchronlage der einzelnen Kurven wurde entschieden, ob eine Einzelkurve in die Hauptkurve miteinfließt oder nicht. Daraufhin wurde eine „meancurve“ erstellt, die

auf Basis dieser stufenweisen Synchronisierung aufbaut und in der alle nichteliminierten Kurven einzeln einfließen.

Durch die Bildung von Mittelkurven werden nicht-klimatische Wachstumsfaktoren, die je nach Standort und Individuum unterschiedlich sein können, minimiert.

4.1.3.1.7. Klima-Zuwachsanalyse

Der Zuwachs einzelner Bäume wird langfristig vor allem durch Genetik, Konkurrenz, dem Standort sowie dem Klima beeinflusst. Bei der kurzfristigen Variation des Zuwachses hingegen, ist die Witterung der ausschlaggebende Faktor (Neumann 2006).

Um eine Klima-Zuwachsanalyse erstellen zu können, müssen diese unterschiedlichen Signale aus denen die Jahrringe eines Baumes bestehen, unterdrückt oder entfernt werden.

Eine Jahrringserie besteht vereinfacht ausgedrückt aus einer linearen Aggregation vieler Unterserien, die nach Cook (1990) folgendermaßen dargestellt werden können:

$$R_{t=A_t+C_t+\delta D1_t+\delta D2_t+E_t}$$

Dabei ist:

- R_t beobachtete Jahrringserie
- A_t Alterstrend
- C_t klimatische Einflüsse
- $D1_t$ lokale, endogene Störungseinflüsse
- $D2_t$ bestandesweite, regionale exogene Störungseinflüsse
- E_t weitgehend unerklärliche Variation von Jahr zu Jahr

Das δ bei den Elementen D1 und D2 ist ein binärer Indikator für die Anwesenheit (δ = 1) oder das Fehlen (δ = 0) einer dieser möglichen Störungseinflüsse zu einer Zeit t. Somit besteht eine Zeitreihe immer aus mindestens A_t, C_t und E_t. Es wird davon ausgegangen, dass das gesuchte Signal das Klimasignal C_t ist und das unerwünschte Rauschen durch die übrigen Komponenten A_t, δ $D1_t$, δ $D2_t$, dargestellt wird. Um das Klimasignal zu verstärken und das Rauschen zu unterdrücken werden die Jahrringbreiten Standardisiert bzw. Indexiert.

4.1.3.1.8. Standardisierung und Indexierung

Wie bereits erwähnt gibt es eine Vielzahl von Faktoren die das Baumwachstum beeinflussen. Neben den klimatischen, konkurrenz-, standort-, licht- und ernährungsbedingten Faktoren ist die Abnahme der Wuchsleistung mit fortschreitendem Alter einer der ausschlaggebenden Einflüsse. Unter dem Begriff Alterstrend versteht man den jährlichen Zuwachsverlauf von Bäumen. Dieser nähert sich in der Jugendphase (ca. die ersten dreißig Jahre) einem Maximum, um dann in den folgenden Jahren auf ein bestimmtes Niveau abzusinken (Spurk et al. 1999).

Um die Daten nun statistisch weiterzuverarbeiten ist es notwendig, den Alterstrend und andere Störungen zu entfernen. Dies geschieht mit der Methode der Standardisierung bzw. der Indexierung.

Durch die Standardisierung entsteht ein relativer Jahrringindex, der um den definierten Mittelwert 1,0 schwankt und eine möglichst konstante Varianz aufweist. Dabei werden die beobachteten Jahrringbreiten R_t durch die erwarteten Werte dividiert, die durch die Ausgleichsfunktion G_t geschätzt werden. Durch die Indexierung der Jahrringbreiten ist es möglich, Bäume unterschiedlichen Alters miteinander zu vergleichen. Somit ergibt sich:

$$I_t = \frac{R_t}{G_t}$$

wobei I_t der relative Jahrringindex ist.

In der Dendrochronologie werden unterschiedliche Verfahren zur Trendbereinigung und Standardisierung der Zuwachsverläufe angewandt. Dazu gehören unter anderem Deterministische (z.B. negativ exponentielle Funktion), Stochastische (z.B. Hoch und Tiefpassfilter, kubische Splines) und Varianzstabilisierende Methoden. Für die weitere Behandlung der Jahrringdaten wurde mit Hilfe des von Cook (1983) entwickelten Programms ANRSTAN die Methode der kubischen Splines verwendet. Vorteile dieser Methode sind die gute Anpassungsfähigkeit an die Daten, selbst bei Fehlern. Allerdings werden bei dieser Methode auch die langfristigen Schwankungen eliminiert. Zur Anwendung gelangten Splines mit einer 50% Frequenzvariabilität und einer Steifheit von 30 und 50 Jahren in Anlehnung an die Empfehlung von Cook und Peters (1981).

4.1.3.1.9. Vergleich der Kurven mit bestehenden Chronologien

Da es für *Pinus mugo* keine bestehende (zur Verfügung stehende) Chronologie gibt, wurden die aufbereiteten Daten (Mittelkurve/Chronologie) mit den in **Tabelle 4.5** dargestellten, bereits existierenden österreichischen Chronologien verglichen. Dafür wurden sowohl die nicht-indexierten als auch die indexierten Mittelkurven der lebenden Bäume, der toten Bäume und der lebenden und toten Bäume gemeinsam überprüft. Zur Berechnung der Korrelationen, des t-Wertes nach Baillie-Pichler und der Gleichläufigkeit, mit den bereits vorhandenen Chronologien, wurde die Software TSAP herangezogen.

Tabelle 4.5: Auflistung der zum Vergleich herangezogener österreichischen Chronologien

Name der Chronologie	Date end	Anzahl der Jahrringe
Alpen-Tannenchronologie	2003	385
AVN Lärchenchronologie	1996	395
Fichtenchronologie Voralpen Süd	2003	682
Eichenchronologie Ost	2003	832
Tannenchronologie Ostösterreich (Standardisiert)	1997	1021
Tiroler Zirbenkurve 1	1997	2487
Alpenzirbenchronologie	2003	842
Weinviertler Eichenchronologie	2010	1050

4.1.3.2. Weiserjahre „besondere Jahre“

Unter bestimmten Umständen kann ein Baum über- oder unterdurchschnittlich breite oder schmale Jahrringe ausbilden. Dies wird nach Schweingruber et al. (1990) als Ereignisjahr bezeichnet.

Der Begriff Weiserjahr bezieht sich auf eine Gruppe von Bäumen, von denen der Großteil ein bestimmtes Ereignis, das heißt entweder starke Reduzierung oder starke Erhöhung des Zuwachses im selben Jahr anzeigen (Schweingruber et al. 1990).

In solchen Jahren sind die zuwachsbestimmenden Signale besonders stark ausgeprägt. Ereignis- und Weiserjahre können aber auch durch abweichende Umweltbedingungen oder Insektenkalamitäten ausgelöst werden (Grundmann 2009).

Da Weiserjahre meist Reaktionen auf Witterungserignisse zeigen, wurden Jahrringserien in denen einzelne Bäume eine gleichläufige Zu- oder Abnahme der Jahrringbreiten zeigen, miteinander verglichen.

Dabei wurde ein Schwellenwert von für „besonders schmale“ Jahrringe von 5% und 10% Quantile und für „besonders breite“ Jahrringe von 90% und 95% Quantile angenommen. Einerseits wurden die Spitzen der Jahrringbreiten die ober bzw. unter diesen Schwellenwerten liegen, herangezogen und andererseits die Differenzen zwischen den Zu- bzw. Abnahmen der Zuwächse eines Jahres gegenüber dem Vorjahr.

Die dadurch entstehenden Muster von positiven oder negativen Weiserjahren sind weniger vom Holzzuwachs individueller Lebensumstände eines Baumes geprägt als viel mehr von der regionalen Witterung (Neumann 2006).

4.1.3.3. Statistische Auswertung der Jahrringe

Die statistischen Auswertungen der Jahrringfolgen und der Klimadaten sowie die graphische Aufbereitung erfolgten mit dem Statistikprogramm R© und Excel.

Es wurden die Klimadaten der ZAMG HISTALP Wetterstationen Admont, Kremsmünster, Feuerkogel sowie die Wetterdaten der Langzeitforschungsstation des Umweltbundesamtes im Reichraminger Hintergebirge Zöbelboden (Meteorological data LTER Zöbelboden) herangezogen.

Für dendroklimatische Untersuchungen eignen sich nach Schweingruber (1983) vor allem Lufttemperatur und Niederschläge. Analysiert wurden Lufttemperatur und Niederschlag von Admont, Sonnenstunden und Lufttemperatur am Feuerkogel, Luftdruck, Sonnenstunden, Niederschlag und Lufttemperatur von Kremsmünster sowie Niederschlag und Lufttemperatur von der Messstation Zöbelboden. Die Lufttemperatur wurde in Grad Celsius gemessen und es handelt sich dabei um Monatsmittelwerte. Beim Niederschlag wurden Monatssummen in Millimeter pro Quadratmeter gemessen. Der Luftdruck wurde in Hektopascal gemessen und die Sonnenstunden wurden in Monatssummen zusammengefasst.

Zunächst wurden die genannten Klimadaten aller Klimastationen aufbereitet und mit den Jahrringbreiten korreliert. Dazu kam Pearson´s Korrelation mit folgender Formel zur Anwendung:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_1 - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_1 - \bar{y})^2}}$$

Wobei r den Korrelationswert wiedergibt, und x und y für die Werte der Zuwachskurve und der Klimadaten stehen.

Nach Cohen (1988) hat der Korrelationskoeffizient große Bedeutung als Effektgrößenbeschreibung. Er bezeichnet *r* = 0,1 als einen kleinen Effekt, *r* = 0,3 als einen mittleren und *r* = 0,5 als einen großen Effekt. Das Vorzeichen spielt dabei keine Rolle.

Um die gemeinsame Varianz zu ermitteln quadriert man den Korrelationskoeffizienten R^2. Somit hat ein kleiner Effekt eine gemeinsame Varianz von 1% ($0{,}1^2 = 0{,}01$), ein mittlerer Effekt 9% und bei einem großen Effekt liegen 25% gemeinsamer Varianz vor.

Für die weiteren Analysen wurden die Daten auf Niederschlag und Lufttemperatur der ZAMG Messstation Admont und der Meteorological data LTER Zöbelboden beschränkt, da diese zum einen die besseren Ergebnisse lieferten und zum anderen die größten Interpretationsmöglichkeiten beinhalten.

Im Anschluss daran wurden Vergleiche der Jahrringbreiten und der Differenzen zwischen den Jahrringbreiten mit den Klimadaten mittels deskriptiver Statistik angestellt und graphisch herausgearbeitet. Zur Beantwortung der Fragen nach den treibenden Faktoren für Wachstum und des Einflusses der Brände 1950 und 2003 auf die Zuwachsverläufe, fand Folgendes besondere Beachtung:

Jahrringbreiten im Vergleich mit:

- Lufttemperatur und Niederschlag mit speziellen Augenmerk auf den Brand 1950 auf der benachbarten Fläche
- Lufttemperatur und Niederschlag mit speziellen Augenmerk auf den Brand 2003 auf der eigentlichen Fläche
- Der Wachstumsperiode (März bis August) eines Jahres und der Lufttemperatur sowie mit Niederschlag (Zöbelboden)

Jahrringbreiten und die Differenzen der Jahrringbreiten zum Vorjahr im Vergleich mit

- den Mai-Temperaturen
- Monaten mit besonders hohen und niedrigen Temperaturen

besonders geringen bzw. hohen Zuwachs der Jahrringbreiten und die Differenzen der Jahrringbreiten zum Vorjahr im Vergleich mit:

- den Temperaturen und den Niederschlägen.

4.2. Eingesetztes Material

Zur Erhebung der Daten auf der Brandfläche wurde folgendes Material eingesetzt:

- Motorsäge inkl. Schutzkleidung (werben der Stammscheiben)
- Kluppen (zur Durchmessermessung der Äste)

- GPS (zur Ortung der Transektkoordinaten)
- Kamera (für Dokumentation)
- Fluchtstangen(zur Markierung der Transektbegrenzungen)
- 50 m Schnüre (zur Transektmarkierung)
- Kreiden (zum Markieren von Messpunkten auf Stämmen)
- Behälter (für Proben)
- Maßbänder
- Kompass (zur Richtungsbestimmung der Transekte)
- Formulare, Schreibzeug, Clipboards, Collegeblock
- Permanentmarker (für Stammscheibenbeschriftung)

5. Ergebnisse

5.1. Ergebnisse der Totholzvolumenberechnung

Das Minimalvolumen eines Messbereiches liegt bei 67 Kubikmeter pro Hektar, der Maximalwert hingegen bei 191 Kubikmeter pro Hektar liegenden Totholzes (Tabelle 5.1). Das Durchschnittvolumen beträgt 109 Kubikmeter Totholz pro Hektar. Für die insgesamt 14 Hektar große Brandfläche ergab sich aus der Berechnung ein Totholvolumen von 1525 Kubikmeter.

Die Anzahl von liegenden Stämmen und Ästen in den Transekten lag zwischen 33 und 89 Stück.

Tabelle 5.1: Übersicht des Totholzvolumens auf der Brandfläche. Mit der Transektbezeichnung, dem Totholzvolumen je Transekt in m³/ha, der Anzahl an Totholzstücke je Transekt und der Transektlänge sowie dem Volumsmittelwert aller Transekte und Gesamtvolumen.

Transekte	Vol. m³/ha	n	Länge m
T1	191	89	50
T2	120	62	50
T3	70	33	50
T4	139	77	50
T5	67	43	50
T6	67	34	50
Mittelwert	109	56	
Gesamtbrandfläche (14ha)	**1525**		

Die Stichproben weisen eine Varianz von 425 und daraus folgend eine Standardabweichung von 21 m³/ha auf.

Das Konfidenzniveau wurde mit 95% festgelegt. Das bedeutet, dass mit 95-prozentiger Wahrscheinlichkeit aufgrund des statistisch berechneten Wertes, auch die Grundgesamtheit innerhalb des errechneten Konfidenzintervalls liegt. Die Obergrenze befindet sich bei 150 Kubikmeter pro Hektar und die Untergrenze bei 68 Kubikmeter pro Hektar Totholz.

In Tabelle 5.2 werden die Ergebnisse des Konfidenzintervalls der Varianz sowie der Standardabweichung dargestellt.

Tabelle 5.2: Ergebnisse des Konfidenzintervalls, der Varianz und der Standardabweichung des Gesamttotholzvolumens der Brandfläche

UG 95% Konf.Interv.	OG 95% Konf.Interv.	Varianz s^2	Standardabweichung s
68	150	425	21

5.2. Ergebnisse der Einzelstammauswertung

5.2.1. Volumsfunktion

Die Berechnung der Volumsfunktion und der Formzahl erfolgte in mehreren Schritten. Zuerst musste das Volumen der Einzelstämme sektionsweise berechnet werden. Dafür wurden unterschiedliche Modellkörper und Sektionsaufteilungen herangezogen.

Die Ergebnisse der sektionsweisen Volumenberechnungen sind in **Tabelle 5.3 und 5.4** zu finden. In der ersten Spalte befindet sich die Probenbezeichnung, in den Spalten zwei bis fünf stehen die Ergebnisse der verwendeten Berechnungsmodelle (siehe Kapitel 4.1.2.1 Entwicklung der Volumsfunktion).

Tabelle 5.3: Ergebnisse verschiedener Volumenberechnungsmodelle lebender Latschen.

Volumen der Einzelbäume (cm^3) - lebende Latschen				
Baum Nr.	Volumen Zylinder	Volumen Kegel	Volumen Zylinder 1	Volumen Zylinder 2
1	4.909	4.887	4.876	6.449
2	47.402	47.135	47.001	57.326
3	16.803	16.562	16.442	19.818
4	20.362	20.128	20.011	23.975
5	13.591	13.462	13.397	16.977
6	14.233	14.087	14.014	16.561

7	14.163	14.071	14.025	17.631
8	16.513	16.029	15.787	18.496
9	13.496	13.429	13.396	15.884
10	5.829	5.812	5.804	7.259
11	29.063	28.962	28.912	34.432
12	948	938	933	1.146
13	2.131	2.091	2.071	2.426
14	4.618	4.562	4.534	5.780
15	4.886	4.838	4.814	5.699

Anm.: das Volumen für die Spalten „Kegel“ und „Zylinder“ wurde aus 6, für die Spalten „Kegel 1“ und „Zylinder 1“ aus 5 Abschnitten berechnet.

Tabelle 5.4: Ergebnisse verschiedener Volumenberechnungsmodelle toter Latschen.

Volumen der Einzelbäume (cm³) - tote Latschen				
Baum Nr.	**Volumen Zylinder**	**Volumen Kegel**	**Volumen Zylinder 1**	**Volumen Zylinder 2**
1	37.124	36.886	36.767	44.188
2	21.274	21.199	21.161	23.890
3	27.930	27.847	27.805	31.210
4	32.485	32.091	31.894	37.623
5	67.912	66.684	66.071	79.987
6	44.012	43.470	43.199	50.205
7	54.777	54.613	54.531	72.561
8	65.338	64.312	63.799	73.641
9	40.359	39.191	38.606	47.448
10	76.894	76.588	76.434	86.592
11	**21.148**	**20.628**	**20.368**	**24.160**
12	**37.003**	**36.631**	**36.445**	**44.476**
13	**80.907**	**79.292**	**78.484**	**86.949**
14	**66.498**	**64.599**	**63.650**	**66.609**
15	**33.271**	**32.433**	**32.014**	**36.295**

Anm.: das Volumen für die Spalten „Kegel“ und „Zylinder“ wurde aus 6, für die Spalten „Kegel 1“ und „Zylinder 1“ aus 5 Abschnitten berechnet.

Im zweiten Schritt wurden die Ergebnisse der Volumenberechnungen mit den Parametern Länge und Stammfußdurchmesser korreliert. Die Korrelationsergebnisse werden in **Tabelle 5.5** dargestellt.

Hier ist ersichtlich, dass die Zusammenhänge der Volumen lebender Latschen, sowohl mit der Länge als auch mit den Stammfußdurchmessern, deutlich stärker ausfallen als die Zusammenhänge von toten Latschen.

Die Korrelationswerte r der lebenden Latschenindividuen liegen bei allen Volumenvarianten über 0,8. Damit kann man circa 64 Prozent des Volumens mit der Länge eines Individuums bzw. mit dem Stammfußdurchmesser erklären. Den höchsten Korrelationskoeffizienten r^2 zwischen Volumen und Länge eines Individuums erreicht die Volumenvariante „Zylinder 2“, welche die Ausgangsberechnung

darstellt. Der höchste Korrelationskoeffizient r^2 zwischen Stammfußdurchmesser und Volumen ergab sich bei der Variante „Zylinder 1“. Die Werte liegen jedoch alle sehr nahe beieinander. Die Zusammenhänge zwischen Stammfußdurchmesser, Stammlänge und Volumen werden in den **Abbildungen 5.1 bis 5.4** verdeutlicht.

Aufgrund der niedrigen Korrelationsergebnisse toter Latschenindividuen, sowohl zwischen Volumen und Stammlänge, als auch zwischen Volumen und Stammfußdurchmesser, wurden für die Entwicklung der Volumsfunktion, ausschließlich die Daten der lebenden Latschen herangezogen.

Tabelle 5.5: Korrelationen der vier Varianten der sektionsweisen Volumenberechnungen

Korrelationen „Zylinder 2“		
	Volumen/Länge	Volumen/Stammfuß d²
	lebende Latschen	
r	0,87110102	0,94246241
R²	0,75881698	0,8882354
%	75,88	88,82
	tote	
r	0,21328004	0,51090647
R²	0,04548838	0,26102542
%	4,55	26,10
	alle	
r	0,76933497	0,66564209
R²	0,59187629	0,4430794
%	59,19	44,31

Korrelationen „Zylinder“		
	Volumen/Länge	Volumen/Stammfuß d²
	lebende	
r	0,867664758	0,935079866
R²	0,752842132	0,874374357
%	75,28	87,44
	tot	
r	0,282752927	0,352729602
R²	0,079949218	0,124418172
%	7,99	12,44
	alle	
r	0,782865824	0,589199209
R²	0,612878899	0,347155708
%	61,29	34,72

Korrelationen „Zylinder 1“		
	Volumen/Länge	Volumen/Stammfuß d²
lebende Latschen		
r	0,86699228	0,93602441
R²	0,75167561	0,87614171
%	75,17	87,61
tote Latschen		
r	0,27148563	0,36834152
R²	0,07370445	0,13567548
%	7,37	13,57
alle Latschen		
r	0,77968004	0,59726779
R²	0,60790096	0,35672882
%	60,79	35,67

Korrelationen „Kegel“		
	Volumen/Länge	Volumen/Stammfuß d²
lebende Latschen		
r	0,867235421	0,935726762
R²	0,752097276	0,875584574
%	75,21	87,56
tote Latschen		
r	0,275344236	0,363112143
R²	0,075814448	0,131850428
%	7,58	13,19
alle Latschen		
r	0,780801469	0,59456889
R²	0,609650935	0,353512165
%	60,97	35,35

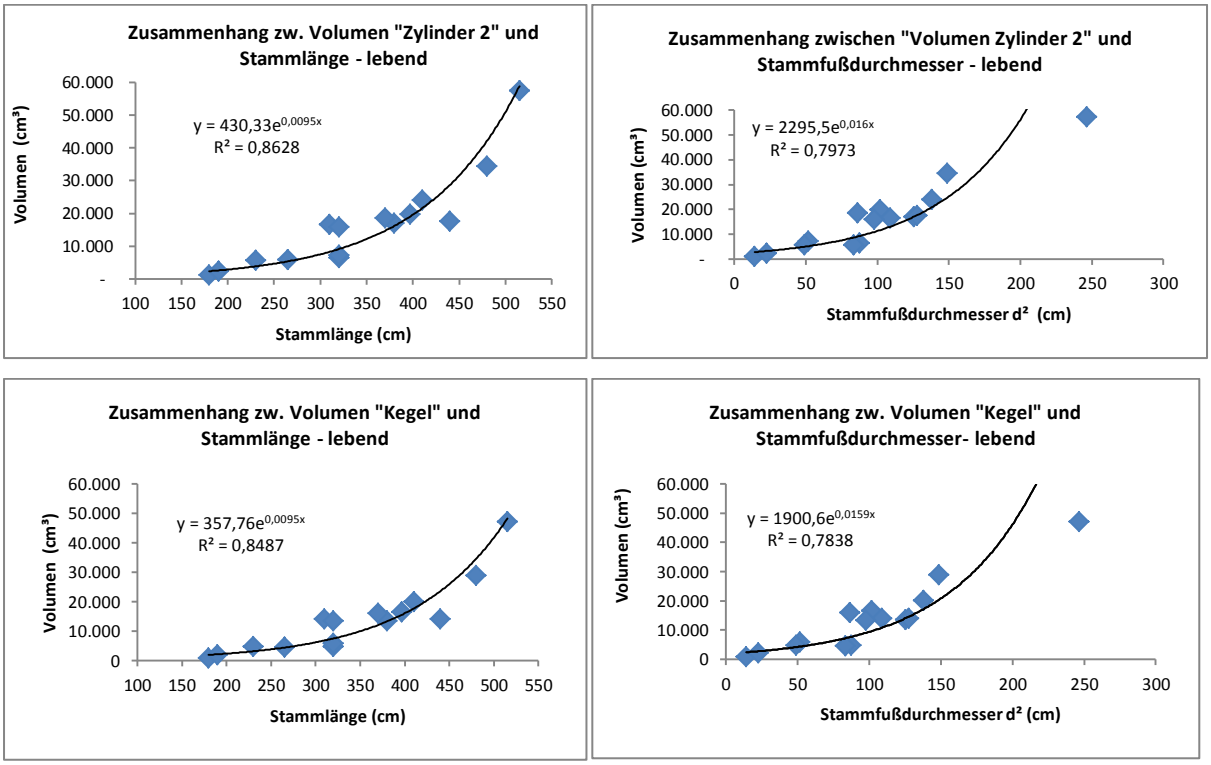


Abbildung 5.1-5.4: Darstellung der Zusammenhänge zwischen Stammfußdurchmesser, Stammlänge und Volumen lebender Latschen. Mit den sektionsweisen Volumenberechnungsmodellen „Zylinder 2“ und „Kegel“.

