



Leopold-Franzens-Universität Innsbruck

Fakultät für Biologie

Institut für Botanik

Dendroökologische Analysen der Laubwaldrelikte im Gößgraben (Nationalpark Hohe Tauern)

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Magister der Naturwissenschaften

eingereicht bei
A. Univ.-Prof. Dr. Walter Oberhuber

vorgelegt von
Martin Lagger

Innsbruck, Juni 2015

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Stellen, die wörtlich oder inhaltlich den angegebenen Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Die vorliegende Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht als Magister-/Master-/Diplomarbeit/Dissertation eingereicht.

Innsbruck, am 28. Juni 2015



Datum

Unterschrift

Vorwort und Danksagung

Die nachfolgende Diplomarbeit gliedert sich in einen fachwissenschaftlichen Teil, welcher die Forschungsarbeit „Dendroökologische Analysen der Lauwaldrelikte im Gößgraben (Nationalpark Hohe Tauern)“ beinhaltet und einen fachdidaktischen Teil. Im fachdidaktischen Teil werden anlehnend an die Forschungsarbeit im Rahmen von aktuellen didaktischen Theorien zwei Unterrichtskonzepte vorgestellt.

Bedanken möchte ich mich bei Herrn Prof. Walter Oberhuber für die freundliche und kompetente Betreuung meiner Diplomarbeit. Ein großes Dankeschön gebührt meiner Familie, welche mich in jeder Situation auf meinem bisherigen Lebensweg unterstützte. Dank auch allen Freunden und jenen Menschen, mit welchen ich meine Studienzeit verbringen konnte.

Inhaltsverzeichnis

Teil I – Fachspezifische, wissenschaftliche Studie

Zusammenfassung	1
Abstract	3
1. Einleitung	5
1.1 Jahrring und Dendroökologie	5
1.2 Klimaerwärmung und Wachstum.....	5
1.3 Fragestellungen	6
2. Material und Methoden	7
2.1 Untersuchungsgebiet	7
2.1.1 Geographische Lage	7
2.1.2 Groß- und lokalklimatische Situation	7
2.1.3 Geschichte und Besonderheiten der Laubwaldbestände	8
2.1.4 Geologie und Boden	9
2.1.5 Vegetation	10
2.1.6 Die Holländische Ulmenwelke.....	11
2.1.7 Standortbeschreibung.....	13
2.2 Baumarten.....	15
2.2.1 <i>Acer pseudoplatanus</i> L. (Berg-Ahorn).....	15
2.2.2 <i>Ulmus glabra</i> Huds. Moss. (Berg-Ulme)	17
2.2.3 <i>Fagus Sylvatica</i> L. (Rot-Buche).....	18
2.2.4 <i>Picea abies</i> L. Karst. (Gemeine-Fichte)	19
2.3 Dendrochronologische Techniken.....	21
2.3.1 Bohrkernentnahme	21
2.3.2 Präparierung der Bohrkerne.....	22
2.3.3 Messung der Jahrringbreiten	22
2.4 Auswertung	22
2.4.1 Datierung.....	22
2.4.2 Erstellung von Standortchronologien (Bestandmittelkurven)	23
2.4.3 Standardisierung bzw. Indexierung	24
2.4.4 Synchronisierung von Chronologien	25
2.4.5 Modellierung der Klima-Wachstums-Beziehung („response function“).....	27
2.4.6 Bestimmung der Altersstruktur der dominanten Baumarten.....	28

2.4.7 Grundflächenzuwachs (GFZ).....	28
2.4.8 Untersuchungen zur Holländischen Ulmenwelke	29
3. Ergebnisse	30
3.1 Chronologiecharakteristika	31
3.2 Bestandeschronologien	32
3.2.1 Synchronisierung der lokalen Bestandeschronologien	32
3.2.2 Absolutchronologien (Rohwerte)	34
3.2.3 Indexierte Chronologien.....	37
3.3 Klima-Wachstums-Beziehung („response function“).....	42
3.4 Altersstrukturanalysen der dominanten Baumarten	47
3.5 Entwicklung des Grundflächenzuwachses	50
3.6 Untersuchungen zur Holländischen Ulmenwelke	56
4. Diskussion	59
4.1 Materialeignung und Methodenbetrachtung	59
4.2 Altersstruktur und Wachstumsentwicklung.....	60
4.2.1 Altersstruktur der dominanten Baumarten	60
4.2.2 Art- und standortspezifische Wachstumsentwicklung.....	61
4.2.3 Datierung des Ulmensterbens.....	63
4.3 Wachstumslimitierende Klimafaktoren	64
4.3.1 Wachstumsmuster und Klima-Wachstums-Beziehung	64
4.3.2 Wachstumsextreme und Klima	66
4.4 Schlussfolgerungen.....	68
4.4.1 Klimaeinfluss und Wachstumstrends	68
4.4.2 Bestandsverjüngung	68
4.4.3 Entwicklung des Ulmensterbens	69
4.4.4 Auswirkungen des Klimawandels	69
 Teil II – Fachdidaktik	
5. Fachdidaktische Aufarbeitung	71
5.1 Theoretische Grundlagen	71
5.1.1 Forschendes-problemorientiertes Lernen	71
5.1.2 Konstruktivistische Didaktik	72
5.2 Schul- und Unterrichtsrelevanz	73
5.3 Unterrichtseinheit „Was der Jahrring alles kann“	75
5.3.1 Rahmenbedingungen und Lernziele.....	75

5.3.2 Stundenplanung	76
5.4 Exkursion „Vergleich von Waldökosystemen“	77
5.4.1 Rahmenbedingungen und Lernziele.....	77
5.4.2 Stundenplanung (Exkursion und Unterrichtseinheit).....	78
5.4.3 Arbeitsauftrag.....	79
5.4.4 Zusätzliche Informationen.....	79
5.5. Schlussbetrachtung des didaktischen Teiles	80
6. Literaturverzeichnis	81
7. Anhang.....	88
7.1 Ergebnisse der Klimakorrelationen	89
7.2 Klimadaten der Station Malta 1901-2013 (830m).....	98
7.3 Altersbestimmung der kernfaulen Bäume	100
7.4 Arbeitsblatt Concept Cartoon	101