Im dritten und letzten Schritt erfolgte die eigentliche Berechnung der Formzahl mit deren Hilfe eine schnelle und einfache Möglichkeit zur Volumenberechnung lebender Latschenstämme gegeben wird.

Da die Ergebnisse der Volumenvarianten sehr ähnlich ausfielen, wurde die Berechnung der Formzahl zunächst mit zwei Varianten („Zylinder 2“ und „Kegel“) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in **Tabelle 5.6** abgebildet.

Die Formzahl des Modells „Zylinder 2“ beläuft sich auf *f = 0,56* und beim Modell „Kegel“ lautet die Formzahl *f = 0,46.*

Tabelle 5.6: Ergebnisse der Volumsfunktion aus der sektionsweisen Volumenberechnung mit den Modellen „Zylinder 2“ und „Kegel“. Berechnet aus den Daten lebender Latschen.

Proben Nr.	Formzahl „Zylinder 2“	Formzahl „Kegel“
1	0,29	0,22
2	0,57	0,47
3	0,62	0,52
4	0,54	0,45
5	0,45	0,36
6	0,62	0,53
7	0,40	0,32

8	0,74	0,64
9	0,64	0,55
10	0,56	0,45
11	0,61	0,52
12	0,58	0,47
13	0,72	0,62
14	0,33	0,26
15	0,64	0,55
Summe	8,33	6,92
Formzahl (Mittelwert)	**0,56**	**0,46**

Durch das Einsetzen der Formzahl in die Volumenformel (siehe Kapitel 4.1.2.1 Entwicklung der Volumsfunktion) und das anschließende korrelieren der sektionsweisen Voluminierung mit den Formzahl-Volumenberechnungen ergaben die in **Tabelle 5.7** dargestellte Ergebnisse.

Die mit der Formzahl berechnet Volumina stimmen bei dem Modell Volumen „Zylinder 2“ mit einer Wahrscheinlichkeit von rund 95 Prozent und beim Modell „Kegel“ mit rund 93 Prozent überein.

Tabelle 5.7: Ergebnisse der Volumenberechnung mit der jeweiligen Formzahl und den Korrelationen zwischen sektionsweiser Volumenberechnung und der Voluminierung mittels Formzahl.

Baum Nr.	Volumen „Zylinder 2“ (cm^3)	Volumen „Kegel“ (cm^3)
1	12203	10141
2	55373	46018
3	17665	14681
4	24692	20520
5	20793	17280
6	14767	12272
7	24508	20367
8	13959	11601
9	13681	11369
10	7236	6014
11	31164	25899
12	1104	918
13	1870	1554
14	9678	8043
15	4916	4085
Korrelationen		
r	**0,97**	**0,97**
R^2	**0,95**	**0,93**
%	**94,61**	**93,27**

Zur Vervollständigung wurden die Formzahlen auch mit dem Datensatz der toten Latschen sowie aller (toter und lebender) Latschen berechnet. In **Tabelle 5.8** werden die Ergebnisse der Formzahlen dargestellt.

Tabelle 5.8 Formzahlen berechnet aus den Daten der lebenden, toten und allen (lebenden und toten gemeinsam) Latschen.

Modell	Formzahl "Zylinder 2"	Formzahl "Kegel"
lebend	0,56	0,46
tot	0,82	0,88
alle	0,68	0,66

5.2.2. Ergebnisse der Biomasseberechnung von Einzelstämmen

Die Biomasse eines Einzelstammes setzt sich aus der Stammbiomasse und der hochgerechneten Astbiomasse bestehend aus Nadeln, Zapfen und Holzteilen, zusammen.

Die Berechnung der Astbiomasse erfolgte über die Hochrechnung der im Labor darrgetrockneten und gewogenen Äste auf die Gesamtbiomasse der auf einer Lode vorkommenden Äste. Für die Stammbiomasse wurden die bereits für die Volumsfunktion ermittelten Stammvolumen herangezogen und mit dem Darrdichtewert für Kiefern (0,49 g/cm³) berechnet (Stammvolumen mal Dichtewert).

In **Tabelle 5.9** sind die Ergebnisse der Biomassenberechnung zu entnehmen. In der zweiten Spalte der Tabelle sind die Summen der hochgerechneten Astgewichte einer Latschenlode abgebildet. Die dritte und vierte Spalte beinhaltet die Stammbiomasse die mit den sektionsweisen Volumen-Modellen „Kegel“ und „Zylinder 2“ und dem Darrdichtewert für Kiefer (0,49 g/cm³) berechnet wurden. In den Spalten fünf und sechs ist die Gesamtbiomasse der Einzelstämme abgebildet. Am Ende der Spalten fünf und sechs ist die durchschnittliche Biomasse einer Latschenlode dargestellt.

Je nach Volumenvariante reicht die Bandbreite der Biomasse einer Latschenlode von maximal 25,9 und minimal 1,4 Kilogramm bei der Variante „Kegel“. Ein Maximum von 30,8 und ein Minimum von 1,5 Kilogramm erreichten die Biomassewerte mit der „Zylinder 2“ Variante.

Eine durchschnittliche Latschenlode hat eine Biomasse von 9,9 kg wenn die Volumenvariante „Kegel“ herangezogen wurde bzw. 11,3 kg mit der Variante „Zylinder 2“.

Tabelle 5.9: Ergebnisse der Biomasse-Einzelstammerhebung. Berechnet mit den Stammvolumen-Modellen „Kegel“ und „Zylinder 2“ mit den hochgerechneten Astgewichten (zusammengesetzt aus Nadeln, Holzteilen und Zapfen).

Baum Nr.	Summe der hochgerechneten Astgewichte (g)	Stammbiomasse Kegel (g)	Stammbiomasse Zylinder 2 (g)	Biomasse Einzelbaum Kegel (g)	Biomasse Einzelbaum Zylinder 2 (g)
1	1022	2394	3160	3416	4182
2	2756	23096	28090	25852	30846
3	3901	8116	9711	12016	13611
4	1993	9863	11748	11855	13741
5	5173	6596	8319	11769	13492
6	4791	6903	8115	11694	12906
7	3689	6895	8639	10584	12328
8	3689	7854	9063	11543	12752
9	3222	6580	7783	9803	11006
10	2968	2848	3557	5816	6525
11	5512	14192	16872	19704	22384
12	890	460	562	1350	1452
13	1399	1025	1189	2424	2588
14	3180	2235	2832	5415	6012
15	2502	2371	2793	4872	5294
			Summe	148114	169119
			Mittelwert (g)	9874	11275
			Mittelwert (kg)	**9,9**	**11,3**

5.3. Ergebnisse der dendrochronologischen Auswertungen

5.3.1. Altersverteilung

Es wurden insgesamt 70 Proben (32 von lebenden und 38 von toten Individuen) ausgewertet. Davon konnten 20 Proben von lebenden und 17 Proben von toten Individuen für die Synchronisierung herangezogen werden (siehe **Tabelle 4.3 und 4.4**). Dabei flossen 36 Einzelmessungen der Lebenden und 27 Einzelmessungen der Toten in die erstellte Chronologie (synchronisierte Mittelkurve) ein (siehe **Abbildung 5.6).**

In **Abbildung 5.5** sind die synchronisierten und indexierten Jahrringserien, aus denen sich die Chronologie berechnet, zu sehen.

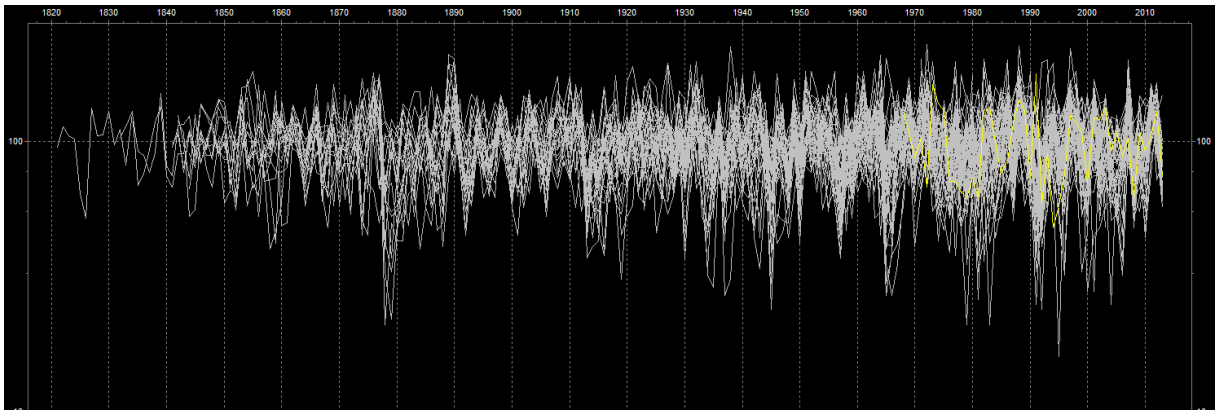


Abbildung 5.5: Synchronisierte übereinandergelegte Jahrringserien

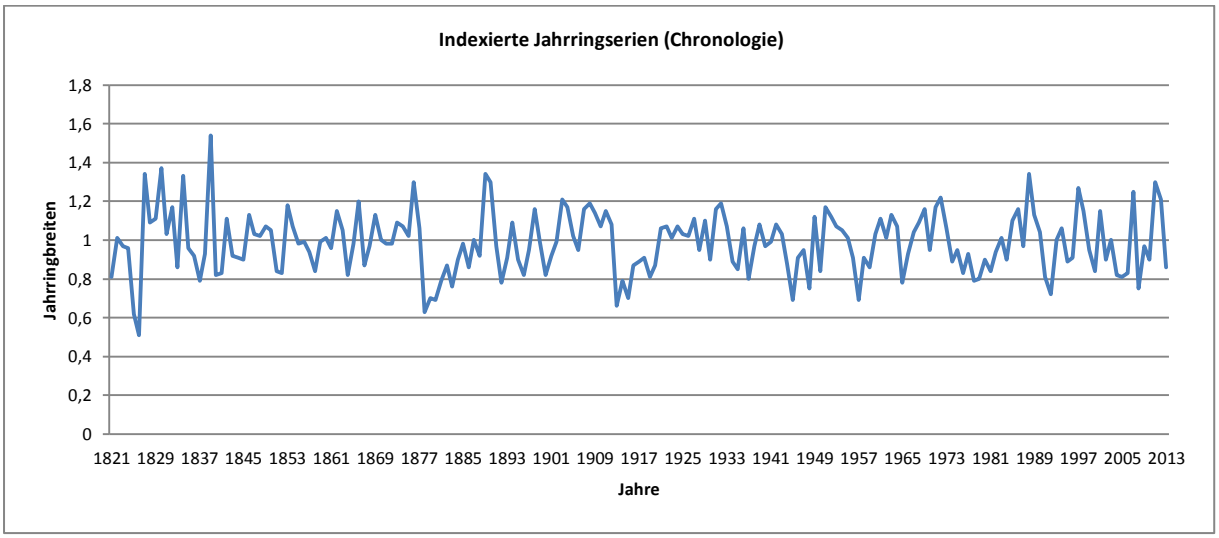


Abbildung 5.6: Latschen-Chronologie

In **Tabelle 5.10** sind die wichtigsten Angaben zur Auswertung und Datierung der Jahrringserien zu finden. In der ersten Spalte steht der Code der Proben. T bzw. L steht für totes bzw. lebendes Individuum, die Zahlen 0, 3, 5, 7 und 9 stehen für den Abschnitt des Baumes an dem die Probe geworben wurden (0 = Stammfuß, 3 = drei Zehntel der Gesamtlänge usw.) und die Buchstaben a und b sagen aus, dass es sich um zwei unterschiedliche Radien derselben Probe handelt.

In Spalte zwei befindet sich die Holzart, in der dritten und vierten Spalte steht das letzte Jahr bzw. das erste Jahr der Probe. Wobei auf das erste Jahr des Baumes nur dann Bezug genommen werden kann, wenn die Waldkante (Spalte fünf) vorhanden war und die gesamten Jahrringe (Spalte sechs) identifiziert werden konnte. Die Jahreszahlen in dieser Spalte beziehen sich, bei Fehlen einer der beiden genannten Angaben auf der Synchronisierung und sind als eine Mindestangabe zu verstehen. Bei Probe T13-0b wurde zum Beispiel 1983 als letztes Jahr datiert und 1884 als erstes Jahr. Da sowohl

die Waldkante fehlt als auch die Jahrringe nicht alle eindeutig identifiziert werden konnten, bedeutet das, dass die Probe mindestens 99 Jahre alt war und somit der erste Jahrring im Jahr 1884 oder davor entstanden sein muss. Die gelben Markierungen in der Spalte „erstes Jahr“ sollen darauf hinweisen, dass der Baum, wie im Beispiel aufgezeigt, in dem entsprechenden Jahr oder davor gekeimt sein muss.

In Spalte sieben steht mit welcher Chronologie (Mittelkurve) die Probe datiert wurde. Die folgenden drei Spalten (8-10) zeigen die Werte der Gleichläufigkeit (Glk) sowie den t-Wert nach Baillie-Pichler (TvBP) und Hollstein (TvH).

Tabelle 5.10: Zusammenfassung der Jahrringanalyse mit Bezeichnung der Proben (Code), Holzart, Identifizierbaren ersten und letzten Jahrring, Waldkante (WK), Anzahl der Jahrringe (JR), Datierung (datiert mit) und Statistischen Werten der Gleichläufigkeit (Glk), T-Wert nach Baillie-Pichler (TvBP) und Hollstein (TvH).

Code	Holzart	letztes Jahr	erstes Jahr	WK	JR	datiert mit	Glk	TvBP	TvH
T12-0a	PIMG	2002	1843	nein	159	LT-chron	66	7,3	7,0
T12-0b	PIMG	1936	1875	nein	93+	LT-chron	61	5,5	5,3
T13-0b	PIMG	1983	1884	nein	99+	LT-chron	65	6,2	5,5
T-140b	PIMG	1986	1820	nein	166	LT-chron	74	8,5	8,2
T3-0a	PIMG	2001	1853	nein	148	LT-chron	70	6,3	6,2
T3-0b	PIMG	2003	1853	ja	150	LT-chron	66	7,1	6,3
T3-1a	PIMG	2001	1856	nein	145	LT-chron	65	7,7	7,2
T3-1b	PIMG	2003	1855	ja	148	LT-chron	68	6,6	6,7
T3-3a	PIMG	2003	1884	ja	119	Internal mit T3-3b	62	6.0	5,5
T3-3b	PIMG	2003	1865	ja	138	LT-chron	63	5,7	5,5
T3-5a	PIMG	2003	1887	ja	116	LT-chron	61	3,6	3,6
T3-7b	PIMG	2003	1909	ja	94	LT-chron	63	4,5	4,0
T4-5a	PIMG	1956	1886	keine	70+	LT-chron	68	3,9	3,6
T4-5b	PIMG	1980	1886	nein	94+	LT-chron	62	3,9	4,6
T5-0a	PIMG	2003	1858	ja	155+	LT-chron	68	4,8	4,9
T5-0bb	PIMG	1969	1845	keine	124+	Internal mit T5-0a	66	5,3	5,2
T5-1a	PIMG	1994	1841	nein	153	LT-chron	75	9,0	8,0
T5-1b	PIMG	2001	1841	nein	160	LT-chron	69	8,1	7,7
T5-3a	PIMG	2002	1840	nein	162	LT-chron	71	6,4	5,9
T5-3b	PIMG	2003	1840	ja	163	LT-chron	71	9,7	8,4
T5-5a	PIMG	2003	1913	ja	90+	LT-chron	75	7,8	7,2
T5-5b	PIMG	2003	1913	ja	90+	LT-chron	71	6,5	7,2
T5-7a	PIMG	2003	1922	ja	81+	LT-chron	72	6,0	6,4
T5-9a	PIMG	2003	1954	ja	49	LT-chron	69	4,8	4,4
T5-9b	PIMG	2002	1954	nein	48	LT-chron	76	3,6	4,3
T8-0b	PIMG	1999	1848	nein	151+	T-chron	63	5,9	5,8
T9-0b	PIMG	1955	1862	nein	93+	LT-chron	65	5,4	4,5
L1-0a	PIMG	2013	1967	ja	46	Internal mit L1-0b	83	10,2	11,3

L1-1a	PIMG	2013	1983	ja	30	LT-chron	79	6,1	6,2
L1-1b	PIMG	2013	1983	ja	30	LT-chron	77	3,6	3,9
L1-3a	PIMG	2013	1988	ja	25	Visual			
L1-3b	PIMG	2013	1988	ja	25	Visual			
L10-0a	PIMG	2013	1977	ja	36	LT-chron	79	4,3	3,0
L10-0b	PIMG	2013	1977	ja	36	L-chron	60	5,6	4,5
L11-0a	PIMG	2013	1974	ja	39	LT-chron	78	6,2	6,6
L11-0b	PIMG	2013	1974	ja	39	LT-chron	88	8,7	8,8
L14-0a	PIMG	2013	1970	ja	43+	Internal mit T3-5a	67	4,2	4,6
L2-0a	PIMG	2009	1909	nein	100	LT-chron	80	6,2	7,0
L2-1a	PIMG	2013	1915	ja	98	LT-chron	78	6,8	7,3
L2-1b	PIMG	2013	1915	ja	98	LT-chron	73	6,1	6,1
L2-3a	PIMG	2013	1926	ja	87	LT-chron	73	7,4	7,5
L2-3b	PIMG	2013	1926	ja	87	LT-chron	76	8,7	7,7
L2-5a	PIMG	2013	1948	ja	65	LT-chron	74	8,3	8,8
L2-5b	PIMG	2013	1948	ja	65	LT-chron	77	8,5	8,0
L2-7a	PIMG	2013	1967	ja	46	LT-chron	81	6,3	5,9
L2-7b	PIMG	2013	1967	ja	46	LT-chron	77	8,3	6,4
L3-0a	PIMG	2013	1904	ja	109	LT-chron	71	5,2	5,3
L3-0b	PIMG	2013	1904	ja	109	LT-chron	71	5,2	5,0
L3-1a	PIMG	2013	1913	ja	100	LT-chron	71	6,6	6,1
L3-1b	PIMG	2013	1913	ja	100	LT-chron	71	5,8	5,6
L3-3a	PIMG	2013	1958	ja	55	LT-chron	67	3,5	4,1
L5-0a	PIMG	2013	1948	ja	65	LT-chron	69	3,4	4,1
L5-0b	PIMG	2013	1948	ja	65	LT-chron	76	4,9	4,4
L5-1a	PIMG	2013	1957	ja	56	LT-chron	78	7,5	7,1
L5-1b	PIMG	2013	1957	ja	56	LT-chron	83	8,3	6,8
L5-3a	PIMG	2013	1968	ja	45	LT-chron	72	6,0	4,0
L5-3b	PIMG	2013	1968	ja	45	LT-chron	76	6,7	5,8
L5-7a	PIMG	2013	1976	ja	37	LT-chron	81	5,8	5,0
L5-7b	PIMG	2013	1976	ja	37	LT-chron	70	6,6	4,8
L8-0a	PIMG	2013	1921	ja	92	LT-chron	64	3,8	3,6
L8-0b	PIMG	2013	1921	ja	92	LT-chron	65	5,9	6,4
L9-0a	PIMG	2013	1938	ja	75	LT-chron	73	4,1	3,8
L9-0b	PIMG	2013	1938	ja	75	LT-chron	73	6,1	5,3

Anhand der erfolgten Synchronisierung der Proben konnte die Altersverteilung sowohl der toten als auch der lebenden Individuen festgestellt werden. Das älteste synchronisierte Individuum war 166 Jahre (T14-0b) und gehört zu den durch den Brand 2003 abgestorbenen Latschenproben. Das jüngste tote Latschenindividuum war zumindest 93 Jahre (T9-0b) alt. Bei den noch lebenden Individuen erreichte das Älteste 109 (L3-0b) und das Jüngste 36 Jahre (L10-0a). Die größte Anzahl an Jahrringen

wies eine nicht-synchronisierte (tote) Probe, mit 192 identifizierbaren und mindestens 10 nicht messbaren Jahrringen auf.