Teil I – Fachspezifische, wissenschaftliche Studie

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Studie wurden das Wachstum und die Entwicklung der Laubwaldreliktbestände im Gößgraben (ca. 1150-1500 m MH, Kärnten, Österreich) unter Anwendung dendroökologischer Techniken untersucht. Es handelt sich dabei um inneralpine Vorkommen von Ahorn-Ulmen- (*Ulm-Aceretum pseudoplatani* Beger 1922) und Buchenbeständen (*Asperulo-Fagetum* Sougné et Thill 1959, *Luzulo luzuloides-Fagetum* Meusel 1937). Die südexponierten Bestände befinden sich in der Außenzone des Nationalparks Hohe Tauern. Die Ahorn-Ulmenbestände zählen zu den seltenen Waldgesellschaften in Österreich und bilden den einzigen Bestand südlich des Alpenhauptkammes. Die Buchen erreichen im Gößgraben die höchstgelegenen inneralpinen Vorkommen in Österreich. Vor allem die Ahorn-Ulmen-Bestände weisen einen hohen Totholzanteil auf, wodurch der urwaldartige Charakter der Bestände betont wird. Für den Erhalt der Bestände spielen sowohl das subozeanisch getönte Lokalklima als auch Lawinen- und Steinschlagereignisse eine wichtige Rolle, da sie für eine positive Selektion der Laubhölzer gegenüber der Fichte sorgen. Bei den untersuchten Baumarten handelt es sich um Berg-Ahorn (*Acer pseudoplatanus*), Berg-Ulme (*Ulmus glabra*), Buche (*Fagus sylvatica*) und Fichte (*Picea abies*). Es wurden vier Bestände mit unterschiedlicher Baumartenzusammensetzung ausgewählt. Pro Bestand wurden von den vorkommenden Baumarten, mit Ausnahme von Bestand 2 (28 Ahorn-Bohrkerne), jeweils ca. 15 Bohrkerne entnommen (in Summe n=140). Da ein Großteil der Berg-Ulmenbestände von der Holländischen Ulmenwelke befallen ist, wurden zur Verhinderung der weiteren Ausbreitung nur abgestorbene *Ulmus glabra* Individuen beprobt. Die Jahrringbreite wurde mit einer Auflösung von 1 µm vermessen. Die durch Datierung und Indexierung erhaltenen Wachstumschronologien wurden mit meteorologischen Aufzeichnungen monatlicher Niederschlagssummen und mittlerer Lufttemperatur korreliert (monotone Spearman-Rangkorrelationskoeffizient-Analyse). Neben den Jahrringbreiten wurde die Altersstruktur der dominanten Baumarten ermittelt, wobei das Alter kernfauler Individuen mittels Extrapolation abgeschätzt wurde. Auf Basis des Grundflächenzuwachses wurden langfristige Veränderungen im Wachstum analysiert.

Die untersuchten Bestände weisen durchwegs ein hohes durchschnittliches Baumalter auf (111-134 Jahre). *Acer pseudoplatanus* weist auf den südexponierten Beständen ein Maximalalter von 552 Jahren, *Fagus sylvatica* 339 Jahre und *Picea abies* 248 Jahre auf. Auf den nordexponierten Beständen weist *Ulmus glabra* ein Maximalalter von 343 Jahren auf. Das hohe Baumalter bringt die Naturnähe der Bestände zum Ausdruck. Die mittleren Jahrringbreiten variieren je nach Exposition und Bestand zwischen 2 bis 3 mm. Die niedrigen Werte der Chronologie-Parameter (Bestandessignal, mittlere Sensitivität, Signal/Rausch-Verhältnis) spiegeln die Lage des Standortes (montane Vegetationsstufe) wider. Die geringe Synchronität im Wachstumsmuster der Baumarten spricht für kleinräumige Variabilität der Standortbedingungen, artspezifische Wachstumsreaktionen und den Einfluss von exogenen Störfaktoren wie Lawinen und Steinschlagereignissen. Auf Basis der ermittelten Klima-Wachstums-Beziehung wurde festgestellt, dass die Reaktion auf Veränderungen der Klimavariablen Temperatur und Niederschlag artspezifisch erfolgt. Die Niederschläge im Juli der Vegetationsperiode korrelieren signifikant bei *Picea abies*. Die Korrelation mit Niederschlägen in den Sommermonaten kommt vor allem im Bestand 4 bei *Picea abies* zum Ausdruck ($\rho = 0,45$, $p < 0,05$). *Acer pseudoplatanus* reagiert mit einem erhöhtem Wachstum vor allem auf überdurchschnittliche Temperaturen im

Sommer ($\rho = 0,50$, $p < 0.01$) und auf einen niederschlagsreichen Herbst des Vorjahres ($\rho = 0,41$, $p < 0.05$). Die Niederschläge des Vorjahres sind ebenso für das Wachstum von *Ulmus glabra* bedeutend. Alle Laubhölzer reagieren negativ auf überdurchschnittliche Apriltemperaturen, was auf eine erhöhte Spätfrostanfälligkeit, aufgrund frühzeitigem Austrieb, hinweisen kann. Mit Ausnahme von *Picea abies* im nordexponierten Bestand korrelieren alle untersuchten Baumarten negativ mit einer erhöhten Julitemperatur des Vorjahres. Dieser Zusammenhang könnte mit einer negativen Kohlenstoffbilanz in Verbindung stehen, welche sich auf das Wachstum im Folgejahr auswirkt. Extreme Witterungsverhältnisse, wie sie z.B. in den Jahren 1976 und 2003 auftraten, wirken sich unterschiedlich auf die untersuchten Baumarten aus. *Picea abies* zeigt die höchste, *Acer pseudoplatanus* die geringste Anfälligkeit gegenüber Trockenperioden. Der Grundflächenzuwachs aller untersuchten Baumarten weist einen konstanten Trend in den letzten Jahrzehnten auf und betrug im Mittel pro Jahr 40 cm² bei *Picea abies*, 30 cm² bei *Fagus sylvatica*, 22 cm² bei *Acer pseudoplatanus* und 18 cm² bei *Ulmus glabra*. Markante Zuwachseinbrüche, welche auf eine verringerte Vitalität der Baumarten z.B. in Folge des Speicherkraftwerksbaues oder Klimaextreme hinweisen, wurden in keinem der untersuchten Bestände festgestellt. Die von der Holländischen Ulmenwelke betroffenen Berg-Ulmen sind nicht synchron abgestorben, sondern die einzelnen Individuen zeigen ein abruptes, aber zeitlich versetztes Absterben. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass der im Zuge des Klimawandels prognostizierte Temperaturanstieg, in Kombination mit der Zunahme von Extremereignissen und dem Fortschreiten des Ulmensterbens, die Struktur und Zusammensetzung dieser Laubwaldreliktbestände langfristig verändern wird.

Abstract

In this study increment and development of hardwood forest relicts in the Gößgraben (1150-1500 m SL, Carinthia, Austria) were investigated, using dendroecological methods. Beside Ulmo-Aceretum pseudoplatani Beger 1922 the following associations can be found in this inner Alpine environment: Asperulo-Fagetum Sougnez et Thill 1959 and Luzulo luzuloides-Fagetum Meusel 1937. South facing stocks are located in the „Nationalpark Hohe Tauern“. The elm-maple-stocks belong to the rare associations in Austria and create a unique stock at the southern side of the Alps. Beech represents the most high-lying stocks in an inner Alpine valley in Austria. Especially the elm-maple-stocks feature a high-percentage of deadwood, which expresses the primeval forest character of these hardwood forests. These relicts were able to survive because of the special local climatic conditions. Avalanches and rock fall provide a positive selection of the hardwoods against spruce. The investigated species were maple (*Acer pseudoplatanus*), beech (*Fagus sylvatica*), elm (*Ulmus glabra*) and spruce (*Picea abies*). Four stocks with different composition of species were selected. Therefore, 15 cores of every species from each stock were taken (n= 140), except stock 2 (28 maple cores). The majority of the elm-trees are infected by the Dutch elm disease. For protection reasons only dead individuals of *Ulmus glabra* were investigated. Ring widths were measured with a resolution of 1 μm . After age determination and indexing the resulting unit less index chronologies were correlated with climatic factors like monthly precipitation and temperature. Beside ring widths the age structure of the dominant species was analysed. A high number of older trees are rotten at the core. The age of these trees were estimated via extrapolation. Long-term growth trends were analysed via basal area increment.