Die beim Brand 2003 abgestorbenen Latschen weisen ein durchschnittliches Alter von 125 Jahren auf, rechnet man die nicht-synchronisierten Proben mit ein, erreichen sie durchschnittlich 143 Jahre. Bei den lebenden Latschen beträgt das durchschnittliche Alter 70 Jahre, mit Einberechnung der nicht-synchronisierten Proben steigt das mittlere Alter auf 81 Jahre.

In den folgenden **Abbildungen (5.7-5.8**) wird die Verteilung sowohl aller lebenden als auch aller toten Latschen-Proben veranschaulicht.

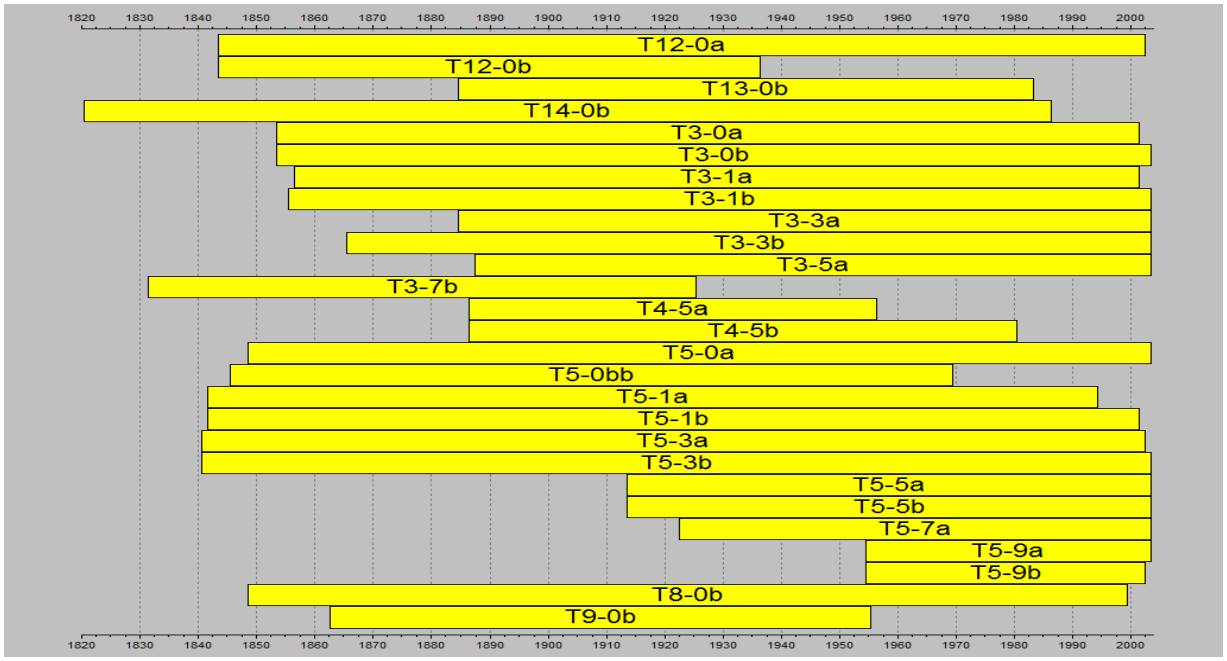


Abbildung 5.7: Verteilung der beim Brand 2003 abgestorbenen Latschenproben.

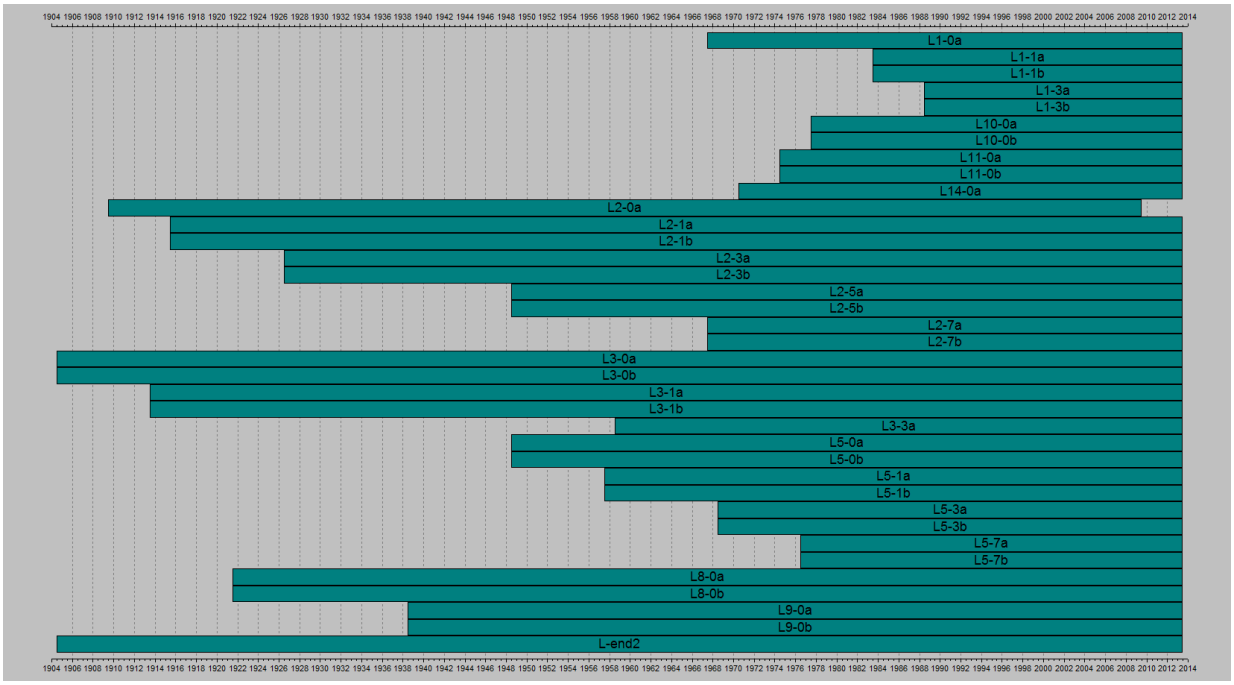


Abbildung 5.8: Verteilung der zum Zeitpunkt der Probenahmen noch lebender Latschen.

5.3.2. Weiserjahre (besondere Jahre)

Als besondere Jahre ergaben sich aufgrund der Jahrringbreiten bzw. der Differenzen der Jahrringbreiten, in **Tabelle 5.11** zusammengefasst, folgende:

Tabelle 5.11: Weiserjahre - Jahre mit besonders breiten und besonders schmalen Jahrringen bzw. die Differenzen der Jahrringe. Grün steht für extrem breite Jahrringe, hellgrün für breite Jahrringe. Blau steht für extreme Zunahmen und Hellblau für erhebliche Zunahme zwischen den Jahrringen. Orange steht für extrem schmale und Hellorange für schmale Jahrringe. Rot bezeichnet eine extreme Abnahme und Hellrot eine erhebliche Abnahme zwischen den Jahrringen. diesen.

Jahr	Jahrringbreiten	Diff. d. JB	Jahr	Jahrringbreiten	Diff. d. JB	Jahr	Jahrringbreiten	Diff. d. JB
1889	1,34	0,42	**1945**	0,69	-0,19	**1988**	1,34	0,37
1890	1,3	-0,04	**1948**	0,75	-0,2	**1989**	1,13	-0,21
1891	0,97	-0,33	**1949**	1,12	0,37	**1991**	0,81	-0,23
1892	0,78	-0,19	**1950**	0,84	-0,28	**1992**	0,72	-0,09
1903	1,21	0,22	**1951**	1,17	0,33	**1993**	1	0,28
1904	1,17	-0,04	**1957**	0,69	-0,22	**1997**	1,27	0,36
1908	1,19	0,03	**1958**	0,91	0,22	**2002**	0,9	-0,25
1913	0,66	-0,42	**1965**	0,78	-0,29	**2007**	1,25	0,42
1914	0,79	0,13	**1970**	0,95	-0,21	**2008**	0,75	-0,5
1915	0,7	-0,09	**1971**	1,17	0,22	**2009**	0,97	0,22

1931	1,16	0,26	**1972**	1,22	0,05	**2011**	1,3	0,4
1932	1,19	0,03	**1978**	0,79	-0,14	**2012**	1,21	-0,09
1937	0,8	-0,26	**1979**	0,8	0,01			

Die **Tabellen 5.12** und **5.13** beschreiben, ab wann ein Jahrring oder die Differenz zwischen zwei Jahrringen entweder als schmal, extrem schmal, breit, extrem breit oder als erhebliche bzw. extreme Zunahme oder als erhebliche bzw. extreme Abnahme bezeichnet wird.

Die Spalten eins und vier beschreiben das dafür herangezogene Quantil, die zweite und fünfte Spalte enthalten den dem Quantil entsprechenden Wert und die dritte und sechste Spalte beinhalten die Bezeichnung des damit verknüpften Wertes.

Als extrem schmal wird ein Jahrring dann bezeichnet wenn er unter dem 5 %-Quantil liegt. Als schmal gilt ein Jahrring wenn die Breite unter das 10 %-Quantil fällt, als breit gilt ein Jahrring wenn sich der Wert über dem 90 %-Quantil befindet und als extrem breit wenn dieser über dem 95 %-Quantil liegt.

Tabelle 5.12 und 5.13: Definition von Jahrringbreiten und der Differenzen der Jahrringbreiten der Messwerte der Klimastationen Zöbelboden und Admont.

Messwerte Zöbelboden					
Jahrringbreiten			**Differenz der Jahrringbreiten**		
5% Quantil	0,8	extrem schmal	5% Quantil	-0,3585	extreme Abnahme
10% Quantil	0,82	schmal	10% Quantil	-0,314	erheblliche Abnahme
90% Quantil	1,28	breit	90% Quantil	0,411	erhebliche Zunahme
95% Quantil	1,28	extrem breit	95% Quantil	0,4245	extreme Zunahme
Mittelwert	0,993		Mittelwert	-0,005	
Maximalwert	1,38		Maximalwert	0,51	
Minimalwert	0,76		Minimalwert	-0,52	

Messwerte Admont					
Jahrringbreiten			**Diff. der Jahrringbreiten**		
5% Quantil	0,74	extrem schmal	5% Quantil	-0,3	extreme Abnahme
10% Quantil	0,8	schmal	10% Quantil	-0,21	erheblliche Abnahme
90% Quantil	1,17	breit	90% Quantil	0,22	erhebliche Zunahme
95% Quantil	1,26	extrem breit	95% Quantil	0,34	extreme Zunahme
Mittelwert	1,54		Mittelwert	0,83	
Maximalwert	0,51		Maximalwert	-0,72	
Minimalwert	0,99		Minimalwert	0,00	

5.3.3. Zusammenhänge zwischen Jahrringbreiten und Klima

Um Zusammenhänge der Jahrringbreiten mit dem Klima ermitteln zu können wurden Korrelationen nach Pearson durchgeführt.
Folgend werden die Ergebnisse aus den Wetterdaten der Klimastationen Zöblboden und Admont dargestellt.

5.3.3.1. Korrelationen zwischen Niederschlag und indexierten Jahrringbreiten lebender Bäume

Für die Korrelationen wurden zunächst indexierte Jahrringbreiten lebender Bäume und Niederschlags-Monatssummen, gemessen in Millimeter pro Quadratmeter, herangezogen. Die **Tabelle 5.14** zeigt die Monate mit den höchsten Korrelationen (gemessen von der Messstation Zöbelboden). Es fanden sich sowohl positive als auch negative Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Jahrringbreiten.
Bei den Wetterdaten der Messstation Zöbelboden wiesen die Monate Jänner, Juni und August negative Zusammenhänge auf, im Gegensatz dazu besteht bei den Monaten Oktober und Dezember des Vorjahres, ein positiver Zusammenhang zwischen Jahrringbreiten und Niederschlägen.

Die stärksten Zusammenhänge fanden sich bei den Monaten August und Dezember des Vorjahres. Der Korrelationswert für den Monat August mit r = - 0,354 stellt dabei nach Cohen (1988) einen mittleren Effekt dar. Somit ist der Korrelationskoeffizient R^2 = 0,125. Daraus folgend können 12,5% der Jahrringbreiten mit den August-Niederschlägen am Zöbelboden erklärt werden. Der negative Zusammenhang zwischen den Jahrringbreiten und den August-Niederschlägen am Zöbelboden bedeutet, dass je weniger Niederschlag im August fällt, desto breiter sind die Jahrringe und desto größer ist der Zuwachs.

Mit den Niederschlägen im Monat Dezember können 20,5 Prozent der Latschen-Zuwächse erklärt werden. Der positive Korrelationswert sagt aus, dass die Zuwächse steigen je mehr Niederschlag im Dezember des Vorjahres gefallen ist.

Tabelle 5.14: Korrelationen zwischen Jahrringbreiten lebender Latschenbäume und Niederschlag am Zöbelboden (Nationalpark Kalkalpen). Monatassummen in Millimeter pro Quadratmeter. Ab einem Korrelationswert von r = 0,1 besteht ein kleiner Effekt, ab r = 0,3 ein mittlerer Effekt, ab r = 0,5 ein starker Effekt (Cohen 1988).

Zöbelboden Niederschlag in mm/m² vs. Jahrringbreiten lebend			
Monat	**Korrelationswert r**	**Korrelationskoeffizient R²**	**%**
Jänner	-0.280540528	-0.078702988	7.9%
Juni	-0.228563747	-0.052241386	5.2%
August	-0.354162083	-0.125430781	12.5%
Oktober	0.299816171	0.089889736	9.0%
Dezember	0.452432655	0.204695308	20.5%
März-Juni	-0.24162033	-0.058380384	5.8%
Sep-Nov	0.226130499	0.051135003	5.1%
Dez-Feb	0.312663402	0.097758403	9.8%
Apr-Sep	-0.236346046	-0.055859454	5.6%
Okt-März	0.356725166	0.127252844	12.7%

Die Korrelationen nach Pearson zeigen, in **Tabelle 5.15** zusammengefasst, für die meteorologische Messstation Admont und den indexierten Jahrringkurven im Gegensatz zur Messstation Zöbelboden nur geringe Zusammenhänge. Die Monate Juni und Juli weisen nach Cohen (1988) zumindest einen kleinen negativen Effekt auf. Wobei sich hier der negative Zusammenhang zwischen Temperatur und Jahrringbreiten im Monat Juni mit den Ergebnissen vom Zöbelboden deckt.

Der Korrelationswert r = -0.1455 entspricht dem Bestimmtheitsmaß R^2= 0,021. Somit können 2,1 Prozent der Jahrringbreiten mit den Juni-Niederschlagsmengen in Admont erklärt werden. Mit den Juliwerten können rund 3 Prozent der Zuwächse erklärt werden.

Korreliert man Monatsniederschlagssummen mehrerer Monate mit den Jahrringbreiten so ergeben die Monate Juni-Juli, Juni-August und März bis September ein Erklärungspotential von 3,7 bis 5,3 Prozent. In den **Abbildungen 5.9** und **5.10** ist der Zusammengang zwischen Juni und Juli-Niederschlägen in Admont und Jahrringbreiten graphisch dargestellt.

Tabelle 5.15: Korrelationen zwischen indexierter Wachstumskurve aller Latschenbäum und Niederschlag in Admont. Monatssummen gemessen in Millimeter pro Quadratmeter. Ab einem Korrelationswert von r = 0,1 besteht ein kleiner Effekt, ab r = 0,3 ein mittlerer Effekt, ab r = 0,5 ein starker Effekt (Cohen 1988).

Admont Niederschlag Niederschlag in mm/m² vs. Jahrringbreiten lebend			
Monat	**Korrelationswert r**	**Korrelationskoeffizient R²**	**%**
Juni	-0.1454881	-0,021	2,1
Juli	-0.1623207	-0,026	2,6
Jun-Jul	-0.2299519	-0,053	5,3
Jan-Dez	-0.1729738	-0,03	3
Jun-Aug	-0.1981532	-0,039	3,9
März-Jun	-0.1250192	-0,016	1,6
März-Sep	-0.1917315	-0,037	3,7

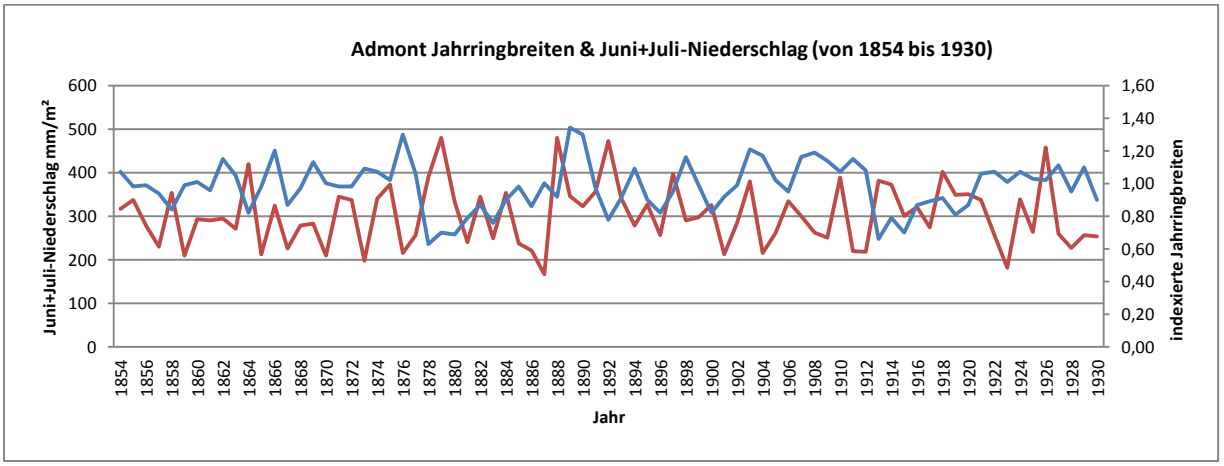


Abbildung 5.9: Darstellung der indexierten Jahrringkurven mit den Niederschlägen der Monate Juni und Juli, gemessen in mm/m² von der meteorologischen Station Admont. Umfasst die Jahre 1854 - 1930.

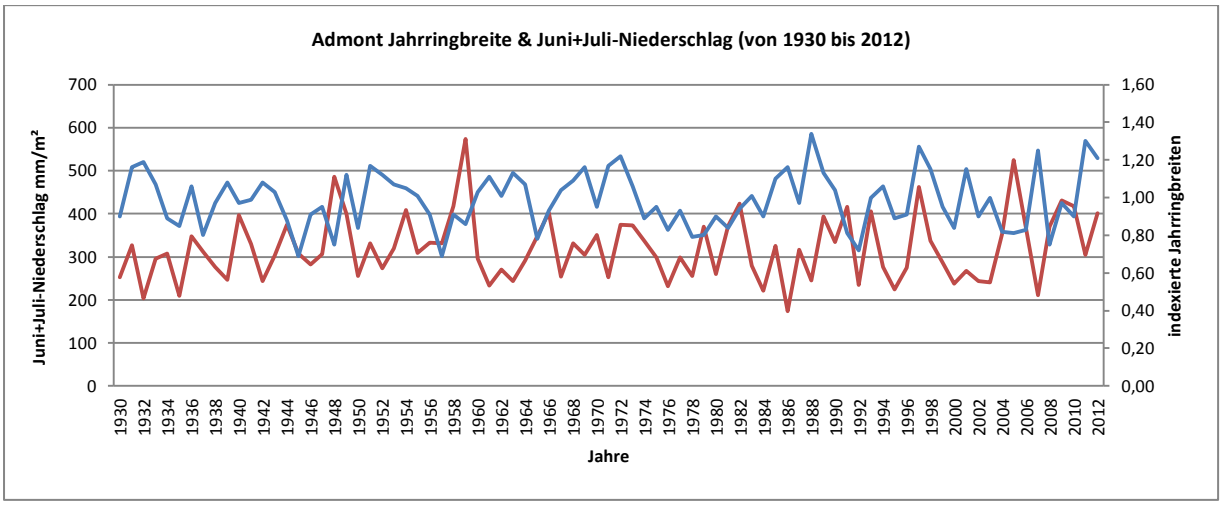


Abbildung 5.10: Darstellung der indexierten Jahrringkurven und den Niederschlägen der Monate Juni und Juli, gemessen in mm/m² von der meteorologischen Station Admont. Umfasst die Jahre 1930 - 2012.

In der **Tabelle 5.16 und 5.17** werden die Korrelationen zwischen Jahrringbreiten und den Winterniederschlägen der beiden Messstationen (Zöbelboden und Admont) dargestellt.

Wie bereits erwähnt, hat vor allem der Dezember laut Cohen (1998) einen mittleren Effekt auf die Jahrringbreiten lebender Bäume. Es können rund 21% der Jahrringbreiten mit den Dezember-Niederschlägen am Zöbelboden erklärt werden. Im Jänner zeigt sich ein kleiner negativer Effekt mit einem Korrelationswert r = - 0,281, das entspricht rund 8 Prozent Erklärungsmöglichkeit, die anderen Wintermonate hingegen besitzen kaum Aussagekraft. Betrachtet man die Winterniederschläge in **Tabelle 5.17** gemeinsam mit den Jahrringbreiten der Messstation Admont, so zeigen sich keine Korrelationen. Das Wachstum ist demnach nicht durch die Winterniederschläge in Admont zu erklären.