The average age of the investigated stocks is constantly high (111-134 years). *Acer pseudoplatanus* reaches on the south facing stocks a maximum age of 552 years, *Fagus sylvatica* 339 years and *Picea abies* 248 years. On the north facing stocks *Ulmus glabra* extends to a maximum age of 340 years. The old age of the trees expresses the primeval forest character. Mean ring widths range, according to exposition and stock from 2-3 mm. The relatively low values of the statistical parameters like expressed-population-signal (EPS), mean sensitivity, and signal/noise-ratio are due to the location of the study area, which is situated in the montane vegetation zone. The low similarity of the tree-ring chronologies of the different species on the stocks indicates small-scale variability of local conditions, species-specific increment reactions and the influence of avalanches and rock fall. The outcome of the climate-growth-relationship is a species-specific reaction on precipitation and temperature. The precipitation in July of the current year significantly correlates for *Picea abies*. This correlation especially expresses in stock 4 for *Picea abies* ($\rho = 0,45, p < 0.05$). *Acer pseudoplatanus* responds with increased increments on above-average summer temperature ($\rho = 0,50, p < 0.01$). Furthermore precipitation of the preceding year plays an important role for *Acer pseudoplatanus* ($\rho = 0,41, p < 0.05$) and *Ulmus glabra*. All hardwoods react negatively on above-average temperature in April of the current year. This may indicate enhanced late frost vulnerability due to premature bud-break. Except of the northerly exposed *Picea abies* all investigated species correlate negatively with increased temperature in July of the preceding year. This relation may be connected with a negative carbon balance, which affects the increment in the following growing season. Extreme events, like the years 1976 and 2003, show species-specific impacts. *Picea abies* shows the most vulnerability towards droughts, *Acer pseudoplatanus* on the opposite the lowest one. Mean basal area increment per year

was 40 cm² for *Picea abies*, 30 cm² for *Fagus sylvatica*, 22 cm² for *Acer pseudoplatanus* and 18 cm² for *Ulmus glabra*. Long-term growth trends show a constant trend in the last decades for all species. Distinctive growth reductions, which may be related to reduced vitality of the trees, are not established at any stock. The dieback of *Ulmus glabra* was asynchronous within the last years. Individuals of *Ulmus glabra* show an acute course of the Dutch elm disease. The results of this study show that the predicted increase in temperature in relation with an increase of extreme events and the proceeding Dutch elm disease, will lead to long-term changes in the structure and species-composition of this hardwood forest relicts.

1. Einleitung

1.1 Jahrring und Dendroökologie

Die Dendrochronologie ist die Methode der Altersbestimmung von Holzgewächsen durch das Auszählen von Jahrringen und Messung ihrer Breite (SCHWEINGRUBER 1996). Die Jahrringbreite wird von verschiedenen exogenen und endogenen Faktoren in einem komplexen Zusammenspiel beeinflusst. Einer der wesentlichen Umweltfaktoren ist das Klima. Dies zeigt sich an klimatisch limitierten Standorten bzw. artspezifischen Verbreitungsgrenzen am deutlichsten (FRITTS 1976). In den Jahrringsequenzen eines Baumes werden vergangene Umweltinformationen archiviert. Somit ist es möglich, die Reaktion von Bäumen auf vergangene klimatische Bedingungen und Extremereignisse rückwirkend zu analysieren (SCHWEINGRUBER 1996). Die Dendroökologie beinhaltet alle Teilbereiche der Dendrochronologie, die Umweltinformationen aus den Jahrringabfolgen lesen. Hierzu zählen zum Beispiel Einflüsse des Klimas (Temperatur, Niederschlag, Wind), der Hydrologie (Veränderungen im Grundwasserspiegel, Bodennässe), der Geomorphologie (Lawinen, Erosion, Gletscherbewegungen), biotische Einflüsse (Insektenbefall, Parasiten), mechanische Beschädigung durch Tiere (Verbiss), Konkurrenz oder direkte und indirekte Beeinflussung durch menschliche Tätigkeiten (SCHWEINGRUBER 1983).

Der Jahrring stellt dabei eine Zuwachsschicht dar, die im Holz oder Bast in einem Jahr entstanden und rings um den Stamm ausgebildet ist. Deutliche Jahrringgrenzen ergeben sich aus dem winterlichen Wachstumsstillstand und sind die Folge der unterschiedlichen Struktur des im Früh- und Spätsommer gebildeten Früh- bzw. Spätholzes (SCHWEINGRUBER 1983). Bei Tropenhölzern sind deshalb keine oder nur undeutliche Jahrringe vorhanden, welche durch regenzeitbedingte Zuwachszonen entstehen können. Das Frühholz besteht aus dünnwandigen, großlumigen Zellen und das Spätholz aus merklich dunkleren, dickwandigen, englumigen Zellen (STINGLWAGNER ET AL. 2009). Während der Vegetationsperiode, welche oft nur wenige Monate dauert, wird in der Regel ein Zuwachsring gebildet (SCHWEINGRUBER 1983). Der jährliche Zuwachs hängt von der Baumart und den Wachstumsbedingungen ab. Gibt es unterschiedlich breit ausgebildete Jahrringe an einem Baum, lässt dies z.B. Rückschlüsse auf verschiedene Wachstumsbedingungen zu. Innerhalb eines einheitlichen Wuchsgebietes bilden alle Bäume, aufgrund der klimatischen Gegebenheiten, eine ähnliche Abfolge der Jahrringbreiten aus (STINGLWAGNER ET AL. 2009). Für das Wachstum sind die unterschiedlichen Standortbedingungen wesentlich. Hierzu zählen die Temperatur und der Wasserhaushalt des Standortes, welche die Vegetation prägen. Das Nährstoffangebot wird durch die chemische Zusammensetzung des Muttergesteins und dessen Verwitterbarkeit bestimmt (SCHWEINGRUBER 1993).

1.2 Klimaerwärmung und Wachstum

Da das Wachstum durch das Klima bzw. die Witterung beeinflusst wird, spiegeln sich die Witterungsverhältnisse in der Abfolge von breiten und schmalen Jahrringen wider (FRITTS 1976). Da die vorliegende Arbeit auf Jahrringmessungen basiert, beziehen sich Ausführungen wie „Zuwachs“ oder „Wachstum“ ausschließlich auf den Radialzuwachs der beprobten Arten. Der Radialzuwachs wird an Waldgrenzstandorten insbesondere von den Temperaturverhältnissen der Vegetationszeit limitiert (FRANK & ESPER 2005). Hingegen wird der Zuwachs in Tieflagen in erster Linie durch Niederschläge bzw. der Wasserverfügbarkeit beeinflusst (LUCKMAN 2007). Kann in den klimatischen Verbreitungsgrenzen von Baumarten meist ein spezifischer limitierender Klimafaktor identifiziert werden, so ist

dies in Waldökosystemen in mittleren Höhenlagen schwieriger. Hier können sich die Einflüsse verschiedener Klimafaktoren überlagern (FRIEDRICHS ET AL. 2008). Der Einfluss des Klimas auf die Jahrringbreite lässt sich anhand von Klima-Wachstums-Beziehungen untersuchen. Es handelt sich dabei um Korrelationsanalysen zwischen Klimafaktoren (Niederschlag, Temperatur) und Jahrringbreite. Anhand von Klima-Wachstums-Beziehungen lassen sich für ökologische Fragestellungen wichtige Informationen über die Klimasensitivität der Bäume ableiten. Mittels Extremjahranalysen können zum Beispiel Trockenperioden und deren Wirkung auf das Wachstum der Bäume untersucht werden (SCHWEINGRUBER 1996).

Im aktuellen IPCC-Bericht (2013) wird eine Erhöhung der globalen Mitteltemperatur bestätigt. Der globale Temperaturanstieg beträgt in der Periode 1880-2012 0,85 °C und wird im Alpenraum noch deutlich übertroffen (+ 1,2 °C). Die Klimamodelle prognostizieren dabei zukünftig einen weiteren Temperaturanstieg (IPCC 2013). Neben Änderungen der durchschnittlichen klimatischen Bedingungen sind besonders Extremereignisse von Relevanz (FUHRER ET AL. 2006). Für Europa wurde bereits eine Zunahme der Frequenz und Intensität von Hitzewellen festgestellt (EEA 2012) und eine weitere Häufung von extremen Witterungsereignissen wird prognostiziert (IPCC 2013). Die indirekten Effekte des Klimawandels, wie die steigende CO₂-Konzentration der Atmosphäre (LINDNER ET AL. 2010), als auch Änderungen der Temperatur und Niederschläge, können erhebliche Konsequenzen für die Bergwälder der Europäischen Alpen mit sich bringen (SCHUMACHER & BUGMANN 2006).

1.3 Fragestellungen

Das Ziel dieser Arbeit ist, Zuwachszonen inneralpiner Laubwaldrelikte (Gößgraben, Kärnten) zu analysieren und folgende dendroökologische Fragestellungen zu beantworten:

1. Welche Klimafaktoren beeinflussen das Wachstum von Laubhölzern an deren inneralpinen Verbreitungsgrenzen?
2. Wurde das Wachstum der dominanten Baumarten durch Umweltveränderungen (Wasserab-
leitung im Zuge der Speicherkraftwerkerrichtung Kölnbrein) und/oder die Klimaerwärmung in
den letzten Jahrzehnten beeinflusst?
3. Lassen sich artspezifische Reaktionen auf Klimaextreme (z.B.: Hitzesommer 2003) nachwei-
sen?
4. Mit welcher Geschwindigkeit breitet sich das Ulmensterben innerhalb der Bestände aus? Zei-
gen sich bei den Berg-Ulmen infolge des Befalls durch die Holländische Ulmenwelke akute
oder chronische Verlaufsformen?

2. Material und Methoden

2.1 Untersuchungsgebiet

2.1.1 Geographische Lage

Der Gößgraben (Kärnten: 46° 59'01``N, 13°23'05``O) befindet sich in der Gemeinde Malta im Bezirk Spittal an der Drau (**Abbildung 1**). Dieser Seitengraben des Maltatales beginnt westlich der Ortschaft Koschach und bildet ein Hängetal, welches exakt von West nach Ost ausgerichtet ist. Dort finden sich für glazial geprägte Hängetäler typische Talstufen. Die erste Talstufe formt den Eingang des Gößgrabens, welcher auf 950 m liegt. Bis zur zweiten markanten Stufe steigt der Talboden auf einer Länge von 6 km bis auf 1150 m an, wo sich der Talboden auf 1500 m erhöht. Der Gößgraben wird im Norden von dem Gebirgsstock der Hochalmspitze mit einer maximalen Höhe von 3360 m eingegrenzt. Im Süden bildet die Reißeckgruppe die natürliche Grenze, welche Höhen von knapp 3000 m erreicht. Der Gößbach entwässert Richtung Osten in die Malta, welche wiederum bei Gmünd in die Lieser mündet. Durch die beschriebenen Talstufen fällt der Gößbach durch imposante Wasserfälle besonders in Erscheinung.

Östlich der zweiten Talstufe ist ein Kessel ausgebildet, an dessen nord- und südseitigen Hängen sich die untersuchten Laubwaldreste befinden. Die südseitigen Bestände liegen in der Außenzone des Nationalparks Hohe Tauern.

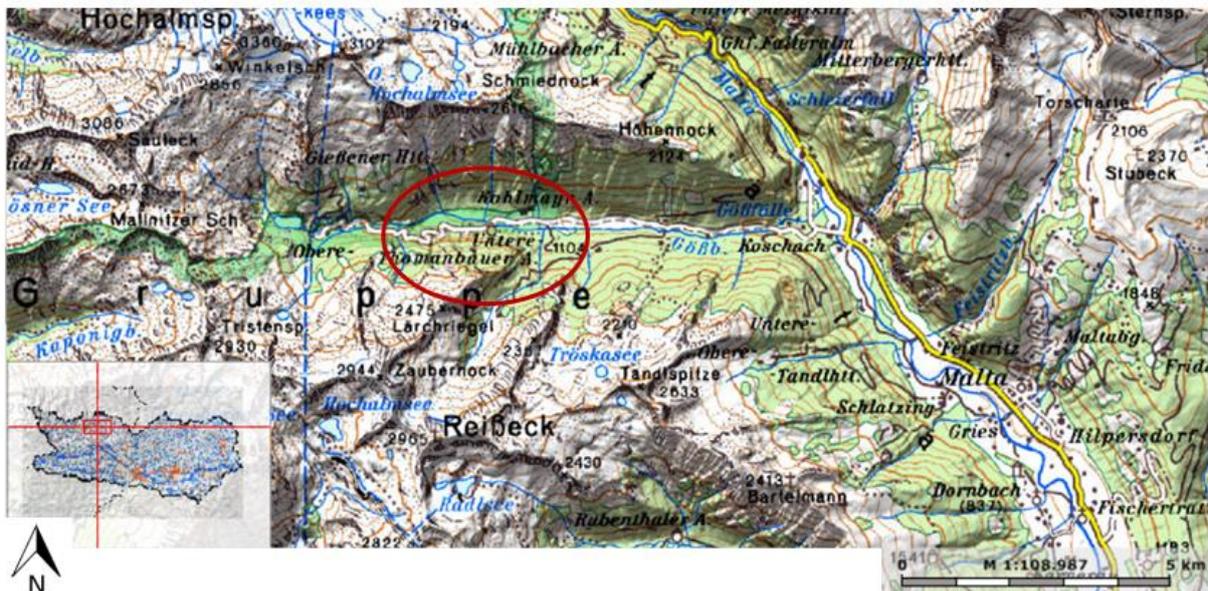


Abbildung 1: Lage des Untersuchungsgebietes (Quelle: Land Kärnten – KAGIS, [<http://www.kagis.ktn.gov.at>]).