Der Zusammenhang zwischen Dezember-Niederschlag am Zöbelboden und Jahreszuwächse wird in der **Abbildung 5.12** graphisch dargestellt.

Tabelle 5.16: Korrelationen zwischen Jahrringbreiten lebender Latschenbäume und Winter-Niederschlag am Zöbelboden (Nationalpark Kalkalpen). Monatssummen in Millimeter pro Quadratmeter.

Zöbelboden Winter-Niederschlag in mm/m² vs. Jahrringbreiten lebender Latschen			
Monat	**Korrelationswert r**	**Korrelationskoeffizient R²**	**%**
Jänner	-0.28054053	-0.07870299	7.9%
Februar	-0.14681511	-0.02155468	2.2%
März	-0.15793772	-0.02494432	2.5%
November	-0.0736548	-0.00542503	0.5%
Dezember	0.45243266	0.20469531	20.5%
Dezember-Februar	0.3126634	0.0977584	9.8%
Oktober-März	0.35672517	0.12725284	12.7%

Tabelle 5. 17: Korrelationen zwischen Winterniederschläge in Admont und indexierter Wachstumskurve. Monatssummen in Millimeter pro Quadratmeter.

Admont Winter- Niederschlag in mm/m² vs. Jahrringbreiten lebender Latschen			
Monat	**Korrelationswert r**	**Korrelationskoeffizient R ²**	**%**
Jänner	-0,03243398	-0,0011	0,1052
Februar	-0,03058712	-0,0009	0,0936
März	-0,03712336	-0,0014	0,1378
November	-0,0354893	-0,0013	0,1259
Dezember	-0,02432684	-0,0006	0,0592
Dez-Feb	0,02965295	0,0009	0,0879
Okt-März	0,001337024	0,0000	0,0002

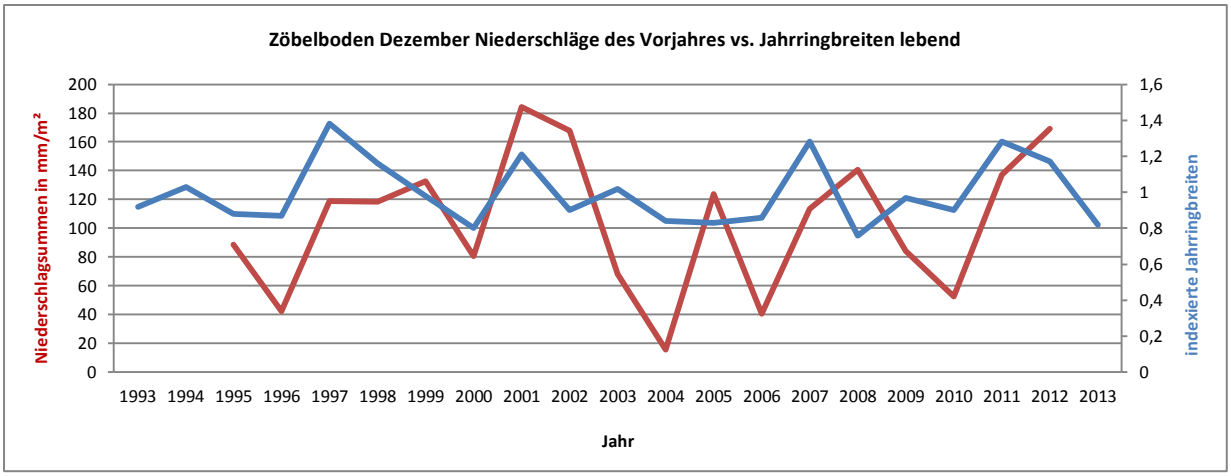


Abbildung 5.11: Darstellung der Zusammenhänge von Jahrringbreiten im Vergleich mit Dezember-Niederschlägen des Vorjahres.

Die nachfolgende **Tabelle 5.18** veranschaulicht Muster zwischen Jahrringbreiten (zweite Spalte), der Differenz zwischen den Jahrringbreiten (dritte Spalte) und den Monats-Niederschlägen (vierte bis fünfzehnte Spalte) der Klimastation Zöbelboden. Der schwarz umrahmte Bereich markiert den Zeitraum zwischen dem Brand im Jahr 2003 und den darauf folgenden Jahren bis 2008.

Die höchsten Korrelationen zwischen Jahrringbreiten und Niederschlägen ergaben sich in den Monaten August und Dezember. Betrachtet man die Jahre mit besonders breiten Jahrringen und hohen Zuwächsen (siehe **Tabelle 5.16**), so kann man beobachten, dass es in dem jeweils vorangegangenen Jahr außergewöhnlich viel Dezember-Niederschlag gab. Dasselbe Muster zeigt sich bei den besonders schmalen Jahrringen und Zuwächsen, wenn man diese mit den Dezember-Niederschlägen des Vorjahres vergleicht.

Nicht ganz so ausgeprägt zeigt sich das Muster zwischen August-Niederschlägen und Jahrringbreiten. In diesem Fall bedeutet wenig Niederschlag im August hohe Zuwächse (2007, 2011) und umgekehrt (2002).

Die schwarze Kennzeichnung der Jahre 2003 bis 2008 bezieht sich auf den Brand im Jahr 2003 und die Entwicklung der darauffolgenden Jahre. In den Jahren nach dem Brand 2003 zeigen sich unauffällige Zuwachsverläufe. Erst 2007 bilden sich extrem breite Jahrringe, die möglicherweise durch die hohen Vorjahres-Dezember-Niederschläge ausgelöst wurden. Im Jahr darauf (2008) kam es zu extrem schmalen Jahrringen, die jedoch keinen Zusammenhang mit den Monats-Niederschlägen aufweisen.

Tabelle 5.18: Monatliche Niederschlagssummen im Vergleich mit Jahrringbreiten am Zöbelboden. Grün steht für außergewöhnlich breite Jahrringe, Blau für hohe Differenzen zwischen den Jahrringen, Orange steht für schmale Jahrringe und Rot für geringe Differenzen zwischen diesen. Rot markierte Monatsfelder zeigen ausgesprochen trockene Werte, Lila zeigt den minimalen Niederschlag an, blaue Felder markieren extrem niederschlagsreiche Monate und Türkis sind die maximalen Niederschlagswerte.

Zöbelboden Niederschlagssummen in mm/m² vs. Jahrringbreiten														
	Jahrringbreiten	Diff. d. JB												
Jahr	lebender Bäume		Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1992	0,68													
1993	0,92	0.24				88	77	132	194	141	96	70		
1994	1,03	0.11				213	198	149	55	107	54	61	156	
1995	0,88	-0.15				183	131	148	56	159	188	59	84	89
1996	0,87	-0.01	32	41	84	123	265	126	146	179	352	245	136	43
1997	1,38	0.51	5	123	248	160	166	113	309	123	39	167	97	119
1998	1,16	-0.22	61	26	299	82	123	149	75	133	281	177	134	119
1999	0,98	-0.18	96	253	105	110	116	145	191	146	73	44	65	133
2000	0,8	-0.18	172	165	248	57	165	60	155	121	188	105	57	81
2001	1,21	0.41	32	27	143	144	81	204	158	175	288	45	115	184
2002	0,9	-0.31	96	95	209	113	19	247	130	567	168	206	221	168
2003	**1,02**	**0.12**	**139**	**26**	**75**	**62**	**130**	**135**	**173**	**66**	**85**	**12**	**14**	**68**
2004	**0,84**	**-0.18**	**162**	**119**	**132**	**44**	**211**	**178**	**211**	**191**	**199**	**72**	**108**	**16**
2005	**0,83**	**-0.01**	**103**	**173**	**406**	**159**	**244**	**141**	**309**	**227**	**99**	**23**	**27**	**124**
2006	**0,86**	**0.03**	**265**	**93**	**206**	**141**	**242**	**277**	**79**	**405**	**66**	**79**	**134**	**41**
2007	**1,28**	**0.42**	**103**	**117**	**78**	**15**	**253**	**156**	**168**	**96**	**418**	**111**	**132**	**114**
2008	**0,76**	**-0.52**	**111**	**32**	**214**	**106**	**71**	**202**	**282**	**151**	**123**	**76**	**114**	**141**
2009	0,97	0.21	44	261	188	37	213	348	155	226	136	108	77	84
2010	0,9	-0.07	45	65	58	73	172	242	245	242	72	53	43	53
2011	1,28	0.38	160	38	64	52	103	115	192	97	113	209	3	137
2012	1,17	-0.11	279	166	138	81	128	226	252	131	175	101	58	169
2013	0,82	-0.35	345	137	87	49	325	329	57	149	181	75		
trocken	10% Quantil		32	26	71	44	77	115	57	97	66	44	24	42
feucht	90% Quantil		269	197	263	160	253	277	282	242	288	206	140	168
max. Wert			345	261	406	213	325	348	309	567	418	245	221	184
min. Wert			5	26	58	15	19	60	55	66	39	12	3	16

5.3.3.2. Korrelationen zwischen Temperatur und indexierten Jahrringbreiten lebender Bäume

Für die Korrelationen zwischen Temperatur und indexierten Jahrringbreiten der beiden Klimastationen Zöbelboden und Admont wurden Monatsmittelwerte, gemessen in Grad Celsius herangezogen.

Am Zöbelboden wiesen die Monate Jänner, März, Mai und August positive Zusammenhänge auf, die Korrelationswerte der Monate Juli und Oktober hatten dagegen negative Vorzeichen (siehe **Tabelle 5.19**).

Die Korrelationen der Jahrringbreiten mit den Märztemperaturen weisen mit einem Korrelationswert von r = 0,6032 laut Cohen (1998) einen großen Effekt auf, das entspricht einem Bestimmtheitsmaß von R^2 = 0,3638. Somit können rund 36 Prozent des Zuwachses mit den März-Temperaturen erklärt werden. In **Abbildung 5.12** wird dieser Zusammenhang veranschaulicht.

Mit den durchschnittlichen Oktober-Temperaturen können rund 14 Prozent der Jahrringbreiten des Folgejahres erklärt werden. Dass der Korrelationswert ein negatives Vorzeichen aufweist heißt, dass je niedriger die Temperaturen im Oktober, desto breiter sind die Jahrringe.

Noch rund 10 Prozent Erklärung beinhaltet der Korrelationswert der mittleren August-Temperaturen.

In der **Tabelle 5.20** stehen die Zusammenhänge zwischen Jahrringbreiten und Temperaturen der Wetterstation in Admont. Auch bei der Temperatur fallen die Korrelationswerte im Gegensatz zum Zöbelboden sehr niedrig aus. Die besten Ergebnisse lieferte der Monat Mai mit einem Korrelationswert von r = 0.2083. Dieser Wert weist (laut Cohen 1988) einen kleinen Effekt auf. Mit diesem Wert können 4,3 Prozent der Jahrringbreite mit den Mai -Temperaturen in Admont erklärt werden.
Die graphische Darstellung der Zusammenhänge der Mai-Temperaturen in Admont und der gemessenen Jahrringbreiten zeigen die **Abbildungen 5.13** und **5.14**.
Hier zeigen sich, wie auch bei den Niederschlägen bessere Ergebnisse wenn einzelne Monate zusammengefasst mit den Jahrringbreiten korreliert werden. Die Zusammenfassung der Monate Mai und August ergaben dadurch ein Erklärungspotential von rund 5 Prozent.

Tabelle 5.19: Korrelationen zwischen Jahrringbreiten und Temperatur (in Grad Celsius) am Zöbelboden.

Zöbelboden Temperatur in 0,1 C° vs. Jahrringbreiten lebend			
Monat	**Korrelationswert r**	**Korrelationskoeffizient R²**	**%**
Jänner	0.2863301	0.082	8.2%
März	0.6031527	0.3638	36.4%
Mai	0.2963497	0.0878	8.8%
Juli	-0.200758	-0.0403	4.0%
August	0.31601	0.0999	10.0%
Oktober	-0.368804	-0.136	13.6%
März-Mai	0.4044749	0.1636	16.4%
März-Juni	0.3426035	0.1174	11.7%
September-November	-0.306038	-0.0937	9.4%
Dez-Feb	0.2569381	0.066	6.6%

Tabelle 5.20 Korrelationen zwischen Jahrringbreiten und Temperatur (in Grad Celsius) in Admont.

Admont Temperatur 0,1 C° vs. Jahrringbreiten lebend			
Monat	**Korrelationswert r**	**Korrelationskoeffizient r²**	**%**
Mai	0.2083627	0,043	4,3
August	0.1382075	0,019	1,9
Apr-Sep	0.11755	0,014	1,4
Jun-Aug	0.1065682	0,011	1,1
Mai-Aug	0.221973	0,049	4,9

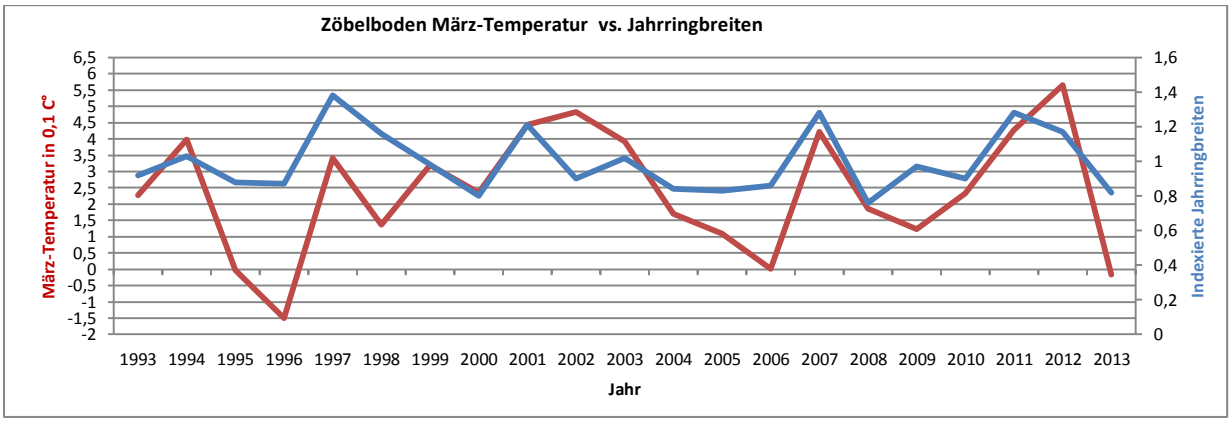


Abbildung 5.12: Darstellung der Jahrringbreiten im Vergleich mit den März-Temperaturen am Zöbelboden.

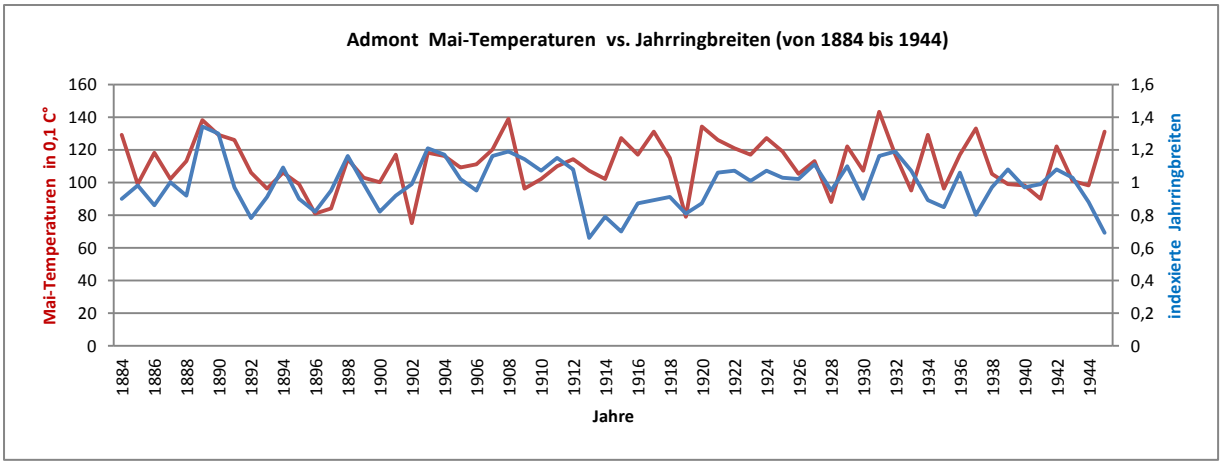


Abbildung 5.13: Darstellung der Zusammenhänge der Jahrringbreiten und den in Admont gemessenen Mai-Temperaturen (von 1884 bis 1944).

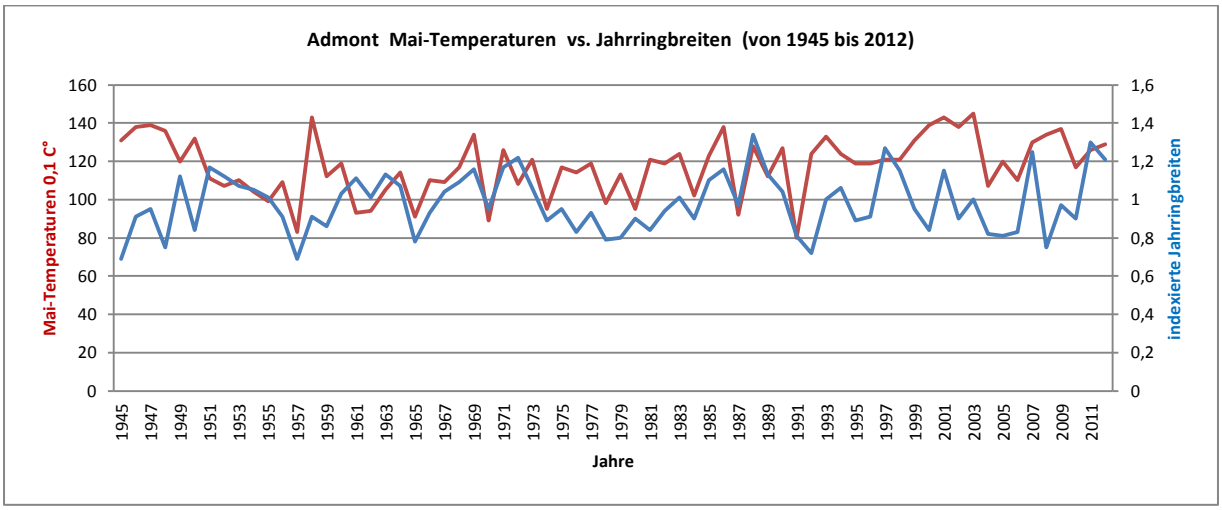


Abbildung 5.14: Graphische Darstellung der Zusammenhänge von Jahrringbreiten und den in Admont gemessenen Mai-Temperaturen (von 1945- 2012).

Die **Tabelle 5.21** zeigt Muster zwischen Jahrringbreiten (Spalte 2), der Differenz der Jahrringbreiten (Spalte 3) und den Temperaturen in Monatsmittelwerten gemessen am Zöbelboden (Spalten 4-15).

Vergleicht man die Jahre mit besonders breiten und besonders schmalen Jahrringen bzw. Differenzen zwischen den Jahrringen mit den Temperaturen, so zeigt sich, dass es im Jahr 1997 zu überdurchschnittlich hohen Zuwächsen kam und es gleichzeitig einen äußerst kalten Oktober gab. Der kalte Oktober kann sich jedoch nur einen minimalen Einfluss auf die Jahrringbreiten haben. Im Jahr 2001 gab es sehr hohe Differenzen zwischen den Jahrringen und in diesem Jahr zeichneten sich die Monate März und Mai mit besonders warmen Temperaturen aus. Dies kann mit der früh einsetzenden Schneeschmelze begründet werden. Mit einer besonders hohen Jahrringdifferenz hin zu schmalen Jahrringen zeichnete sich das Jahr 2002, trotz warmen März und kühlen Oktober aus. Hier könnte sich der relativ warme Februar und der sehr warme Juni negativ auf das Wachstum ausgewirkt haben. Ein warmes Frühjahr 2007 trifft mit hohen Jahrringbreiten und deren Differenzen

zusammen. Auch im Jahr 2011 kam es zu erheblichem Dickenwachstum, gepaart mit kalten Juni und Juli- und warmen August und September-Temperaturen. Die Temperaturen der Monate März und Mai waren 2013 besonders kalt was sich in den sehr schmalen Jahrringen wiederspiegelt. Ein weiterer Zusammenhang kann auch in der nachfolgenden (Juni) Trockenheit gesehen werden.

Der schwarz umrahmte Bereich von 2003 bis 2008 soll das Augenmerk auf den Brand im Jahr 2003 und die darauf folgenden Jahre lenken. In dem Jahr des Brandes (2003) bis 2006 lagen die jährlichen Zuwächse unter dem Durchschnitt. Erst 2007 kam es zu erheblichem Wachstum (extrem breite Jahrringe (siehe **Tabelle 5.11**)) und im Folgejahr zu ebenso extrem schmalen Jahrringen. Bei der Zunahme der Jahrringbreiten 2007 zeigt sich ein Zusammenhang mit dem in diesem Jahr vorherrschenden warmen Frühjahr und sehr feuchten April und Mai, im Gegensatz zu den geringen Zuwächsen im Folgejahr, bei denen keine klimatischen Zusammenhänge ersichtlich sind.

Tabelle 5.21: Jahre mit besonders hohen bzw. niedrigen Temperatur am Zöbelboden (Nationalpark Kalkalpen). Grün steht für außergewöhnlich breite Jahrringe, Blau für hohe Differenzen zwischen den Jahrringen, Orange steht für schmale Jahrringe und Rot für geringe Differenzen zwischen diesen. Rot markierte Monatsfelder zeigen besonders warme Temperaturen, lila zeigt den Maximalwert, blaue Felder zeigen weit unterdurchschnittlich kalte Temperaturen und Türkis sind die Minimalwerte. Monatsmittelwerte in Grad Celsius.