2.1.2 Groß- und lokalklimatische Situation

Die nächstgelegene Klimastation befindet sich in der Ortschaft Malta auf 830 m. Dem langjährigen Mittel von 1961-1990 entsprechen eine durchschnittliche Jahrestemperatur von 7,0 Grad und eine mittlere Jahresniederschlagssumme von 876 mm. Aufgrund des anderen Talverlaufes des Gößgrabens und der Abschirmung des Gebietes nach Süden, Westen und Norden, sind die Klimadaten der Station Malta aber nur bedingt aussagekräftig. Verzeichnet man im Gebiet des Maltatales ein inneralpines Trockenklima, so bildet der Bereich des Gößgrabens eine Ausnahme. Hier kommt es vor allem in den

Sommermonaten zu häufigen konvektiven Niederschlägen (GLANTSCHNIG 1948). Durch die thermisch begünstigte Hanglage entsteht eine hohe Verdunstungsrate an den Südhängen der Bestände. Diese bewirkt eine hohe Luftfeuchtigkeit im Talkessel. Ein Beweis für die hohe Luftfeuchtigkeit ist vor allem das ausgeprägte Wachstum von verschiedenen Epiphyten an den Stämmen der Laubbäume (GLANTSCHNIG 1948, HEISELMAYER 1976). Auch die zahlreichen Fließgewässer, welche in den Talkessel münden, sorgen für eine höhere Luftfeuchtigkeit und tragen zu einem ausgeglichenen Lokalklima bei (KIRCHMEIR & JUNGMEIER 1999). Aufgrund der Kessellage sind die Bestände am Talgrund und in den unteren Hanglagen gegen den Einfluss von Wind besonders geschützt (GLANTSCHNIG 1948). Durch diese Faktoren kommt es im Gößgraben zur Ausprägung eines subozeanisch-getönten Lokalklimas, anstatt eines inneralpinen Trockenklimas (HEISELMAYER 1976.)

2.1.3 Geschichte und Besonderheiten der Laubwaldbestände

Laut GLANTSCHNIG (1948) und HEISELMAYER (1976) handelt es sich bei den Beständen im Gößgraben um Reste eines Laubmischwaldes, welcher im Atlantikum, vor circa 6000 Jahren, die natürliche Vegetationseinheit in dieser Höhenstufe bildete. Für die Theorie, dass es sich um Reliktbestände einer früheren Warmzeit handeln könnte, spricht vor allem die hohe Anzahl an Baum- und Straucharten, die typisch für den damals verbreiteten Eichen-Mischwald waren (GLANTSCHNIG 1948). Auch HEISELMAYER (1976) fand in den Artenlisten des montanen Gößgrabens einen hohen Anteil von Pflanzenarten, die eigentlich für die planare und colline Höhenstufe und ozeanische Klimaverhältnisse typisch sind. Durch die besondere lokalklimatische Situation sind diese Restbestände im Zuge der Klimaveränderung erhalten geblieben (GLANTSCHNIG 1976).

Nach KIRCHMEIR und JUNGMEIER (1999) spielen neben den endogenen Faktoren der Bestände auch exogene Faktoren eine wichtige Rolle. In diesem Fall handelt es sich vor allem um Lawinen und Steinschlag. Demnach konnten sich die ulmen- und ahornreichen Bestände auf lokalklimatisch begünstigten Lagen gegen den zu erwartenden Fichtenwald durchsetzen, weil Lawinen und Steinschlag eine positive Selektion der Laubhölzer gegenüber der Fichte bewirken. Es entsteht so ein deutlicher Zusammenhang zwischen Geländemorphologie und Vegetation (**Abbildung 2**). Die Laubwaldbestände sind so vor allem an den vom Steinschlag stark beeinflussten Beständen unterhalb der Felswände und an den von Lawinen regelmäßig beeinflussten Seiten der Lawinenbahnen zu finden (KIRCHMEIR & JUNGMEIER 1999).

Die Laubwaldbestände im Gößgraben stellen in mehrfacher Hinsicht eine Besonderheit dar. Ulmen-Ahorn-Bestände zählen in Österreich zu den seltenen Waldtypen (SAUBERER & GRABHERR 1995). Bei den Beständen handelt es sich dabei um eine von nur drei inneralpin vorkommenden Ulmen-Ahorn Beständen in Österreich und den einzigen Bestand südlich des Alpenhauptkammes (KIRCHMEIR & REITER 1998). Auch die Buchenvorkommen sind außergewöhnlich (TSCHERMAK 1929). Die Buche erreicht im Gößgraben mit über 1300 m das höchstgelegene inneralpine Vorkommen in Österreich (KILIAN ET AL. 1994). An dieser Stelle sei auch auf die Mächtigkeit einzelner Buchen hingewiesen: Diese erreichen teilweise eine Scheitelhöhe von 24 bis zu 29 m. Trotz der Lage an ihrer Verbreitungsgrenze scheint die Buche an die Umweltbedingungen optimal angepasst zu sein (KIRCHMEIR & JUNGMEIER 1999). Der Großteil der Laubwaldbestände weist einen sehr hohen Totholzanteil auf, der den urwaldartigen Charakter betont (KIRCHMEIR & JUNGMEIER 1999). Urwaldartige Bestände nehmen in Österreich nur 3 % der Waldfläche ein (GRABHERR ET AL. 1998) und stellen damit einen besonders schützenswerten Lebensraum dar. Durch die erwähnten exogenen Einflussfaktoren und das teilweise sehr hohe Alter der Bäume kommt es zur Ausbildung einzigartiger Baumformen, die von

klassischen Wuchsformen stark abweichen. Die hohe Luftfeuchtigkeit und die geringe Luftverschmutzung ermöglichen das Vorkommen von seltenen epiphytischen Moos- und Flechtenarten (KIRCHMEIR & JUNGMEIER 1999).

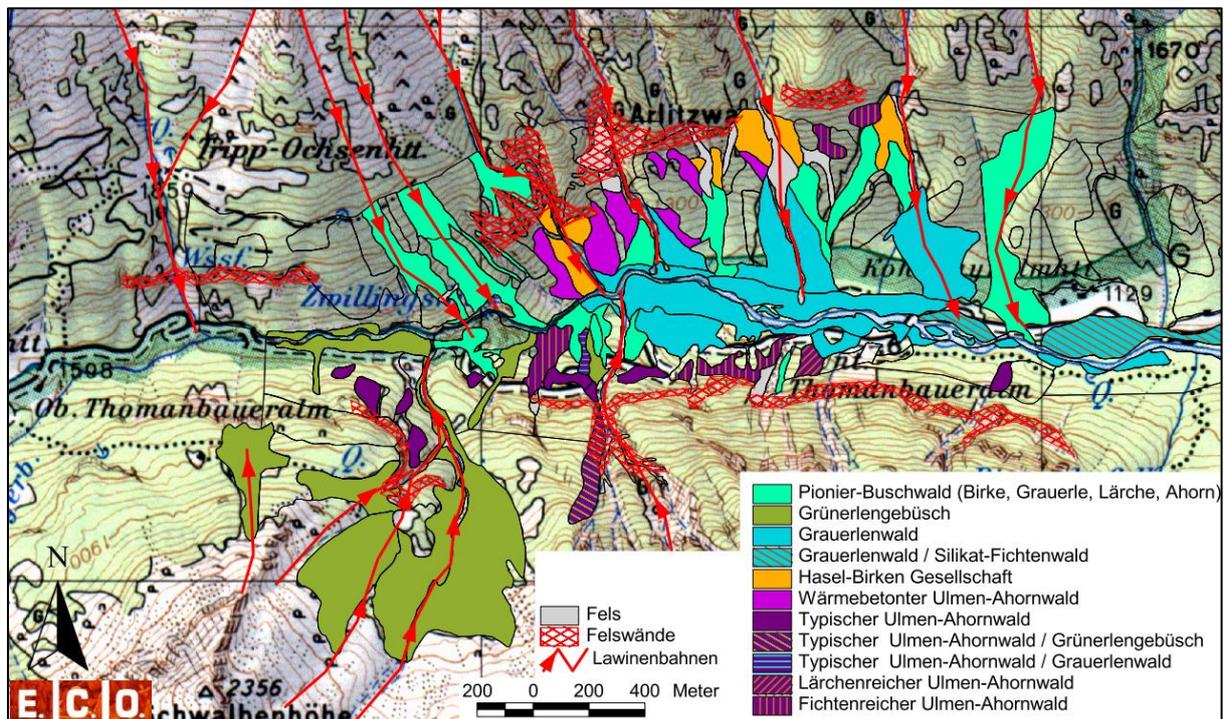


Abbildung 2: Die Ahorn-Ulmenwälder stehen unter dem Störungseinfluss von Steinschlag und Lawinen (Quelle: KIRCHMEIR & JUNGMEIER 1999).

Diese Besonderheiten waren eine Grundlage, das gesamte Gebiet des Gößgrabens 1943 unter Naturschutz zu stellen (GLANTSCHNIG 1948). Nach 21-jährigem Bestehen des Schutzgebietes wurde dieses, im Rahmen der Kraftwerkerrichtung Kölnbrein, im Jahr 1964 aufgehoben. Dies geschah teilweise unter heftigem Widerstand des Naturschutzes (BACH 1968). Heute befinden sich zumindest die südseitigen Bestände in der Außenzone des Nationalparks Hohe Tauern, jedoch bestehen in dieser Zone keine Einschränkungen betreffend der „zeitgemäßen Land- und Forstwirtschaft“. Somit ist keine ausreichende Sicherheit, zum Erhalt dieser einmaligen Bestände, gewährleistet (KIRCHMEIR & JUNGMEIER 1999).

2.1.4 Geologie und Boden

Das Untersuchungsgebiet liegt geologisch im Tauernfenster. Dieses erstreckt sich mit einer Länge von rund 160 km von der Brennerfurche im Westen bis zur Katschbergfurche im Osten und weist eine Breite von ungefähr 30 km auf. Es umfasst somit Gebirgsgruppen der Hohen Tauern sowie die Zillertaler und Tuxer Alpen (KREINER 2005).

Im Bereich des Tauernfensters treten Zentralgneise hervor. Zentralgneis ist dabei ein Sammelbegriff für spätvariszische, aus der Tiefe in Gesteine eingedrungene und zu Plutonen erstarrte, granitische Schmelzen (KREINER 2004). Zentralgneise scheinen in Form von mehreren Kernen auf. Das Untersuchungsgebiet liegt im Bereich des Göß- bzw. Hochalmkerns. Konkret handelt es sich dabei um Bändergneise, Aplitgneise und Biotitgranitgneise (PESTAL ET AL. 2006).

Die Böden des Untersuchungsgebietes sind unterschiedlich. Nach KIRCHMEIR und JUNGMEIER (1999) stocken die Ulmen-Ahorn-Bestände hauptsächlich auf mittlerem bis großem Blockmaterial, in dessen Spalten sich ein tiefer Humus-Horizont bildet. Da bei der Vegetationsaufnahme noch kein verbraunter Mineralboden gefunden werden konnte, wurden diese Böden als Klufthumusböden angesprochen. Die buchenreichen Bestände sind auf basenreiche Braunerden auf stabilisierten Hanglagen und Hangrücken beschränkt. Dort sind die Böden weit weniger blockig als in den Ulmen-Ahorn-Beständen. Je nach Vegetationszusammensetzung befinden sich auch podsolierte Braunerden und Podsole im Untersuchungsgebiet (KIRCHMEIR & JUNGMEIER 1999).

2.1.5 Vegetation

In weiterer Folge werden die für die Forschungsarbeit in Frage kommenden Vegetationseinheiten kurz erläutert. Bei der vegetationskundlichen Dokumentation der Bestände im Gößgraben unterscheiden KIRCHMEIR und JUNGMEIER (1999) folgende Gruppen von Vegetationseinheiten:

1. Ahorn- und ulmenreiche Waldtypen
2. Buchenreiche Waldtypen
3. Pionierwälder

Die Ulmen-Ahorn-Bestände sind aufgrund der hohen Lage dem *Ulmo-Aceretum pseudoplatani* Beger 1922 zuzuordnen (WALLNÖFER ET AL. 1993). Das Hauptvorkommen liegt im geschützten Kessel beim Zwillingsfall. KIRCHMEIR und JUNGMEIER (1999) unterscheiden zwischen zwei Subassoziationen, welche floristisch klar voneinander abgegrenzt werden können. Auf der nordexponierten Talseite findet sich der typische Ahorn-Ulmenwald. Hier dominiert in der Baumschicht der Berg-Ahorn (*Acer pseudoplatanus*), wobei die Berg-Ulme (*Ulmus glabra*) subdominant auftreten kann. In vom Steinschlag geschützten Nischen sind die Fichte (*Picea abies*) und/oder die Lärche (*Larix decidua*) beigemischt. In der schwach entwickelten Strauchschicht findet man vor allem sich verjüngende Baumarten, wie Schwarze Heckenkirsche (*Lonicera nigra*) und Pionierbaumarten (z.B. Grauerle – *Alnus incana*). Charakteristische Arten der Krautschicht (Auswahl) sind Weiße Pestwurz (*Petasitis albus*), Große Brennessel (*Urtica dioica*) und Hain-Rispengras (*Poa nemoralis*).

Auf der südexponierten Talseite befindet sich der wärmebetonte Ahorn-Ulmenwald. In der artenreichen Baumschicht dominieren Berg-Ahorn und Berg-Ulme, daneben können Esche (*Fraxinus excelsior*) und der wärmeliebende Spitz-Ahorn (*Acer platanoides*) beigemischt sein. Vereinzelt können auch Sommerlinde (*Tilia platyphyllos*), Fichte und Birke (*Betula pendula*) in der Baumschicht auftreten. Die Strauchschicht, welche je nach Lichtverhältnissen unterschiedlich stark ausgebildet ist, setzt sich aus Hasel (*Corylus avellana*), Grauerle, Alpen-Johannisbeere (*Ribes alpinum*) und Stachelbeere (*Ribes uva-crispa*) zusammen. In der Krautschicht gibt es viele Gemeinsamkeiten zum typischen Ahorn-Ulmenwald auf der nordexponierten Seite, jedoch kommt eine Gruppe wärmeliebender Arten hinzu, die auf der Schattseite fehlen: Kleine Klette (*Arctium minus agg.*), Nesselblättrige Glockenblume (*Campanula trachelium*), Giersch (*Aegopodium podagraria*) und Wald-Zwenke (*Brachypodium sylvaticum*). Nachdem HEISELMAYER (1976) und GLANTSCHNIG (1948) die Bestände dieses Typs in das *Aceri-Tilietum* einordneten, stuften KIRCHMEIR und JUNGMEIER (1999), aufgrund der aktuell sehr untergeordneten Rolle der Sommerlinde, die Bestände als wärmebetonte Subassoziation des *Ulmo-Aceretum pseudoplatani* Beger 1922 ein.