Jahrringbreiten und deren Differenz im Vergleich mit Temperaturen (in 0,1 C°) am Zöbelboden															
Jahr	Jahrringbreiten lebende	Diff. zw. d. Jahrringbreiten	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1993	0,92	0.24	-7	9	23	80	138	144	148	149	105	77	11	-2
1994	1,03	0.11	-8	-2	40	36	120	147	192	174	123	75	59	33
1995	0,88	-0.15	-28	18	0	58	101	115	186	146	94	115	6	-16
1996	0,87	-0.01	-29	-28	-15	60	110	150	143	143	88	88	52	-33
1997	1,38	0.51	-13	29	34	30	117	146	144	164	133	63	36	17
1998	1,16	-0.22	16	45	14	73	117	152	156	162	122	84	5	3
1999	0,98	-0.18	21	-30	32	66	123	133	164	153	153	91	12	4
2000	0,8	-0.18	-24	21	23	94	131	161	135	175	128	114	58	28
2001	1,21	0.41	-5	14	44	49	136	121	163	171	91	129	4	-37
2002	0,9	-0.31	5	41	48	58	132	167	164	161	104	74	63	32
2003	1,02	0.12	-21	-33	39	62	136	186	169	203	128	46	61	19
2004	0,84	-0.18	-26	6	17	73	92	133	154	167	124	109	30	3
2005	0,83	-0.01	-6	-37	11	70	116	147	159	138	132	104	20	-23
2006	0,86	0.03	-18	-23	0	68	109	141	195	129	155	123	61	49
2007	1,28	0.42	31	31	42	107	127	160	165	157	105	70	13	5
2008	0,76	-0.52	29	29	19	63	129	155	156	162	105	94	49	6
2009	0,97	0.21	-24	-14	12	114	122	131	168	174	139	69	71	-4
2010	0,9	-0.07	-50	-13	23	70	93	145	177	156	106	68	47	12
2011	1,28	0.38	-5	-7	43	97	122	145	142	177	149	82	60	17
2012	1,17	-0.11	-8	-62	56	73	125	155	163	175	130	83	57	5
2013	0,82	-0.35	-17	-38	-2	74	98	136	183	172	113	100		

warm	90% Quantil	21	31	44	97	136	161	186	175	149	115	62	32
kalt	10% Quantil	-28	-37	0	49	98	131	143	143	94	68	6	-24
minimal Wert		-50	-62	-15	30	92	115	135	129	88	46	4	-37
maximal Wert		31	45	56	114	138	186	195	203	155	129	71	49

Aufgrund der langen Datenreihen der Messstation Admont werden hier nur die Zusammenfassungen der Jahrringbreiten im Vergleich mit Temperaturmessungen dargestellt.

Tabelle 5.22 bildet Muster zwischen Jahrringbreiten und der Differenz zwischen den Jahrringbreiten eines Jahres mit dem Folgejahr und den in Admont gemessenen Temperaturen ab.

Betrachtet man die Jahre 1889, 1908, 1931, 1948, 1958, und 2009 so zeigt sich dass es in diesen Jahren zu breiten Jahrringen und oder starken Zuwächsen im Gegensatz zu Vorjahr gekommen ist und es gleichzeitig hohe Mai-Temperaturen gab. In den Jahren 1957, 1965, 1970 und 1991 kam es zu extrem geringen Zuwächsen bei niedrigen Mai-Temperaturen. Dies spiegelt sich auch in den Korrelationen (siehe **Tabelle 5.19**) der Mai-Temperaturen mit den Jahrringbreiten wieder.

Bei den August-Temperaturen zeigen sich positive Zusammenhänge (je wärmer, desto breiter die Jahrringe) mit den Jahrringbreiten der Jahre 1892, 1932, 2009, 2011, und 2012, sowie negative Zusammenhänge (je niedriger die Mai-Temperaturen desto, schmäler die Jahrringe) in den Jahren 1913, 1915 und 1965.

Tabelle 5.22: Jahre mit besonders hohen bzw. niedrigen Temperatur in Admont (Zusammenfassung), in Grad Celsius gemessen. Grün steht für außergewöhnlich breite Jahrringe, Blau für hohe Differenzen zwischen den Jahrringen, Orange steht für schmale Jahrringe und Rot für geringe Differenzen zwischen diesen. Rot markierte Monatsfelder zeigen besonders warme Temperaturen, Lila zeigt den Maximalwert, blaue Felder zeigen weit unterdurchschnittlich kalte Temperaturen und Türkis die Minimalwerte.

außergewöhnliche Jahrringe im Vergleich mit Temperaturen in Admont (0,1 C°)														
Jahr	Jahrringbreite	Diff. zw. d. Jahrringbreiten	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1889	1,34	0,42	-54	-46	-7	55	138	163	156	142	98	88	-10	-65
1890	1,3	-0,04	-20	-56	18	58	129	129	160	164	102	45	3	-67
1891	0,97	-0,33	-86	-55	11	37	126	140	151	143	122	88	0	-37
1892	0,78	-0,19	-60	-5	-6	61	106	140	147	175	117	61	-2	-81
1903	1,21	0,22	-89	-2	32	36	118	140	156	155	121	78	23	-49
1904	1,17	-0,04	-62	-12	24	74	116	153	176	157	106	61	5	-35
1908	1,19	0,03	-75	-24	-2	41	139	160	156	135	103	61	-16	-41
1913	0,66	-0,42	-48	-44	33	69	107	134	127	137	116	80	27	-25
1914	0,79	0,13	-84	-29	30	74	102	128	145	154	106	62	12	-19
1915	0,7	-0,09	-28	-15	7	58	127	159	149	134	100	44	-19	-7
1931	1,16	0,26	-46	-24	-16	49	143	164	163	144	83	53	27	-54

1932	1,19	0,03	-34	-59	-9	56	117	136	171	174	156	68	23	-30
1937	0,8	-0,26	-61	-10	27	60	133	158	160	151	117	89	13	-46
1945	0,69	-0,19	-101	7	40	67	131	158	172	156	123	72	5	-25
1948	0,75	-0,2	-3	-14	37	82	136	134	143	162	131	82	27	-66
1949	1,12	0,37	-35	-25	-8	87	120	132	154	150	141	84	27	-14
1950	0,84	-0,28	-48	-12	37	68	132	166	179	163	125	59	21	-34
1951	1,17	0,33	-26	12	18	62	111	147	160	169	141	69	41	-34
1957	0,69	-0,22	-57	13	46	61	83	159	165	142	113	67	25	-22
1958	0,91	0,22	-51	-9	-26	39	143	136	164	157	128	76	30	-21
1965	0,78	-0,29	-33	-56	2	47	91	144	152	139	123	63	2	-28
1970	0,95	-0,21	-35	-22	-7	37	89	151	154	155	122	58	31	-38
1971	1,17	0,22	-52	-24	-17	74	126	130	163	173	100	59	10	-3
1972	1,22	0,05	-53	2	49	66	108	146	151	156	96	46	-13	-39
1978	0,79	-0,14	-25	-32	26	52	98	134	147	142	114	75	-8	-35
1979	0,8	0,01	-65	-3	29	47	113	153	143	145	121	80	3	2
1988	1,34	0,37	-15	-21	3	66	128	143	177	164	124	97	-8	-3
1989	1,13	-0,21	-32	1	54	81	112	130	169	161	127	78	7	-37
1991	0,81	-0,23	-40	-39	54	55	80	144	175	169	142	66	11	-58
1992	0,72	-0,09	-35	-9	26	61	124	152	177	196	130	61	25	-39
1993	1	0,28	-20	-32	6	79	133	155	153	161	120	86	5	-21
1997	1,27	0,36	-37	-3	33	35	121	159	156	165	131	63	31	-1
2002	0,9	-0,25	-34	13	38	69	138	174	176	168	113	70	52	-10
2007	1,25	0,42	6	25	41	100	130	167	171	160	107	64	-3	-43
2008	0,75	-0,5	-15	3	30	74	134	169	168	170	116	84	36	-4
2009	0,97	0,22	-50	-13	21	95	137	147	177	178	139	71	36	-18
2011	1,3	0,4	-40	-17	38	96	126	158	161	178	147	70	8	-17
2012	1,21	-0,09	-25	-58	41	76	129	173	175	179	128	74	36	-29
warm		**Perzentile =0,9**	-17	3	41	84	135	162	177	171	140	89	36	-10
kalt		**Perzentile =0,1**	-82	-54	-7	43	95	128	146	140	103	52	-10	-62
minimal Wert														
maximal Wert														

Die **Tabelle 5.23** veranschaulicht mögliche Zusammenhänge der Jahrringzuwächse mit den Monatstemperaturen gemessen am Zöbelboden, während der Wachstumsperiode. Es lassen sich jedoch nur vereinzelt Muster erkennen. Vor allem in den Jahren 2001 in dem die Monate März und Mai extrem warm waren und 2007 mit einem über dem 90 Prozent Perzentil liegenden, warmen April (die Temperaturen im März und Mai waren ebenfalls überdurchschnittlich warm) kam es auch zu hohen Jahreszuwächsen. Im Jahr 2013, mit besonders kalten Monaten März und Mai gab es entsprechend niedrige Zuwächse.

Tabelle 5.23: Jahrringe im Vergleich mit der Wachstumsperiode. Wobei März, Mai und August positive Zusammenhänge aufweisen, der Juli negative Zusammenhänge wiederspiegelt und im April sowie im Juni sich keine Zusammenhänge zwischen Jahrringbreiten und Temperaturen ergeben.

Wachstumsperiode vs. Temperatur (in 0,1 C°) am Zöbelboden								
Jahr	**Jahrringbreiten lebende**	**Diff. zw. d. Jahrringbreiten**	**März**	**April**	**Mai**	**Juni**	**Juli**	**August**
1992	0,68							
1993	0,92	0.24	23	80	138	144	148	149
1994	1,03	0.11	40	36	120	147	192	174
1995	0,88	-0.15	0	58	101	115	186	146
1996	0,87	-0.01	-15	60	110	150	143	143
1997	1,38	0.51	34	30	117	146	144	164
1998	1,16	-0.22	14	73	117	152	156	162
1999	0,98	-0.18	32	66	123	133	164	153
2000	0,8	-0.18	23	94	131	161	135	175
2001	1,21	0.41	44	49	136	121	163	171
2002	0,9	-0.31	48	58	132	167	164	161
2003	1,02	0.12	39	62	136	186	169	203
2004	0,84	-0.18	17	73	92	133	154	167
2005	0,83	-0.01	11	70	116	147	159	138
2006	0,86	0.03	0	68	109	141	195	129
2007	1,28	0.42	42	107	127	160	165	157
2008	0,76	-0.52	19	63	129	155	156	162
2009	0,97	0.21	12	114	122	131	168	174
2010	0,9	-0.07	23	70	93	145	177	156
2011	1,28	0.38	43	97	122	145	142	177
2012	1,17	-0.11	56	73	125	155	163	175
2013	0,82	-0.35	-2	74	98	136	183	172
warm	**90% Quantil**		44.3	97.1	135.7	161.2	185.8	174.9
kalt	**10% Quantil**		-0.2	49.2	97.6	130.7	143.3	143.4
minimal Wert			-15	30	92	115	135	129
maximal Wert			56	114	138	186	195	203

Die folgende **Tabelle 5.24** veranschaulicht die Zusammenhänge zwischen Mai-Temperaturen (gemessen in Admont) und den Jahrringzuwächsen.

Grün markierte Felder in der zweiten Spalte der **Tabelle 5.24** verweisen auf besonders breite Jahrringe und Orange auf schmale Jahrringe. Die Differenz der Jahrringe wird in der dritten Spalte mit rot (niedrig) und blau (hoch) dargestellt. Warme Mai-Temperaturen werden in der vierten Spalte orange und kalte Mai-Temperaturen mit Grün ausgewiesen.

In dieser Darstellung sind die Definitionen für kalte und warme Mai-Temperaturen etwas weiter gesteckt als bei den übrigen Darstellungen und mit extrem warm bzw. extrem kalt weiter differenziert (siehe ende **Tabelle 5.24**).

Durch diese weiter gefasste Definition von warmen und kalten Temperaturen zeigen sich deutlichere Muster zwischen den Mai-Temperaturen und den Jahrringbreiten und den Differenzen zwischen den Jahrringen. Dies ist bei den Jahren 1890, 1946, 1978, 1993, 2007 und 2012, jeweils durch positive Zusammenhänge zwischen Zuwachs und warmen Mai-Temperaturen zu erkennen.

Tabelle 5.24: Jahrringbreiten, Differenzen zwischen den Jahrringbreiten und Mai-Temperaturen (in Grad Celsius, Messstation Admont).

Jahre mit besonders breiten oder besonders schmalen Jahrringen und Mai-Temperaturen in Admont											
Jahr	**Jahrringbreite**	**Diff. zw. d. Jahrringbreiten**	**Mai**	**Jahr**	**Jahrringbreite**	**Diff. zw. d. Jahrringbreiten**	**Mai**	**Jahr**	**Jahrringbreite**	**Diff. zw. d. Jahrringbreiten**	**Mai**
1884	0,9	0,14	129	**1927**	1,11	0,09	113	**1970**	0,95	-0,21	89
1885	0,98	0,08	99	**1928**	0,95	-0,16	88	**1971**	1,17	0,22	126
1886	0,86	-0,12	118	**1929**	1,1	0,15	122	**1972**	1,22	0,05	108
1887	1	0,14	102	**1930**	0,9	-0,2	107	**1973**	1,06	-0,16	121
1888	0,92	-0,08	113	**1931**	1,16	0,26	143	**1974**	0,89	-0,17	95
1889	1,34	0,42	138	**1932**	1,19	0,03	117	**1975**	0,95	0,06	117
1890	1,3	-0,04	129	**1933**	1,07	-0,12	95	**1976**	0,83	-0,12	114
1891	0,97	-0,33	0,33	**1934**	0,89	-0,18	129	**1977**	0,93	0,1	119
1892	0,78	-0,19	106	**1935**	0,85	-0,04	96	**1978**	0,79	-0,14	98
1893	0,91	0,13	96	**1936**	1,06	0,21	117	**1979**	0,8	0,01	113
1894	1,09	0,18	106	**1937**	0,8	-0,26	133	**1980**	0,9	0,1	95
1895	0,9	-0,19	99	**1938**	0,97	0,17	105	**1981**	0,84	-0,06	121
1896	0,82	-0,08	81	**1939**	1,08	0,11	99	**1982**	0,94	0,1	119
1897	0,95	0,13	84	**1940**	0,97	-0,11	98	**1983**	1,01	0,07	124
1898	1,16	0,21	114	**1941**	0,99	0,02	90	**1984**	0,9	-0,11	102
1899	0,99	-0,17	103	**1942**	1,08	0,09	122	**1985**	1,1	0,2	123
1900	0,82	-0,17	100	**1943**	1,03	-0,05	101	**1986**	1,16	0,06	138
1901	0,92	0,1	117	**1944**	0,88	-0,15	98	**1987**	0,97	-0,19	92
1902	0,99	0,07	75	**1945**	0,69	-0,19	131	**1988**	1,34	0,37	128
1903	1,21	0,22	118	**1946**	0,91	0,22	138	**1989**	1,13	-0,21	112
1904	1,17	-0,04	116	**1947**	0,95	0,04	139	**1990**	1,04	-0,09	127
1905	1,02	-0,15	109	**1948**	0,75	-0,2	136	**1991**	0,81	-0,23	80
1906	0,95	-0,07	111	**1949**	1,12	0,37	120	**1992**	0,72	-0,09	124
1907	1,16	0,21	120	**1950**	0,84	-0,28	132	**1993**	1	0,28	133
1908	1,19	0,03	139	**1951**	1,17	0,33	111	**1994**	1,06	0,06	124
1909	1,14	-0,05	96	**1952**	1,12	-0,05	107	**1995**	0,89	-0,17	119
1910	1,07	-0,07	102	**1953**	1,07	-0,05	110	**1996**	0,91	0,02	119
1911	1,15	0,08	110	**1954**	1,05	-0,02	104	**1997**	1,27	0,36	121
1912	1,08	-0,07	114	**1955**	1,01	-0,04	99	**1998**	1,15	-0,12	121
1913	0,66	-0,42	107	**1956**	0,91	-0,1	109	**1999**	0,95	-0,2	131
1914	0,79	0,13	102	**1957**	0,69	-0,22	83	**2000**	0,84	-0,11	139
1915	0,7	-0,09	127	**1958**	0,91	0,22	143	**2001**	1,15	0,31	143
1916	0,87	0,17	117	**1959**	0,86	-0,05	112	**2002**	0,9	-0,25	138
1917	0,89	0,02	131	**1960**	1,03	0,17	119	**2003**	1	0,1	145
1918	0,91	0,02	115	**1961**	1,11	0,08	93	**2004**	0,82	-0,18	107
1919	0,81	-0,1	79	**1962**	1,01	-0,1	94	**2005**	0,81	-0,01	120
1920	0,87	0,06	134	**1963**	1,13	0,12	105	**2006**	0,83	0,02	110

1921	1,06	0,19	126	**1964**	1,07	-0,06	114	**2007**	1,25	0,42	130
1922	1,07	0,01	121	**1965**	0,78	-0,29	91	**2008**	0,75	-0,5	134
1923	1,01	-0,06	117	**1966**	0,93	0,15	110	**2009**	0,97	0,22	137
1924	1,07	0,06	127	**1967**	1,04	0,11	109	**2010**	0,9	-0,07	117
1925	1,03	-0,04	119	**1968**	1,09	0,05	117	**2011**	1,3	0,4	126
1926	1,02	-0,01	105	**1969**	1,16	0,07	134	**2012**	1,21	-0,09	129

90%Quantil	**134,4**	**extrem warm**
80% Quantil	**129**	**warm**
10% Quantil	**94,8**	**extrem Kalt**
20% Quantil	99,6	kalt

Der schwarz gerahmte Bereich der **Tabelle 5.25** bezieht sich auf den Brand im Jahr 1950 der direkt auf dem an die Versuchsfläche angrenzenden Bereich stattgefunden hat. Hier zeigt sich dass es im Jahr nach dem Brand 1950 zu starken Zuwächsen im Gegensatz zum Vorjahr kam und sich sehr breite Jahrringen gebildet haben.

Dieser Effekt steht weder mit warmen März oder August-Temperaturen noch mit einem außergewöhnlich hochtemperierten Frühjahr in Zusammenhang.

In den Folgejahren hingegen weisen die beprobten Latschen keine außergewöhnlichen Zuwächse auf.

Tabelle 5.25: Brand 1950 - Jahrringbreiten im Vergleich mit Temperatur in Admont. Grün steht für außergewöhnlich breite Jahrringe, Blau für hohe Differenzen zwischen den Jahrringen, Orange steht für schmale Jahrringe und Rot für geringe Differenzen zwischen diesen. Rot markierte Monatsfelder zeigen besonders warme Temperaturen, Lila zeigt den Maximalwert, blaue Felder zeigen weit unterdurchschnittlich kalte Temperaturen und Türkis sind die Minimalwerte.

Brand 1950 Jahrringbreiten im Vergleich mit Temperatur in Admont														
Jahr	**Jahrringbreiten**	**Diff. zw. d. Jahrringbreiten**	**Jan**	**Feb**	**März**	**Apr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Aug**	**Sep**	**Okt**	**Nov**	**Dez**
1945	0,69	-0,19	-101	7	40	67	131	158	172	156	123	72	5	-25
1946	0,91	0,22	-65	-1	38	89	138	142	173	169	138	57	6	-65
1947	0,95	0,04	-104	-47	18	94	139	155	174	160	147	65	40	-25
1948	0,75	-0,2	-3	-14	37	82	136	134	143	162	131	82	27	-66
1949	1,12	0,37	-35	-25	-8	87	120	132	154	150	141	84	27	-14
1950	0,84	-0,28	**-48**	**-12**	**37**	**68**	**132**	**166**	**179**	**163**	**125**	**59**	**21**	**-34**
1951	1,17	0,33	-26	12	18	62	111	147	160	169	141	69	41	-34
1952	1,12	-0,05	-60	-24	6	95	107	152	175	170	99	59	-4	-48
1953	1,07	-0,05	-51	-28	20	81	110	148	175	147	134	109	-3	-27
1954	1,05	-0,02	-68	-50	33	48	104	156	139	155	132	65	-12	2
1955	1,01	-0,04	-66	-28	-9	47	99	138	159	144	121	69	8	-1
1956	0,91	-0,1	-39	-121	4	50	109	123	160	147	133	67	0	-28
1957	0,69	-0,22	-57	13	46	61	83	159	165	142	113	67	25	-22

1958	0,91	0,22	-51	-9	-26	39	143	136	164	157	128	76	30	-21
1959	0,86	-0,05	-41	-42	40	76	112	142	168	151	108	62	13	-10
1960	1,03	0,17	-55	-28	35	66	119	150	150	151	117	80	29	-23

warm	**Perzentile =0,9**	-15,8	6	41	87	137,5	162,7	177	170,6	141	90	36	-7
kalt	**Perzentile =0,1**	-80,5	-51,5	-7,5	45	95	128	145,3	140,5	102,8	56	-7,5	-61
minimal Wert													
maximal Wert													

Die **Tabelle 5.26** soll das Augenmerk auf den Brand 2003, der auf der eigentlichen Untersuchungsfläche stattgefunden hat, lenken. Hier zeigt sich wie bereits erwähnt dass die Jahre nach dem Brand in Bezug auf Zuwachsänderungen unauffällig waren und es erst im Jahr 2007 zu erheblichen Zuwächsen sowie zu breiten Jahrringen kam.

Betrachtet man nun die Temperaturmessungen in diesem Jahr so wird deutlich, dass es ein sehr warmes Frühjahr mit Maximalwerten im Jänner und Februar, so wie extrem warme März und April-Temperaturen gab. Der Mai erreichte ebenfalls überdurchschnittliche Temperaturen und auch der Juni zeichnete sich durch seine außergewöhnliche Wärme aus.