Die buchenreichen Waldtypen finden sich vorwiegend auf den südexponierten Hängen. GLANTSCHNIG (1948) und TSCHERMAK (1929) weisen aber auf das Fehlen der Buche im unmittelbaren Bereich des Zwillingsfalls hin. Dies liegt zum Teil an der hohen Luftfeuchtigkeit im Kesselbereich. Die Buche ist im Gößgraben vorwiegend oberhalb der unteren Kohlmayeralm, im engen Kontakt zum Fichtenwald, anzutreffen. Hier kommt der Buche die Beschaffenheit des Bodens (Rückenlage) und die für ihre Bedingungen optimale Luftfeuchtigkeit zugute (GLANTSCHNIG 1948). Es handelt sich im engeren Sinn um Fichten-(Tannen)-Buchenwälder, in denen die Tanne, vermutlich aufgrund des Wildverbisses, weitgehend fehlt (Kirchmeier & JUNGMEIER 1999; vgl. KEUSCH ET AL. 2011). Je nach Basengehalt des Bodens unterscheiden KIRCHMEIER und JUNGMEIER (1999) zwei Gesellschaften.

Die Bestände auf basenreicher Braunerde wurden dem Waldmeister-Buchenwald (Asperulo-Fagetum Sougnez et Till 1959) zugeordnet. Dort dominiert die Buche (*Fagus sylvatica*). Fichte, Berg-Ahorn und auch Birke können eingesprengt bis beigemischt vorkommen. Die Strauchschicht wird vorwiegend aus Baumarten der Baumschicht gebildet, wobei zusätzlich in geringem Ausmaß Grauerle und Hasel sowie Schwarze Heckenkirsche auftreten. In der weniger üppigen Strauchschicht finden sich typische Buchenwaldarten wie Nesselblättriger Ehrenpreis (*Veronica urticifolia*), Einbeere (*Paris quadrifolia*) und der namensgebende Waldmeister (*Galium odoratum*).

Auf basenarmer Braunerde findet man den Hainsimsen-Buchenwald (Luzulo luzuloides-Fagetum Meusel 1937). Hier dominiert die Buche kleinräumig, die Fichte ist beigemischt bis subdominant vertreten, wobei gegen den Rand der Bestände der Fichtenanteil zunimmt und sich so ein fließender Übergang zum Fichtenwald ergibt. Des Weiteren kommen Lärche und Birke in der Baumschicht vor. Im Vergleich zum Waldmeister-Buchenwald unterscheidet sich der Hainsimsen-Buchenwald durch eine sehr artenarme Krautschicht, in der Säurezeiger wie Preiselbeere (*Vaccinium vitis-idaea*) und Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*) dominieren. KIRCHMEIER und JUNGMEIER (1999) weisen im Bereich des Hainsimsen-Buchenwaldes ausdrücklich auf die fehlende Buchenverjüngung hin, welche ausschließlich in der Krautschicht vorkommt und stark verbissen ist.

2.1.6 Die Holländische Ulmenwelke

Seit dem erstmaligen Auftreten der Holländischen Ulmenwelke in Österreich 1928 sind die einheimischen Ulmenbestände stark gefährdet (KIRISITS & KONRAD 2004). So schrieben KIRCHMEIER & JUNGMEIER (1999: 54) noch:

„Eine weitere Besonderheit des Gößgrabens ist, dass er bislang vom Ulmensterben verschont geblieben ist. Wahrscheinlich liegt die Population so isoliert, dass der Ulmensplintkäfer, der den tödlichen Pilz überträgt, diese Bestände noch nicht erreicht hat. Ulmen in dieser Dimension (> 80 cm BHD, bis 25 m Scheitelhöhe), wie wir sie heute noch im Gößgraben finden, sind österreichweit eine große Seltenheit.“

Die Ulmenbestände im Untersuchungsgebiet sind von der Ulmenwelke in den letzten Jahren nicht verschont geblieben. Ein Großteil der Bestände wurde vom Ulmensterben erfasst und es finden sich nur noch wenige Individuen, welche noch keine Symptome einer Infektion des Erregers aufweisen. Die Holländische Ulmenwelke (auch als Ulmensterben bekannt) ist ein klassisches Beispiel einer Baumkrankheit, die von eingeschleppten Krankheitserregern verursacht wird (KIRISITS & KONRAD 2007). Sie wird von zwei nahe verwandten Schlauchpilzen *Ophiostoma ulmi* und *Ophiostoma novo-*

ulmi hervorgerufen. Aufgrund der hohen Resistenz vieler asiatischer Ulmen wird vermutet, dass diese Mikropilze von Asien nach Europa eingeschleppt wurden. Es handelt sich dabei um eine Welkekrankheit, die durch die Verstopfung der wasserleitenden Gefäße zum Tod der befallenen Ulmen führt. Die Übertragung der Erreger erfolgt über verschiedene Ulmensplintkäfer, vor allem durch den Kleinen (*Scolytus multistriatus*) und den Großen Ulmensplintkäfer (*Scolytus scolytus*) (KIRISITS & KONRAD 2007).

Die schwärmenden Ulmensplintkäfer, die mit dem Pilz in Berührung gekommen sind, tragen klebrige Pilzsporen an der Körperoberfläche (**Abbildung 3**). Durch den Zweigfraß der Jungkäfer an gesunden Ulmen kommt es zur Übertragung der Pilzsporen in das Wirtsbaumgewebe. Es kommt zur Infektion, die mit der Zeit zum Absterben des Baumes führt. Die Ulmensplintkäfer besiedeln die dickborkigen unteren Stammarten, wobei es wiederum zur Übertragung von Pilzsporen kommt. Zur Eiablage suchen sie gezielt geschwächte und absterbende Ulmen auf. Die schlüpfenden Larven bohren sich weiter in die inneren Rindenschichten, wo die schlüpfenden Jungkäfer erneut in Kontakt mit Pilzsporen treten. Diese schleppen die Sporen auf einen neuen Baum und der Infektionszyklus ist damit geschlossen (NIERHAUS-WUNDERWALD & ENGESSER 2003).