Tabelle 5.26: Brand 2003 - Jahrringbreiten im Vergleich mit Temperatur in Admont. Grün steht für außergewöhnlich breite Jahrringe, Blau für hohe Differenzen zwischen den Jahrringen, Orange steht für schmale Jahrringe und Rot für geringe Differenzen zwischen diesen. Rot markierte Monatsfelder zeigen besonders warme Temperaturen, Lila zeigt den Maximalwert, blaue Felder zeigen weit unterdurchschnittlich kalte Temperaturen und Türkis sind die Minimalwerte.

Brand 2003 - Jahrringbreiten im Vergleich mit Temperatur in Admont														
Jahr	**Jahrringbreite**	**Diff. zw. d. Jahrringbreiten**	**Jan**	**Feb**	**März**	**Apr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Aug**	**Sep**	**Okt**	**Nov**	**Dez**
1998	1,15	-0,12	-25	5	14	78	121	160	169	169	125	82	-1	-39
1999	0,95	-0,2	-35	-33	30	76	131	150	169	161	147	90	5	-33
2000	0,84	-0,11	-64	5	23	91	139	163	149	173	130	102	45	-18
2001	1,15	0,31	-39	-9	50	62	143	135	174	177	100	106	10	-60
2002	0,9	-0,25	-34	13	38	69	138	174	176	168	113	70	52	-10
2003	1	0,1	-37	-53	32	64	145	195	180	195	123	48	34	-35
2004	0,82	-0,18	-47	-16	5	76	107	143	164	165	124	98	16	-35
2005	0,81	-0,01	-46	-48	0	72	120	153	166	144	136	84	8	-38
2006	0,83	0,02	-84	-29	-5	70	110	145	182	134	149	97	26	-10
2007	1,25	0,42	6	25	41	100	130	167	171	160	107	64	-3	-43
2008	0,75	-0,5	-15	3	30	74	134	169	168	170	116	84	36	-4
2009	0,97	0,22	-50	-13	21	95	137	147	177	178	139	71	36	-18
2010	0,9	-0,07	-52	-25	21	76	117	155	185	166	117	62	33	-55
2011	1,3	0,4	-40	-17	38	96	126	158	161	178	147	70	8	-17
2012	1,21	-0,09	-25	-58	41	76	129	173	175	179	128	74	36	-29

warm	**Perzentile =0,9**	-16,36	7	41,9	91,9	138	166,3	177,3	175,6	145,6	97	36,3	-9,1
kalt	**Perzentile =0,1**	-80,95	-53	-8	47	95	130	147,7	142	106,4	57,7	-4	-61,3
minimal Wert													
maximal Wert													

6. Diskussion der Ergebnisse/Schlussfolgerungen

6.1. Diskussion Totholzvolumenberechnung

Das Latschen-Totholz auf der Brandfläche im Nationalpark Kalkalpen hat ein Durchschnittsvolumen von 109 Kubikmeter pro Hektar. Das ergibt für die in etwa 14 Hektar große Brandfläche ein Gesamttotholzvolumen von 1525 m³/ha.

Düggelin und Abegg (2011) errechneten in ihrer Studie zur Holzvolumenschätzung im schweizer Gebüschwald einen Wert von 166 m³/ha Latschentotholz. In den Untersuchungen von Fattorini et al. (2004) ergab das durchschnittliche oberirdische Latschen-Holzvolumen 141 m³/ha.

Die beiden Vergleichswerte sind deutlich höher als die in dieser Arbeit ermittelten Volumina, wobei auch die Abweichungen des Ergebnisses von Fattorini et al. (2004) um ca. 20 Prozent höher ist als das von Düggelin und Abegg (2011).

Das Totholzvolumen auf der Brandfläche im Nationalpark Kalkalpen wurde im Gegensatz zu der von Düggelin und Abegg (2011), nach der line intersect method (LIS) ausgewertet. Eine Voraussetzung der Methode ist, dass die Totholzstücke zufällig verteilt, also nicht gerichtet auf der Probefläche liegen (Shiver und Borders 1996, Oehmichen 2007).

Da das Latschengebüsch aufgrund seines basitonen Wuchses nach dem Absterben durch das Feuerereignis an Ort und Stelle liegen blieb und allenfalls hangabwärts rutschte, war diese Bedingung nicht gegeben.

Um dem dadurch entstehenden systematischen Fehler (Bias) entgegenzuwirken wurde die Transekte wie von Shiver und Borders (1996) empfohlen, in unterschiedliche Richtungen ausgerichtet. Die Richtungen wurden mittels Zufallszahlen ermittelt.

Die Methode erlaubt auch keine Miteinberechnung von Baumstümpfen und Wurzelstöcken, was zu Abweichungen der Ergebnisse einer Vollerhebung führen kann.

Die Berechnungen der einzelnen Transekte ergaben sehr unterschiedliche Ergebnisse. Das ist unter anderem darauf zurückzuführen dass die Anzahl der Stichproben je Transekt stark variiert haben. Die geringeren Volumina auf der Untersuchungsfläche lassen sich am ehesten mit Standortsfaktoren, besonderes der Süd-Exposition des Hanges und den gering mächtigen Böden erklären. Außerdem wurde das Volumen durch den Brand vermindert, verkohlte Stammteile und Borken sind auf der Fläche bereits abgewittert.

Da der Brand zehn Jahre vor der Untersuchung des Totholzes stattgefunden hat, haben bereits biotische und abiotische Abbauprozesse eingesetzt, was möglicherweise zu einer leichten Unteschätzung der Volumenwerte geführt hat.

Das außergewöhnliche auf dieser Brandfläche ist, dass immer noch eine große Anzahl an Totholz vorhanden ist. Viele der durch das Feuer abgestorbener Lärchen und Latschen sind nicht völlig verbrannt und können bis zu fünfzig Jahre nach dem Feuerereignis stehen bleiben. Solche Baumstämme und Reste lebender und toter organischer Stoffe sind fortdauerndes biologisches Erbe, die eine wichtige Rolle als Wildtierhabitate, für den Nährstoffkreislauf, für Ökosystemfunktionen und die Wiederbewaldung spielen (Harmon et al. 1986). Franklin et al. (2002) beschreiben in ihrer Studie die Rolle von Waldbränden (und anderen Störungen) als Schlüsselelemente für strukturelles Erbe, in sich erholenden Beständen nach Störungen.

Weiters zeigen Keeton und Franklin (2005) in ihrer Studie, dass sich liegendes Totholz (coarse woody debris) nach einem Waldbrand positiv auf die Wiederbewaldung auswirken kann, in dem es zu einer erhöhten Biomasseproduktion und verringerter Fäulnis kommt.

6.2. Diskussion der Einzelstammauswertung

6.2.1. Volumsfunktion und Formzahl

Die Formzahl wurde mit unterschiedlichen Modellen der sektionsweisen Voluminierung berechnet. In dieser Arbeit wurden daher mehrere Formzahlen ermittelt. Für die ersten Formzahlen wurde das Volumen nach der allgemein üblichen Methode nach Smalian (1837) und Huber (1828) (hier als „Zylinder 2“ benannt), bei der der Zylinder als Modellkörper dient und die Sektionen alle gleich lang

sind, herangezogen. Für die Berechnung wurden zum einen die Daten der lebenden Latschen, zum anderen die der toten Latschen und beider (lebender und toter gemeinsam) herangezogen. Bei der zweiten Formzahl wurde als Modellkörper für die ersten fünf Sektionen der Zylinder und für die letzte Sektion ein Kegel verwendet. Auch die Sektionslängen wurden angepasst (hier als „Kegel“ bezeichnet). Auch in diesem Fall wurden die Formzahlen einmal mit den Daten lebender, toter und lebender und toter Latschen gemeinsam berechnet. Die Volumen des zweiten Modells mit der Formzahl für lebende Latschen zeigten stärkere Zusammenhänge mit den Stammfußdurchmessern. Die Übereinstimmung der Volumen, die mit der Formzahl für lebende Latschen berechnet wurden, mit jenen der sektionsweisen Berechnung, war mit rund 95 Prozent Übereinstimmung bei „Zylinder 2“ höher. Modell „Kegel“ weist dagegen nur Übereinstimmungen von rund 93 Prozent auf.

Die Formzahl für lebende Latschen, die mit dem Modell „Zylinder 2“ berechnet wurde, ergibt einen Wert von 0,56. Die nach dem Modell „Kegel“ für lebende Latschen berechnete Formzahl hat einen Wert von 0,46.

Da in der Literatur nur Formzahlen von Baumarten mit wirtschaftlichem Interesse enthalten sind, kann der Vergleich nur mit den Formzahlen anderen Baumarten angestellt werden. Die Kiefer hat nach Pollanschütz (1974) eine Formzahl von 0,44, die Tanne 0,58, die Lärche 0,61 und die Fichte weist einen baumspezifischen Koeffizienten von 0,47 auf. Die spezifische Formzahl für Winterkiefern bei einem Gültigkeitsbereich von einem BHD größer gleich 5cm gibt Pollanschütz (1974) einen Wert von 0,44 und für Sommerkiefern bei gleichen BHD 0,53 an.

Nach Gruber (2014) bewegen sich die Formzahlen für Kiefer zwischen 0,40 - 0,43, für Tanne zwischen 0,45 - 0,50, für Lärche zwischen 0,40 - 0,44 und für Fichte zwischen 0,43 - 0,47.

Damit liegen die Berechneten Formzahlen in etwa bei denen in der Literatur beschriebenen Werte für Kiefern.

Kritisch anzumerken an die in dieser Arbeit errechneten Formzahlen ist, dass nur sehr wenige (fünfzehn) Latschenloden beprobt wurden um in die Berechnung miteinzufließen. Um ein genaueres Ergebnis zu erzielen ist eine Wiederholung mit mindestens 68 Proben (Grenzwert: 10%; Vertauenintervall 90%, Grundgesamtheit unbekannt (20000); Verteilung 50%) zu empfehlen.

In West (2004) werden mindestens 50 Loden, für eine in einem Gebüschwald dominante Gehölzarten (Latschen und Grünerlen) empfohlen, um eine ausreichend gestützte Funktion herzuleiten.

6.2.2. Biomasseerhebung der Einzelstämme

Da für die Berechnung der Biomasse das Stammvolumen als Ausgangsgröße herangezogen wurde ergeben sich auch hier zwei Ergebnisse.

Die Biomasse einer durchschnittlichen Latschenlode beträgt je nach Modellrechnung 9,9 Kilogramm („Zylinder 2“) und 11,3 Kilogramm („Kegel“). Bedenkt man dass, in der vorliegenden Studie mit toten, bereits im Abbauprozess befindlichen Latschen gerechnet wurde, könnte man einen Rindenabzug von üblicherweise 10 Prozent miteinberechnen. Dann würde sich die Ergebnisse auf 10,6 („Zylinder 2“) und 12,6 („Kegel“) erhöhen.

Dušek et al. (2012) errechneten in ihrer Studie für einen durchschnittlichen Latschenstrauch ein Trockengewicht von circa 8,4 Kilogramm. Die in dieser Arbeit ermittelten Biomassewerte für Einzelstämme liegen nach beiden Modellen über den von Dušek et al. (2012) ermittelten Werten.

Da die Latsche sehr lichtbedürftig ist - in der frühen Jugend ist sie eine Halblicht- und ab der Dickung eine reine Lichtbaumart (ETH Zürich 1995) können die unterschiedlichen Ergebnisse unter anderem darauf zurückzuführen sein, dass es auf der von Dušek et al. (2012) ausgewählte Versuchsfläche leichte Überschirmungen und intraspezifische Konkurrenz gab.

Auch hier soll wie bereits bei der Volumenberechnung erwähnt, auf die geringe Stichprobenanzahl hingewiesen werden.

6.3. Diskussion der dendrochronologischen Auswertungen

6.3.1. Altersverteilung

Bei der Jahrringanalyse zeigte sich, dass die Stammfußscheiben, insbesondere der toten Latschenindividuen meist nicht von Anfang (Kern) bis Ende (Waldkante) messbar waren. Die Gründe

dafür sind vielfältig. Das Fehlen des Marks, Verwitterung, Pilzbefall, mechanische Schäden und nicht zuletzt der Brand selbst haben nur bei sieben der fünfzehn Proben die Bestimmung eines eindeutigen „Geburtsjahres“ zugelassen. Die **Abbildung 6.1** zeigt die Verteilung der eindeutig messbaren Latschenproben, sortiert nach ihrem ersten Jahr und der Anzahl der gemessenen Jahrringe.

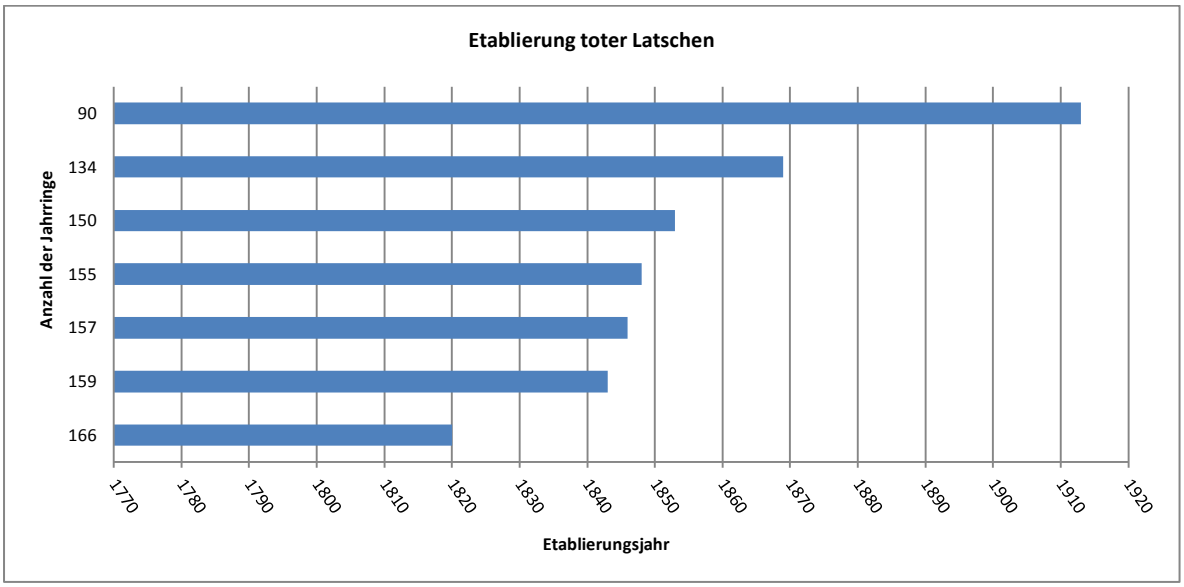


Abbildung 6.1: Verteilung der Etablierungsjahre toter Latschenproben mit eindeutig zuordenbarem erstem Jahr - „Keimjahr“.

Aufgrund dieser Ergebnisse lässt sich kein in der Vergangenheit stattgefundenes Großereignis (wie zum Beispiel Feuer) erklären, da sich die Altersverteilung der Latschen, soweit überhaupt feststellbar, als zu inhomogen präsentiert. Allerdings ist hier die Stichprobenanzahl sehr gering.

Auch die Referenzproben der Latschen, die bei dem Brand nicht zu Schaden gekommen sind, zeigen kein einheitliches Etablierungsjahr. Hier hat ebenfalls keine zeitgleiche Verjüngung stattgefunden. Dies wird in der **Abbildung 6.2** veranschaulicht.

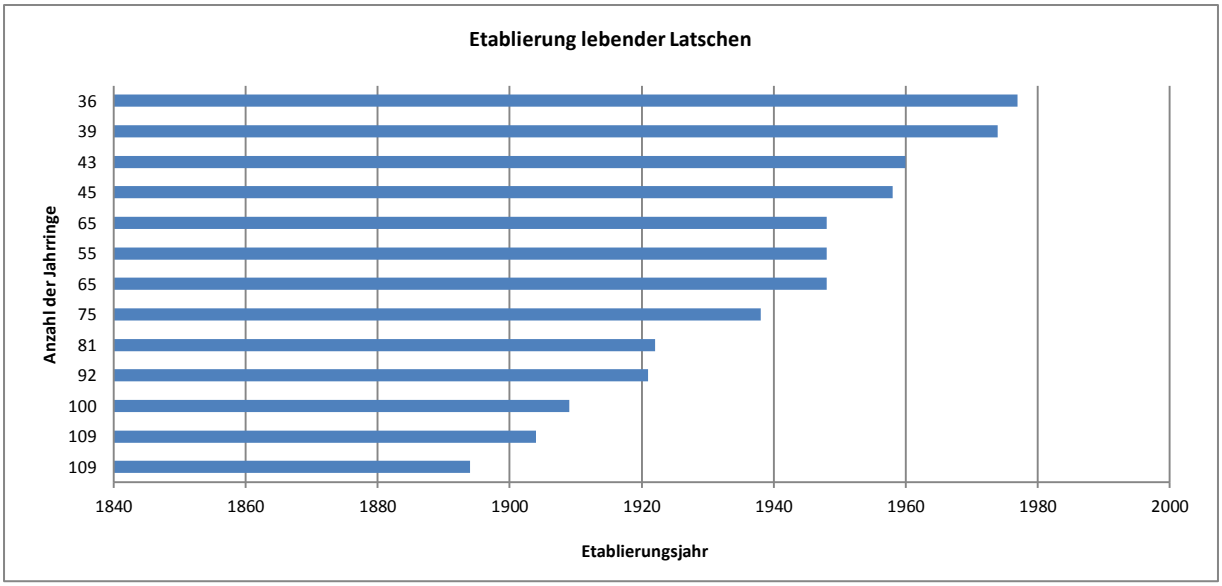


Abbildung 6.2: Verteilung der Etablierungsjahre der lebenden Referenz-Latschenproben.

6.3.2. Weiserjahre (besondere Jahre)

Die Jahre die hier als Weiserjahre oder „besonderen Jahre“ angeführt werden, ergaben sich aufgrund der Jahrringbreiten und der Differenz zwischen den Jahrringbreiten. Da die „besonderen Jahre“ nur zur Gegenüberstellung der Klimadaten mit den Jahrringbreiten herangezogen wurde, ist im Zuge dieser Studie keine spezielle Weiserjahranalyse durchgeführt worden.

Die in dieser Studie identifizierten „besonderen Jahre“ wurden anhand eines 5 und 10 prozentigem Quantils berechnet und gelten als „schmal“ und „extrem schmal“. Als „breit“ und „extrem breit“ werden Jahrringe bezeichnet, deren Werte zwischen dem 90 und 95 %-Quantil liegen.

Die identifizierten Weiserjahre sind im Ergebnisteil in Tabelle 5.10 auf Seite 51 dargestellt.

Vergleicht man die in dieser Studie ausgewiesenen Weiserjahre mit denen von Neuwirth et al. (2006) in ihrer Studie über „Spatial patterns of central European pointer years from 1901 to 1971“ identifizierten Jahre, so ergeben sich folgende Übereinstimmungen bei den positiven Jahren:

1904, 1932, 1951 und 1958

Und folgende Übereinstimmungen bei den negativen Jahren:

1913, 1948, 1957 und 1965

Da die Zeitreihe von Neuwirth et al (2006) nicht den gesamten in dieser Studie zur Verfügung stehenden Zeitraum abdeckt, sondern nur die Jahre zwischen 1901 und 1971, können auch nur die in diesen Zeitraum fallenden Jahre verglichen werden.

6.3.3. Zusammenhänge zwischen Jahrringen und Klima

Die Korrelationswerte der Jahrringbreiten und der Klimabedingungen (Lufttemperatur und Niederschlag) zeigten eindeutige Zusammenhänge auf. Die nun folgenden Ausführungen beziehen sich auf die Klimadaten die von der Messstation Meteorological data LTER Zöbelboden zur Verfügung gestellt wurden.

Der Vergleich der Jahrringbreiten mit den Juni-Niederschlägen am **Zöbelboden** zeigt einen negativen Zusammenhang zwischen diesen beiden Datensätzen.

Es gab auch zwischen Jahrringbreiten und August-Niederschläge Korrelationen mit negativen Vorzeichen. Dies deutet darauf hin, dass hohe Sommer-Niederschläge zu verringerten Zuwächsen führen (und umgekehrt). Nach Weber (2002) kommt eine umgekehrt proportionale Beziehung häufig zustande, weil der Niederschlag mit anderen noch limitierenderen Faktoren zusammenhängt. Bei sehr großer Nässe beispielsweise ist das Wurzelwachstum durch die Sauerstoffversorgung limitiert. Bei den vorliegenden Böden ist das allerdings nicht anzunehmen.

Ein noch stärkerer Zusammenhang zwischen Niederschlagmengen und Zuwächsen zeigt sich in den Wintermonaten. Dort hat der Dezember-Niederschlag eines Jahres den höchsten Einfluss auf die Zuwachsraten der Latschen im Folgejahr. Da es sich um positive Korrelationen handelt lässt sich daraus ableiten, dass es dann zu erhöhten Zuwächsen kommt wenn es im Dezember hohe Niederschlagssummen (in Form von Schnee) gegeben hat. Eine Erklärung dafür wäre, dass der als Schnee gefallene Niederschlag im Dezember als Wasservorrat zu Beginn der Wachstumsperiode zur Verfügung stehen kann, wenn es in den darauffolgenden Monaten zu erhöhten Temperaturen kommt um die Schneeschmelze einzuleiten. Gerade auf südseitig exponierten Hängen mit Böden

schlechter Wasserspeicherfähigkeit ist eine gute Wasserversorgung zu Beginn der Wachstumsperiode im Frühjahr wichtig. Wie die **Tabelle 5.14** veranschaulicht, kam es im Vorjahr eines Jahres mit erhöhtem Zuwachs häufig zu überdurchschnittlich viel Dezember-Niederschlag.

Die Oktober-Werte zeigen ähnlich starke Niederschlags-Zusammenhänge wie die des Dezembers auf, allerdings beziehen sich die Zusammenhänge hierbei auf das laufende Jahr.

Laut (Weber 2002) liegt ein Grund für direkte Korrelation zwischen Niederschlag und Jahrringbreiten im Zusammenhang zwischen geringem Niederschlag, niedriger Bodenfeuchtigkeit und wachstumslimitierendem Wasserstress. McDowell (2011) spricht in diesem Zusammenhang davon, dass Trockenheit Pflanzen auf den Weg in eine „carbon starvation“ führt. Er definiert den carbon starvation Prozess als Situation in welcher das Kohlenstoffangebot von Photosynthese und der Mobilisierung von nichtstrukturellen Kohlenhydraten und Autophagie geringer ist als der Kohlenstoffbedarf der für Respiration, Wachstum und Verteidigung [gegen Pathogene und Insekten] benötigt wird. Sowohl Weber (2002) als auch McDowell (2011) gehen davon aus, dass das Kambium nicht direkt vom Wasserstress gehemmt wird, sondern dass zuerst andere physiologische Prozesse (Einschränkung von nichtstrukturellem Kohlenstofftransport und Stoffwechsel, hydraulischen Defekten u.s.w.) limitiert sind, welche wiederum das Wachstum zu einem späteren Zeitpunkt schwächen.

Die Temperatur spielt für den jährlichen Zuwachs speziell in höheren Lagen (bis über die Waldgrenze) eine dominante Rolle. Hohe Temperaturen zu Beginn der Vegetationsperiode sind ausschlaggebend, da sie zur Bildung einer weiten Kambiumzone, einer großen Zellproduktion über den ganzen Sommer und damit zu einem breiteren Jahrring führen (Weber 2002). Dies spiegelt sich in den hohen (R^2 = 0,3638) direkt proportionalen Zusammenhängen zwischen den März-Temperaturen und den Jahrringbreiten wieder. Bringt man die Frühjahrestemperaturen (März bis Mai) gemeinsam mit den Jahrringbreiten im Zusammenhang, so erhält man deutliche Korrelationen, was die Aussage von Weber (2002), dass die Frühjahrstemperaturen für die Jahrringbreiten ausschlaggebend sind, bestätigt.

Weiters beschreibt Weber (2002) dass es direkte proportionale Zusammenhänge zwischen Jahrringbreiten und Sommertemperaturen vor allem bei Bäumen an der Waldgrenze gibt. Diese Beziehung besteht weil niedrige Temperaturen die Respiration, die Photosyntheseleistung und andere biochemische Prozesse, die für ein schnelles Wachstum verantwortlich sind, limitieren. Niedrige Temperaturen wirken sich zudem auf die Rate, mit der Reservestoffe in Wachstum umgesetzt werden könne aus.

Bäume unterhalb der Waldgrenze sind aufgrund der Tatsache, dass sich in erster Linie Minimumtemperaturen (unterhalb von 5 °C) und erst in zweiter Linie der Verlauf des Jahresmittelwerts das Wachstum und somit die Jahrringbreite beeinflusst, weniger vom limitierenden Faktor Temperatur und der damit einhergehenden Prozesse, abhängig (Weber 2002, Kozlowski et al. 1991, Körner 1999).

Dies kann mit den positiven Korrelationen der August-Temperaturen mit den Jahrringbreiten erklärt werden. In **Tabelle 5.12** sieht man in der Gegenüberstellung der Temperaturen mit Jahrringbreiten, dass geringer Zuwachs mit kühlen August-Temperaturen und hoher Zuwachs mit warmen Temperaturen im August einhergehen.

Anders verhalten sich die Korrelationen sowohl der Juli- als auch der Oktober-Temperaturen mit den Jahrringbreiten. Hier zeigen die Korrelationswerte negative Vorzeichen. Eine Erklärung für umgekehrt proportionale Beziehungen zwischen monatlichen Temperaturen und Jahrringbreiten ist, dass die Temperatur die bestimmende Kraft für die Verweildauer von Wasser darstellt. Hohe Temperaturen führen zu großer Evapotranspiration und damit einhergehend zu verstärktem Wasserstress und dadurch zu Zuwachsreduktion (Weber 2002). Große Hitze (bei Nadelbäumen oberhalb von 40 bis 50 °C) kann zudem auch zu direkten Schäden führen (Larcher 2001).

Es zeigt sich, dass die Jahrringbreiten sowohl von der Temperatur als auch von Niederschlägen im August beeinflusst werden. Es scheint, dass sich sowohl geringe Niederschlagsmengen als auch hohe Lufttemperaturen im August positiv auf die Zuwächse von *Pinus mugo* auswirken. Die Erklärung dafür kann darin begründet sein, dass die optimale Photosynthese für viele Baumarten zwischen 25 und 30 °C liegt, solange ausreichend Wasser verfügbar ist (Larcher 2001).

Ähnliche Zusammenhänge zeigen Oktober-Niederschläge und -Temperaturen mit Jahrringbreiten. Hier wirken sich geringe Niederschlagssummen und hohe Temperaturmittelwerte negativ auf die Zuwachsraten der Latsche aus. Da die Vegetationszeit, begrenzt durch Spät- und Frühfrost (Lindholm 2006) bei hohen Oktober-Temperaturen noch andauert, ist hier möglicherweise der fehlende Niederschlag als limitierender Faktor für die geringen Zuwächse verantwortlich.

Ein weiterer Zusammenhang zwischen Temperatur und Niederschlag zeigt sich im Monat Jänner. Hier haben hohe Niederschlagsmengen in Kombination mit geringen Temperatursummen negative Auswirkungen auf die Jahrringbildung und umgekehrt.

Wachstumstreiber

Als Wachstumstreiber konnten zum einen hohe Frühjahrstemperaturen vor allem in den Monaten März und Mai identifiziert werden. Zum anderen scheinen auch hohe August-Temperaturen ausschlaggebend zu sein. Zusätzlich zu den Temperaturen sind als Wachstumstreiber geringe Sommerniederschläge besonders in den Monaten Juni und August zu nennen. Auch die Winterniederschläge, hier ist vor allem der Dezember als Einflussfaktor zu nennen, haben einen positiven Einfluss auf die Jahrringbildung.

Brand 2003

Der Brand im Jahr 2003, der direkt unterhalb des (für die lebenden Latschen) beprobten Latschenfeldes stattgefunden hat, zeigt in den drei Folgejahren keine Auswirkungen auf die Jahrringentwicklung. Erst im vierten Jahr nach dem Brand (2007) sind bei den beprobten Latschen deutliche Zuwächse zu verzeichnen. Die Zuwächse können einerseits auf ein relativ warmes Frühjahr zurückzuführen sein. Grundsätzlich führt ein Brand zu einer geringeren Evapotranspiration und eine Erhöhung des sensiblen Wärmestroms. Das bewirkt Erwärmung die oberhalb der Fläche zu Auswirkungen auf das Wachstum führen kann. Das Albedo vermindert sich in den ersten Jahren nach Brand und verstärkt diesen Effekt, während sich nach dem dritten Jahr die dunklen Oberflächen durch Erosion und Abbauprozesse stark vermindern und weiße Oberflächen zu Tage treten, deren hohes Albedo diesen Effekt etwas abschwächt. Erhöhte Zuwächse oberhalb der Fläche könnten somit eine Auswirkung des Brandes darstellen.

In **Admont** zeigten ebenfalls die Sommerniederschläge, allerdings in den Monaten Juni und Juli umgekehrt proportionale Zusammenhänge. Im Gegensatz zum Zöbelboden bei denen die Monate Juni und August ausschlaggebend waren. Die Winterniederschläge in Admont hingegen zeigten im Vergleich mit den Jahrringbreiten keine Korrelationen.

Bei den Frühjahrstemperaturen wies besonders der Monat Mai einen direkten Zusammenhang mit der Entwicklung von Jahrringbreiten auf. Am Zöbelboden waren vor allem die März-Temperaturen ausschlaggebend, aber auch die Maiwerte spielten eine Rolle.

Die gute Jahrringentwicklung vier Jahre nach dem Brand 2003 ist einerseits durch den Vergleich mit den Klimadaten von Admont (warmes Frühjahr) und andererseits mit den schon beschriebenen klimatischen Effekten der Brandfläche zu erklären.

Die extrem breiten Jahrringe im Jahr 1951, ein Jahr nach dem Brand auf dem direkt zur Untersuchungsfläche angrenzendem Gebiet, können nicht mit warmen Frühjahrstemperaturen oder außergewöhnlichen Sommerniederschlägen erklärt werden. Auch hier könnte die Erwärmung aufgrund fehlender Vegetation auf der Brandfläche von 1950 einen positiven Einfluss auf die Untersuchungsfläche ausüben. Es könnte auch die Freistellung der Laschen nach dem Brand zu einem Lichteffekt geführt und sich ebenfalls positiv auf das Wachstum ausgewirkt haben.

Als kritische Anmerkung sollte erwähnt werden, dass die Klimadaten vom Zöbelboden nur einen sehr kurzen Zeitraum von 1993 bis 2013 umfassen. Daher wurden nur Daten der lebenden Latschenproben mit den Klimadaten vom Zöbelboden verglichen. Die Daten der toten Latschen wurden aufgrund der nur zehn Jährigen Überschneidung mit den Klimadaten nicht herangezogen, da die Aussagekraft unzureichend wäre.

Die Jahrringserien die mit den Klimadaten vom Zöbelboden in Beziehung gesetzt wurden, ergaben deutlich höhere Korrelationswerte als die von Andmont. Daher werden die Ergebnisse von Admont nur vergleichend diskutiert. Die Vorteile der Klimadaten von Admont liegen in der Länge der Zeitreihe, die vollständig von 1884 bis 2012 vorliegt. Es wurde auch mit deutlich mehr Proben gerechnet, da hier nicht nur die lebenden sondern auch die toten Latschen miteingeflossen sind.

Die Altersverteilung der Latschenindividuen innerhalb des Bestandes lässt keine Rückschlüsse auf frühere Großereignisse zu. Die Verteilung sowohl der toten Latschen auf der Brandfläche als auch der lebenden Referenzlatschen oberhalb der Brandfläche hat sich als inhomogen erwiesen.

Eine mögliche Ursache für die Inhomogenität des Bestandes kann methodischer Natur sein, da es bei einer großen Anzahl der Proben nicht mehr möglich war, das genaue Etablierungsjahr festzustellen.

7. Zusammenfassung und Ausblick

In der hier vorliegenden Arbeit wurden drei Themenbereiche behandelt. Als erstes die Volumenberechnung des liegenden Latschen-Totholzes auf der Brandfläche unterhalb des Haglergipfels. Der zweite Themenbereich behandelt die Einzelstammauswertung. Diese beinhaltet die Entwicklung einer Volumsfunktion und Formzahl für Latschen sowie die Biomasseberechnung von Latschen-Einzelstämmen (= Latschenlode). Der dritte Bereich behandelt die dendochronologischen Auswertungen der Stammscheiben sowohl der lebenden als auch der toten Latschen. Dazu wurde die Altersverteilung der Latschen ermittelt, Weiserjahre identifiziert, und den Zusammenhängen zwischen Jahrringentwicklung und Klimaereignissen auf den Grund gegangen. Weiters wurde auf die Fragen nach möglichen Wachstumstreibern und Auswirkungen der Brände von 1950 und 2003 eingegangen.

Durch die Berechnung des Latschen-Totholzes auf der Brandfläche 2003 im Nationalpark Kalkalpen konnte das Volumen der oberirdischen Biomasse dokumentiert werden. Das Latschen-Totholz ergab ein Durchschnittsvolumen von 109 Kubikmeter pro Hektar. Daraus ergibt sich für die circa 14 Hektar große Brandfläche ein Gesamttotholzvolumen von 1525 m³.

Da es auf dieser Brandfläche große Mengen an liegendem (Latschen-) Totholz gibt, eröffnet sich die Möglichkeit, die Rolle des „ökologischen Erbes“ für Sukzession zu untersuchen.

Ein weiteres Ziel dieser Studie war die Entwicklung einer Volumsfunktion für Latschen, welche auf einfach zu erhebenden Parametern wie Stammfußdurchmesser und Stammlänge beruhen. Die dafür entwickelte Formzahl ist je nach Volumenmodell 0,46 und 0,56. Aufgrund der statistischen Auswertungen wird in dieser Arbeit die nach dem Modell „Zylinder 2“ berechnete Formzahl 0,46 zur Verwendung empfohlen. Die entsprechende Volumenfunktion für eine Latschenlode lautet daher:

$$Volumen_L = f.l.d^2.\frac{\pi}{4}$$

Wobei neben der Länge l und dem Stammfußdurchmesser d für die Formzahl f 0,46 einzusetzen ist.

Zur Verbesserung der Datengrundlage von Latschen-Gebüschwäldern wurde die Biomasse von Latschen-Einzelstämmen berechnet und in weiterer Folge die durchschnittliche Biomasse einer Latschenlode abgeleitet. Dafür wurde die Stammbiomasse über das Volumen und die Dichte berechnet und anschließend mit der Trockenbiomasse der Äste, Nadeln und Zapfen hochgerechnet.

Die durchschnittliche Biomasse einer Latschenlode beträgt durchschnittlich 9,1 Kilogramm (unter der Annahme des Volumenmodells „Zylinder 2“, verwendet man das Volumenmodell „Kegel“ so ergibt die durchschnittliche Biomasse einer Latschenlode 10,4 kg).

In weiterer Folge kann mit dieser Grundlage die im Latschenholz enthaltene Kohlenstoffmenge besser geschätzt werden und dadurch die Senkenleisung von Gebüschwäldern, insbesondere der Latschenbestände ermittelt werden. Die Ergebnisse können somit zu einer genaueren Treibhausgas-Inventur und damit zur Erreichung der Kyoto-Ziele beitragen.

Bei der dendrochronologischen Fragestellung hinsichtlich der Altersverteilung konnten keine Rückschlüsse auf vergangene Großereignisse gezogen werden, da die beprobten Latschen auf keine gleichzeitige Verjüngung hindeuteten. Die Altersverteilung erwies sich sowohl bei den lebenden als auch bei den toten Individuen als inhomogen. Um hier eindeutigere Ergebnisse zu erhalten, wäre es sinnvoll eine zusätzliche Erhebung mit deutlich mehr Proben anzustellen. Limitierend wirkt hier allerdings der schon hohe Abbaugrad des Totholzes.

Die Korrelationen zwischen den gemessenen Jahrringbreiten und den Klimadaten wiesen eindeutige Zusammenhänge auf. Besonders ausgeprägt ist der Zusammenhang zwischen den März-Temperaturen und der Jahrringentwicklung im selben Jahr. Zwischen Niederschlägen im Dezember und den Zuwächsen im darauf folgenden Jahr zeigen sich ebenfalls hohe Korrelationswerte.

Auf Basis statistischer Berechnungen sind hohe Frühjahrstemperaturen (vor allem in den Monaten März und Mai), warme und niederschlagarme Sommer (speziell im Juni und August) sowie ein niederschlagsreicher Dezember als Wachstumstreiber identifiziert worden.

Die ausgeprägte Jahrringentwicklung im vierten Jahr nach dem Brand 2003 kann neben den klimatischen Einflussfaktoren auch den Auswirkungen der Brandfläche auf den Strahlungshaushalt zugeschrieben werden.

8. Verzeichnisse

8.1. Literatur- und Quellenverzeichnis

Amt der Oö. Landesregierung, 2014. Standortfaktoren Sengsengebirge. Verfügbar in: https://www.land-oberoesterreich.gv.at/cps/rde/xchg/ooe/hs.xsl/65429_DEU_HTML.htm [Abfrage am 17.4.2014].

Baillie, M. G., 1982. Tree-ring dating and archaeology. London, Canberra: Croom Helm Ltd.

Baillie, M. G., und Pilcher, J. R., 1973. A simple crossdating program for tree-ring research. Tree-Ring Bull.33, 7-14.

Barbéro et al., in Richardson, D.M., 1998. Ecology and Biogeography of *Pinus*. Cambridge: Cambridge University Press

Cohen, J., 1988. Statistical power analysis for the behavioral sciences. Hillsdale, NJ: L. *Eribaum* Associates, xxi, 567.

Cook, E. R., 1983. ARSTAN- Autoregressive Standardization. New York: Tree-Ring Laboratory, London Earth Observatory of Columbia University Palisades.

Cook, E. R., 1990. A conceptual linear aggregate model for tree rings. In: Cook, E. R., und Kairiukstis, L. A., Hrsg. Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences. Dortrecht, Niederlande: Kluwer Academic Publishers, 98-104.

Cook, E. R., und Kairiukstis, L. A., Hrsg. 1990. Methods of dendrochronology, applications in the environmental sciences. Dortrecht, Niederlande: Kluwer Academic Publishers

Cook, E. R., und Peters, K., 1981. The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. Tree-ring bulletin, 41, 45-53.

Christensen, K.I., 1987. Taxonomic revision of the Pinus mugo complex and P. × rhaetica (P. mugo × sylvestris) (Pinaceae). Nordic J. Botany 7, 383-408.

Dirnböck, T., Dullinger, S., und Grabherr, G., 2003. A regional impact assessment of climate and land-use change on alpine vegetation. Journal of Biogeography, *30*(3), 401-417.

Ditthfurth, A., 2012. Corine Landnutzung - Latschen, Krummholz und Zwergstrauchheiden. Institut für Geographie, Universität Innsbruck. Verfügbar in: http://tirolatlas.uibk.ac.at/topics/corine/query.py/text?id=8120008;lang=de [Abfrage am 7.10.2014].

Dobbertin, M., und Giuggiola, A., 2006. Baumwachstum und erhöhte Temperaturen. Forum für Wissen, 2006, 35-45.

Düggelin, C., und Abegg, M., 2011. Modelle zur Biomasse-und Holzvolumenschätzung im Schweizer Gebüschwald| Modelling of biomass and wood volume in Swiss shrub forest. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 162(2), 32-40.

Dullinger, S., Dirnböck, T., und Grabherr, G., 2003. Patterns of shrub invasion into high mountain grasslands of the northern calcareous Alps, Austria. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 35(4), 434-441.

Dullinger, S., Dirnböck, T., und Grabherr, G., 2004. Modelling climate change-driven treeline shifts: relative effects of temperature increase, dispersal and invasibility. Journal of Ecology, 92(2), 241-252.

Dušek, D., Novák, J., Kacálek, D., und Slodičák, M., 2012. Biomass of dwarf pine in the Orlické hory Mountains. Beskydy, 5(2), 181-185.

Eckstein, D., und Bauch, J., 1969. Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 88(1), 230-250.

Ellenberg, H., und Leuschner, C., 2010. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 6. vollst. neu bearbeitete Auflage. Stuttgart: Ulmer

Ellmauer, T., 2005. Entwicklung von Kriterien, Indikatoren und Schwellenwerten zur Beurteilung des Erhaltungszustandes der Natura 2000-Schutzgüter. Band 3: Lebensraumtypen des Anhangs I der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie, 138-144.

Essl, F., Egger, G., Ellmauer, T., und Aigner, S., 2002. Rote Liste gefährdeter Biotoptypen Österreichs. Wälder, Forste, Vorwälder. Wien: Umweltbundesamt GmbH.

ETH Zürich Professur für Waldbau und Professur für Forstschutz & Dendrologie, 1995. Pinus Mugo Turra, 50-55.

Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.), 2000. Leitfaden Bioenergie. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen.

Farjon, A., 2013. Pinus mugo. In: IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.2. Verfügbar in: http://www.iucnredlist.org/details/42385/0 [Abfrage am 17.4.2014].

Fattorini, L., Gasparini, P., Nocetti, M., Tabacchi, G., und Tosi, V., 2005. Above-ground tree phytomass prediction and preliminary shrub phytomass assessment in the forest stands of Trentino. EFOMI. Valutazione ecologica di cenosi forestali sottoposte a monitoraggio integrato (Salvadori C, Ambrosi P eds). Museo Tridentino di Scienze Naturali, Studi Trentini di Scienze Naturali, Acta Biologica, 81, 75-121.

Franklin, J. F., Lindenmayer, D., MacMahon, J. A., McKee, A., Magnuson, J., Perry, D. A., Waide, R., und Foster, D., 2000. Threads of continuity. Conservation in Practice, 1(1), 8-17.

Franklin, J. F., Spies, T. A., Pelt, R. V., Carey, A. B., Thornburgh, D. A., Berg, D. R., Lindenmayer, D. B., Harmon, M. E., Keeton, W. S., Shaw, D. C., Bible, K. und Chen, J., 2002. Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglas-fir forests as an example. Forest Ecology and Management, 155(1), 399-423.

Fritts, H.C., 1976. Tree-rings and climate. London, New York, San Francisco: Academic press.

Fuxjäger, C., 2007. In: Weigand, E., s.a.. Dokumentation Brandfläche am Hagler, Sengsengebirge Süd. Molln: Nationalpark Kalkalpen.

Gillett, N. P., Weaver, A. J., Zwiers, F. W., und Flannigan, M. D., 2004. Detecting the effect of climate change on Canadian forest fires. Geophysical Research Letters, 31(18).

Grabherr, G. und Polatschek, A., 1986. Lebensräume und Lebensgemeinschaften in Vorarlberg. Ökosysteme, Vegetation, Flora mit Roten Listen. Vorarlberger Landschaftspflegefonds. 263pp.

Grabner, M., 2013. Mündliche Mitteilung vom Dezember 2013.

Gruber, M., 2014. Wie viel Holzvolumen hat ein Einzelbaum? Wien: Landwirtschaftskammer Österreich. Verfügbar in:

http://www.lko.at/?+Wieviel-Holzvolumen-hat-ein-Einzelbaum-Landwirtschaftskammer-Holzvermarktung+&id=2500,1570503,1298038,,bW9kZT1uZXh0JnBhZ2luZz15ZXNfXzA [Abfrage am 17.4.2014].

Grundmann, B., 2009. Dendroklimatologische und dendroökologische Untersuchungen des Zuwachsverhaltens von Buche und Fichte in naturnahen Mischwäldern. Dissertation. Technische Universität Dresten.

Hafenscherer, J., 1985. Standort, Aufbau und Entwicklungsdynamik von Latschenbeständen im Karwendeltal. Diplomarbeit. Institut für Waldbau, Universität für Bodenkultur Wien.

Harmon, M. E., Franklin, J. F., Swanson, F. J., Sollins, P., Gregory, S. V., Lattin, J. D., Anderson, N. H., Cline, S. B., Aumen, N. G., Sedell, J. R., Linekaemper, G. W., Cromack, K. Jr. und Cummins, K. W., 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. Advances in ecological research, 15(133), 302.

Hoch, G., und Körner, C., 2009. Growth and carbon relations of tree line forming conifers at constant vs. variable low temperatures. Journal of Ecology, 97(1), 57-66.

Hollstein, E., 1980. Mitteleuropäische Eichenchronologie: Trierer dendrochronologische Forschungen zur Archäologie und Kunstgeschichte (Vol. 11). Mainz am Rhein: P. von Zabern.

Holmes, R. L., 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-ring bulletin, 43(1), 69-78.

Huber, F. X., 1828. Hilfstabellen für Bedienstete des Forst- und Baufachs zunächst zur leichten und schnellen Berechnung des Massengehaltes roher Holzstämme usw. München.

IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.2. Verfügbar in: http://www.iucnredlist.org/details/42385/0 [Abfrage am 17.4.2014].

Johann, K., 1968. Größe und Verteilung des Zuwachses von Verjüngungsbeständen. Dissertation. Ludwig-Maximilians-Universität München.

Kalas, M. M., und Berg, C., 2013. Regeneration of high mountane plant communities in the „Nationalpark Kalkalpen“ (Northern Alps) after fire events. 5th Symposium for research in Prodected Areas. Conference Volume, 331-340.

Keeton, W. S., und Franklin, J. F., 2005. Do remnant old-growth trees accelerate rates of succession in mature Douglas-fir forests? Ecological Monographs, 75(1), 103-118.

Kilian, W., 2002. Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft. Schlüssel zur Bestimmung der Böden Österreichs. Bd. 67, 96.

Kloss, S., Sass, O., Geitner, C., und Prietzel, J., 2012. Soil properties and charcoal dynamics of burnt soils in the Tyrolean Limestone Alps. Catena, 99, 75-82.

Körner, C., 2003. Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems; with 47 tables. 2. Auflage. Berlin und Heidelberg: Springer Verlag.

Kozlowski, T. T., Kramer, P. J., und Pallardy, S. G., 1991. The Physiological Ecology of Woody Plants. Tree Physiology, 8(2), 213-213.

Kutzenberger, H., Draschan, W., Kutzenberger, G., Weißmair, W., Hauser, E., Schön, B., und Strauch, M., 2007. Natur und Landschaft. Leitbild für Österreich Bd. 15. Raumeinheit Sensengebirge. Linz: Amt der oberösterreichischen Landesregierung.

Larcher, W., 1994. Ökophysiologie der Pflanzen. 6. Auflage. Stuttgart: Eugen Ulmer.

Linderholm, H. W., 2006. Growing seasonchanges in the last century. Agricm For Meteorol. 137: 1–14.

Marshall, P. L., und Region, V. F., 2000. Using line intersect sampling for coarse woody debris. Forest Reseach Technical Report (TR-003). Vancouver Forest Region. 34.

McDowell, N. G., 2011. Mechanisms linking drought, hydraulics, carbon metabolism, and vegetation mortality. Plant physiology, 155(3), 1051-1059.

Nagel, J., 2001. Skript Waldmesslehre. Göttingen: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt Abteilung Waldwachstum.

Nationalpark OÖ Kalkalpen Ges.m.b.H., 2014. Eckdaten Nationalpark Kalkalpen. Verfügbar in: http://www.kalkalpen.at/system/web/zusatzseite.aspx?menuonr=221633446&detailonr=222311403 [Abfrage am 8.5.2014].

Nationalpark OÖ Kalkalpen Ges.m.b.H., 2011. Der geologische Atlas des Nationalpark Kalkalpen. Verfügbar in: http://www.kalkalpen.at/system/web/sonderseite.aspx?menuonr=221801405&detailonr=221801405 [Abfrage am 8.5.2014].

Neumann, M., 2006. Wie reagieren die Bäume auf Temperatur und Niederschlag. BFW-Praxisinformation, 10, 21-24.

Neuwirth, B., Schweingruber, F. H., und Winiger, M., 2007. Spatial patterns of central European pointer years from 1901 to 1971. Dendrochronologia, 24(2), 79-89.

Oehmichen, K., 2007. Erfassung der Totholzmasse-Zusammenstellung von Verfahrensansätzen und Bewertung ihrer Eignung für massenstatistische Erhebungen. Eberswalde: Inst. für Waldökologie und Waldinventuren der Bundesforschungsanstalt für Holz und Forstwirtschaft.

Petutschnig, W., 1998. Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Kärntens. Carinthia II 188/108: 201-218

Pollanschütz, J., 1974. Formzahlfunktionen der Hauptbaumarten Österreichs. Informationsdienst der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien. 153. Folge, in der Allgemeinen Forstzeitung, 85. Jg., Folge 12, 341-343.

Pollanschütz, J., 1976. Schaftholzvolumentabellen der Hauptbaumarten Österreichs, Informationsdienst der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, 164. Folge, in der Allgemeinen Forstzeitung, 87. Jg., Folge 6, 191-194.

Richardson, D.M. (ed.), 1998. Ecology and Biogeography of Pinus. Cambridge University Press.

Rinn, F., 2003. TSAP-WinTM Professional Zeitreihenanalyse und Präsentation für Dendrochronologie und verwandte Anwendungen. Heidelberg: Frank Rinn.

Roth, A., Kennel, E., Knoke, T., und Matthes, U., 2003. Line intersect sampling: An efficient method for sampling of coarse woody debris? Forstwissenschaftliches Centralblatt, 122(5), 318-336.

Sass, O., Heel, M., Leistner, I., Stöger, F., Wetzel, K. F., und Friedmann, A., 2012. Disturbance, geomorphic processes and recovery of wildfire slopes in North Tyrol. Earth Surface Processes and Landforms, 37(8), 883-894.

Scheffer, F. W. und Schachtschnabel P., 2010. Lehrbuch der Bodenkunde. 16. aktualisierte Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Schieler, K., 1988. Methodische Fragen in Zusammenhang mit der Österreichischen Forstinventur. Diplomarbeit. Universität für Bodenkultur Wien.

Schweingruber, F. H., 1983. Der Jahrring: Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie. Bern und Stuttgart: Paul Haupt Verlag.

Schweingruber, F. H., 1993. Jahrringe und Umwelt: Dendroökologie. Birmsdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft.

Schweingruber, F. H., Eckstein, D., Serre-Bachet, F., & Bräker, O. U., 1990. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. Dendrochronologia, 8, 9-38.

Shiver, B. D., und Borders, B. E., 1996. Sampling techniques for forest resource inventory. New York: John Wiley and Sons.

Smalian, H. L., 1837. Beitrag zur Holzmesskunst. Stralsund: Löffler.

Spurk, M., Kromer, B., & Peschke, P., 1999. Dendrochronologische, palynologische und Radiokarbon-Untersuchungen eines Waldes aus der Jüngeren Tundrenzeit. Quartär, 49(50), 34-38.

Ståhl, G., Ringvall, A., und Fridman, J., 2001. Assessment of coarse woody debris: a methodological overview. Ecological Bulletins, 57-70.

Trendelenburg, R., 1939. Das Holz als Rohstoff. München: Hanser, 541.

Universität Hohenheim, 2014. Bodenkunde Hohenheim. Die Rendzina aus Kalkstein. Verfügbar in: https://bodenkunde.uni-hohenheim.de/67025 [Abfrage am 8.5.2014].

Van Wagner, C. E., 1968. The line intersect method in forest fuel sampling. Forest science, 14(1), 20-26.

Vacik, H., Egger, A., Koch, G., und Kirchmeir, H., 2000. Totholzerhebung im Rahmen der Hemerobiebewertung in Südtirols Wäldern. Cbl. ges. Forstwesen, 117(2), 115-132.

Vacik, H., de Jel S., Ruprecht, H., Gruber, G., Pividori, M., Del Favero, R., Klosterhuber, R., Hotter, M., Plettenbacher,T., und Aschaber, R., 2010. Waldtypisierung in Südtirol. Bd 2. Amt für Forstplanung, Autonome Provinz Bozen-Südtirol.

Waddell, K. L., 2002. Sampling coarse woody debris for multiple attributes in extensive resource inventories. Ecological indicators, 1(3), 139-153.

Warren, W. G., und Olsen, P. F., 1964. A line intersect technique for assessing logging waste. Forest Science, 10(3), 267-276.

Weber, P., 2002. Holzbiologie. Zürich: ETH-Zürich.

Weigand, E., s.a.. Dokumentation Brandfläche am Hagler, Sengsengebirge Süd. Molln: Nationalpark Kalkalpen.

Weigand, E., 2008. Bedeutung und ökologische Folgen von Waldbränden. 15 Jahre Nationalpark Kalkalpen, 6, 32.

Weigand, E. und Fuxjäger C., 2007. Brandfläche Hagler. Molln: Nationalpark Kalkalpen.

West, P. W., 2004. Tree and forest measurement. New York: Springer.

Willner, W. und Grabherr G.,2007. Die Wälder und Gebüsche Österreichs. 2. Bd.- Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Wittmann, H. und Strobl, W., 1990. Gefährdete Biotoptypen und Pflanzengesellschaften im Land Salzburg. Naturschutz-Beiträge 9, 81pp.

8.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Prognostizierte Zunahme von *Pinus mugo* in den nächsten 1000 Jahren von derzeit 10% je nach Temperaturanstieg auf 24% und 59% (Dullinger et al. 2004)……..2

Abbildung 1.2: Verbreitungsszenario von *Pinus mugo* über einer Seehöhe von 1600 Metern. Die erste Abbildung zeigt den Ist-Zustand, die beiden unteren Bilder zeigen die Ausbreitung (als schwarzer Schatten dargestellt) der Latsche bei einem Temperaturanstieg von 0,65 °C u 2°C (Dirnböck et al. 2003)……3

Abbildung 2.1: Foto von der Brandfläche (westlich des Haglergipfels) mit liegendem Totholz ……..10

Abbildung 2.2: Bild von der Brandfläche mit aufragendem Lärchentotholz……..10

Abbildung 2.3: Lage der Untersuchungsfläche (Nationalpark Kalkalpen 2014)……11

Abbildung 2.4: Lage der Brandfläche westlich der Hagler-Spitze (Weigand 2007)……11

Abbildung 2.5: Blick von der Brandfläche ins Tal (Windischgarsten) (Foto: Felix Pfaffstaller)2013…….12

Abbildung 3.1: Darstellung des Verbreitungsgebietes von *Pinus mugo* (Latsche) in rot dargestellt und *Pinus uncinata* (Spirke) in grün abgebildet. (Barbéro et al., in Richardson 1998)……15

Abbildung 3.2: Ökogramm der Waldbaumarten im Naturwald in der submontanen Höhenstufe Mitteleuropas (nach Ellenberg und Leuschner 2010)……18

Abbildung 3.3: Foto von einem Latschengebüsch in den nördlichen Kalkalpen. Hier sind die sich bereits absenkenden Äste gut zu erkennen (Foto: Daniel Ripper)……20

Abbildung 4.1: Foto von einem Transekt auf der Brandfläche……23

Abbildung 4.2: Foto von Kreuzungspunkt der Transektlinie mit Totholz……23

Abbildung 4.3: Schematische Darstellung der Zehntelmessung an einem Latschenstamm (eigene Darstellung)……25

Abbildung 4.4: Schematische Darstellung der sektionsweisen Volumenberechnung eines Latschenstammes ……27

Abbildung 4.5: Außenrand einer Stammscheibe mit sehr schmalen und auskeilenden Jahrringen……33

Abbildung 4.6: Zwei übereinandergelegte Wachstumskurven mit guter Synchronlage……34

Abbildung 5.1-5.4: Darstellung der Zusammenhänge zwischen Stammfußdurchmesser, Stammlänge und Volumen lebender Latschen. Mit den sektionsweisen Volumenberechnungsmodellen „Zylinder 2“ und „Kegel“. ……..49

Abbildung 5.5: Synchronisierte übereinandergelegte Jahrringserien ……53

Abbildung 5.6: Latschen-Chronologie ……..53

Abbildung 5.7: Verteilung der beim Brand 2003 abgestorbenen Latschenproben……56

Abbildung 5.8: Verteilung der zum Zeitpunkt der Probenamen noch lebender Latschen……57

Abbildung 5.9: Darstellung der indexierten Jahrringkurven mit den Niederschlägen der Monate Juni und Juli, gemessen in mm/m² von der metrologischen Station Admont. Umfasst die Jahre 1854 - 1930. ……61

Abbildung 5.10: Darstellung der indexierten Jahrringkurven und den Niederschlägen der Monate Juni und Juli, gemessen in mm/m² von der metrologischen Station Admont. Umfasst die Jahre 1930 - 2012. ……61

Abbildung 5.11: Darstellung der Zusammenhänge von Jahrringbreiten im Vergleich mit Dezember-Niederschlägen des Vorjahres……63

Abbildung 5.12: Darstellung der Jahrringbreiten im Vergleich mit den März-Temperaturen am Zöbelboden ……66

Abbildung 5.13: Darstellung der Zusammenhänge der Jahrringbreiten und den in Admont gemessenen Mai-Temperaturen (von 1884 bis 1944). ……67

Abbildung 5.14: Graphische Darstellung der Zusammenhänge von Jahrringbreiten und den in Admont gemessenen Mai- Temperaturen (von 1945-2012) ……67

Abbildung 6.1: Darstellung toter Latschenproben mit eindeutig zuordenbarem erstem Jahr - „Keimjahr“……79

Abbildung 6.3: Verteilung der Verjüngungsjahre der lebenden Referenz-Latschenproben ……..80

8.3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1: Übersicht der Zufallszahlen zur Ermittlung der Transekte 22

Tabelle 4.2: GPS Koordinaten der Transekte 22

Tabelle 4.3: Übersicht der zur Jahrringbreitenmessung ausgewählter lebender Latschenproben. X = vermessen 31

Tabelle 4.4: Übersicht der zur Jahrringbreitenmessung ausgewählter toter Latschenproben. X = vermessen.....31

Tabelle 4.5: Auflistung der zum Vergleich herangezogener österreichischen Chronologien 40

Tabelle 5.1: Übersicht des Totholzvolumens auf der Brandfläche. Mit der Transektbezeichnung, dem Totholzvolumen je Transekt in m³/ha, der Anzahl an Totholzstücke je Transekt und der Transektlänge sowie dem Volumsmittelwert aller Transekte und Gesamtvolumen. 45

Tabelle 5.2: Ergebnisse des Konfidenzintervalls, der Varianz und der Standardabweichung des Gesamttotholzvolumens der Brandfläche 46

Tabelle 5.3: Ergebnisse verschiedener Volumenberechnungsmodelle lebender Latschen.....46

Tabelle 5.4: Ergebnisse verschiedener Volumenberechnungsmodelle toter Latschen. 47

Tabelle 5.5: Korrelationen der vier Varianten der sektionsweisen Volumenberechnungen 48

Tabelle 5.6: Ergebnisse der Volumsfunktion aus der sektionsweisen Volumenberechnung mit den Modellen „Zylinder 2“ und „Kegel“. Berechnet aus den Daten lebender Latschen.....49

Tabelle 5.7: Ergebnisse der Volumenberechnung mit der jeweiligen Formzahl und den Korrelationen zwischen sektionsweiser Volumenberechnung und der Voluminierung mittels Formzahl. 50

Tabelle 5.8: Formzahlen berechnet aus den Daten der lebenden, toten und allen (lebenden und toten gemeinsam) Latschen.....51

Tabelle 5.9: Ergebnisse der Biomasse-Einzelstammerhebung. Berechnet mit den Stammvolumen-Modellen „Kegel“ und „Zylinder 2“ mit den hochgerechneten Astgewichten (zusammengesetzt aus Nadeln, Holzteilen und Zapfen).....52

Tabelle 5.10: Zusammenfassung der Jahrringanalyse mit Bezeichnung der Proben (Code), Holzart, Identifizierbaren ersten und letzten Jahrring, Waldkante (WK), Anzahl der Jahrringe (JR), Datierung (datiert mit) und Statistischen Werten der Gleichläufigkeit (Glk), T-Wert nach Baillie-Pichler (TvBP) und Hollstein (TvH)…….54

Tabelle 5.11: Weiserjahre - Jahre mit besonders breiten und besonders schmalen Jahrringen bzw. die Differenzen der Jahrringe. Grün steht für extrem breite Jahrringe, hellgrün für breite Jahrringe. Blau steht für extreme Zunahmen und Hellblau für erhebliche Zunahme zwischen den Jahrringen. Orange steht für extrem schmale und Hellorange für schmale Jahrringe. Rot bezeichnet eine extreme Abnahme und Hellrot eine erhebliche Abnahme zwischen den Jahrringen.……57

Tabelle 5.12-5.13: Definition von Jahrringbreiten und der Differenzen der Jahrringbreiten der Messwerte der Klimastationen Zöbelboden und Admont……58

Tabelle 5.14: Korrelationen zwischen Jahrringbreiten lebender Latschenbäume und Niederschlag am Zöbelboden (Nationalpark Kalkalpen). Monatassummen in Millimeter pro Quadratmeter. Ab einem Korrelationswert von r = 0,1 besteht ein kleiner Effekt, ab r = 0,3 ein mittlerer Effekt, ab r = 0,5 ein starker Effekt (Cohen 1988). ……60

Tabelle 5.815: Korrelationen zwischen indexierter Wachstumskurve aller Latschenbäum und Niederschlag in Admont. Monatssummen gemessen in Millimeter pro Quadratmeter. Ab einem Korrelationswert von r = 0,1 besteht ein kleiner Effekt, ab r = 0,3 ein mittlerer Effekt, ab r = 0,5 ein starker Effekt (Cohen 1988)……60

Tabelle 5.16: Korrelationen zwischen Jahrringbreiten lebender Latschenbäume und Winter-Niederschlag am Zöbelboden (Nationalpark Kalkalpen). Monatssummen in Millimeter pro Quadratmeter……62

Tabelle 5.17: Korrelationen zwischen Winterniederschläge in Admont und indexierter Wachstumskurve……62

Tabelle 5.18: Monatliche Niederschlagssummen im Vergleich mit Jahrringbreiten am Zöbelboden. Grün steht für außergewöhnlich breite Jahrringe, Blau für hohe Differenzen zwischen den Jahrringen, Orange steht für schmale Jahrringe und Rot für geringe Differenzen zwischen diesen. Rot markierte Monatsfelder zeigen ausgesprochen trockene Werte, Lila zeigt den minimalen Niederschlag an, blaue Felder markieren extrem niederschlagsreiche Monate und Türkis sind die maximalen Niederschlagswerte……64

Tabelle 5.19: Korrelationen zwischen Jahrringbreiten und Temperatur (in Grad Celsius) am Zöbelboden……..66

Tabelle 5.20: Korrelationen zwischen Jahrringbreiten und Temperatur (in Grad Celsius) in Admont……66

Tabelle 5.21: Jahre mit besonders hohen bzw. niedrigen Temperatur am Zöbelboden (Nationalpark Kalkalpen). Grün steht für außergewöhnlich breite Jahrringe, Blau für hohe Differenzen zwischen den Jahrringen, Orange steht für schmale Jahrringe und Rot für geringe Differenzen zwischen diesen. Rot markierte Monatsfelder zeigen besonders warme Temperaturen, lila zeigt den Maximalwert, blaue Felder zeigen weit unterdurchschnittlich kalte Temperaturen und Türkis sind die Minimalwerte. Monatsmittelwerte in Grad Celsius……..68

Tabelle 5.22: Jahre mit besonders hohen bzw. niedrigen Temperatur in Admont (Zusammenfassung), in Grad Celsius gemessen. Grün steht für außergewöhnlich breite Jahrringe, Blau für hohe Differenzen zwischen den Jahrringen, Orange steht für schmale Jahrringe und Rot für geringe Differenzen zwischen diesen. Rot markierte Monatsfelder zeigen besonders warme Temperaturen, Lila zeigt den Maximalwert, blaue Felder zeigen weit unterdurchschnittlich kalte Temperaturen und Türkis die Minimalwerte……69

Tabelle 5.23: Jahrringe im Vergleich mit der Wachstumsperiode. Wobei März, Mai und August positive Zusammenhänge aufweisen, der Juli negative Zusammenhänge wiederspiegelt und im April sowie im Juni sich keine Zusammenhänge zwischen Jahrringbreiten und Temperaturen ergeben……71

Tabelle 5.24: Jahrringbreiten, Differenzen zwischen den Jahrringbreiten und Mai-Temperaturen (in Grad Celsius, Messstation Admont)……. .……72

Tabelle 5.295: Brand 1950 - Jahrringbreiten im Vergleich mit Temperatur in Admont. Grün steht für außergewöhnlich breite Jahrringe, Blau für hohe Differenzen zwischen den Jahrringen, Orange steht für schmale Jahrringe und Rot für geringe Differenzen zwischen diesen. Rot markierte Monatsfelder zeigen besonders warme Temperaturen, Lila zeigt den Maximalwert, blaue Felder zeigen weit unterdurchschnittlich kalte Temperaturen und Türkis sind die Minimalwerte.……73

Tabelle 5.26: Brand 2003 - Jahrringbreiten im Vergleich mit Temperatur in Admont……74