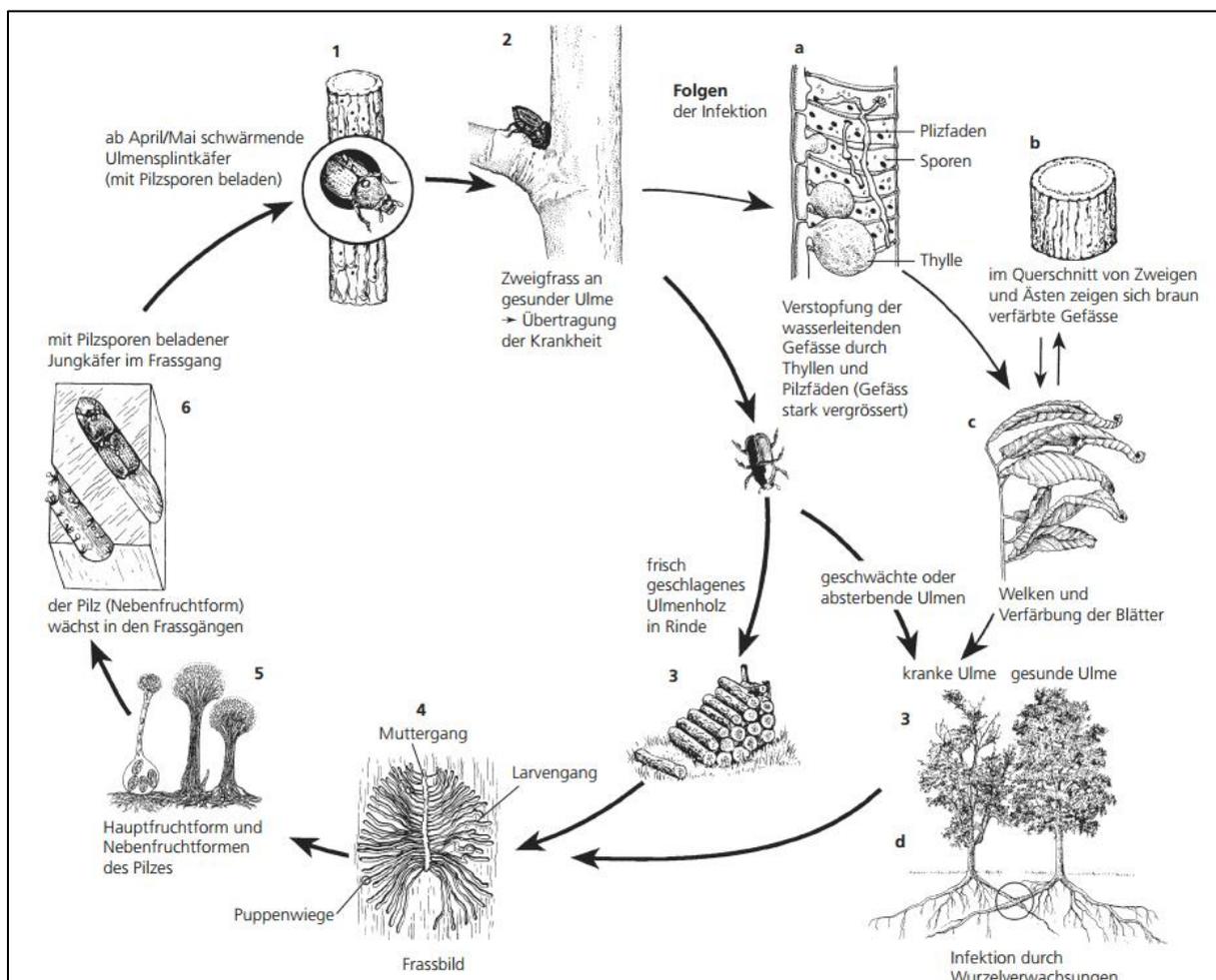


Abbildung 3: Krankheitsverlauf der Holländischen Ulmenwelke (Quelle: NIERHAUS-WUNDERWALD & ENGESSER 2003).

Nach der Übertragung durch die Ulmensplintkäfer besiedelt der Pilz zunächst die weiten, wasserleitenden Frühholzgefäße des jüngsten Jahrringes. Als Abwehrreaktion des Baumes kommt es zur Bildung von sogenannten Thyllen. Es handelt sich dabei um vom Baum produzierte blasenartige Ausstülpungen benachbarter Zellen in die Leitgefäße. Damit versucht die Ulme die Ausbreitung des Erregers in den Leitgefäßen zu verhindern, gleichzeitig unterbricht sie damit die eigene Wasserleitung. Verthyllte Gefäße sind an ihrer braunen Färbung zu erkennen. Zusätzlich verstopft der Pilz mit seinen Hyphen und Stoffwechselprodukten die Gefäße (NIERHAUS-WUNDERWALD & ENGESSER 2003). Diskutiert wird auch eine Beteiligung von Welketoxinen, welche vom Pilz produziert werden. Bei einer Infektion im Frühjahr können die befallenen Ulmen innerhalb einer Vegetationsperiode vollständig absterben (BUCHEL & CORNELISSEN 2000). Oft kann sich die Krankheit auch über mehrere Jahre hinziehen (NIERHAUS-WUNDERWALD & ENGESSER 2003).

2.1.7 Standortbeschreibung

Das Jahrringwachstum ist das Produkt aller wirkenden Standortfaktoren, deshalb ist in der dendroklimatischen Forschung die Auswahl der Standorte ein wichtiger Punkt. Im Laufe der Zeit variieren diese Standortfaktoren und wirken sich dementsprechend auf die Jahrringzuwächse aus, wobei eine eindeutige Zuordnung der Wachstumsbeeinflussung, je nach Standort und dem Zusammenspiel der wirkenden Faktoren, oft nicht möglich ist (SCHWEINGRUBER 1983). Um dieses Problem zu minimieren, berücksichtigt die Dendroklimatologie Bäume, deren Wachstum von möglichst wenigen Umwelteinflüssen gesteuert wird. So ist von Waldgrenzstandorten ein deutlicheres Klimasignal als von so genannten „Normalstandorten“ zu erwarten. Die gleiche Überlegung trifft auf artspezifische Verbreitungsgrenzen im Gegensatz zu „Optimalstandorten“ zu (BÜNTGEN ET AL. 2008). Die Bestände im Untersuchungsgebiet bilden aus dendroökologischer Sichtweise einen Sonderstandort, da es sich um ein Reliktvorkommen der einzelnen Ahorn-Ulmen- und Buchenbeständen handelt. Für den Erhalt dieser Bestände spielen die bereits erwähnten lokalklimatischen Besonderheiten, als auch exogene Faktoren, eine wichtige Rolle (KIRCHMEIR & JUNGMEIER 1999).

Die Wahl des Standortes für die Probenentnahme ist ein Schlüsselpunkt in der dendroklimatologischen Forschung. Lokale Standortfaktoren beeinflussen die Ergebnisse in hohem Maße (SCHWEINGRUBER 1993) und so galt es möglichst ungestörte Bestände bzw. Individuen auszuwählen. Dies gestaltete sich im Untersuchungsgebiet als problematisch. Neben Steinschlag und Lawinen wirken noch andere exogene Faktoren wie Schneedruck (Säbelwuchs), Ausrichtungseffekte, Wildverbiss usw. auf das Jahrringwachstum ein (SCHWEINGRUBER 1993).

Für die Untersuchung wurden insgesamt 140 Bohrkerne von vier verschiedenen Baumarten (Berg-Ahorn, Berg-Ulme, Buche, Fichte) aus vier Beständen entnommen (**Abbildung 4, Tabelle 1**). Die ausgewählten Bestände konzentrieren sich vorwiegend auf die wärmebeeinflussten, südexponierten Hanglagen, da diese Veränderungen im Wasserhaushalt deutlicher zeigen (SCHWEINGRUBER 1993). Zudem wurden Bestände in höheren Lagen ausgewählt, da das Baumwachstum an der oberen Verbreitungsgrenze stärker durch die Temperatur beeinflusst wird (BÜNTGEN ET AL. 2008).



Abbildung 4: Die unterschiedlichen Bestände im Untersuchungsgebiet.

Tabelle 1: Charakteristika der beprobten Bestände (Best. = Bestand, Exp. = Exposition, MH = Meereshöhe, n.m.= nicht messbar, Ah= Berg-Ahorn, Ul=Berg-Ulme, Bu=Buche, Fi=Fichte, BHD = durchschnittlicher Brusthöhendurchmesser, MW \pm SD = Mittelwert \pm Standardabweichung, BK = Anzahl der Bohrkerne).

Best.	Baumart	Exp.	MH (m)	Bodentiefe (cm)	Artenverteilung (Ah, Ul, Bu, Fi, in %)	Baumhöhe (m)	BHD (cm) (MW \pm SD)	BK
1	Ahorn	N	1280	n.m.	40/40/20/0	15-22	56,6 \pm 12,1	13
	Ulme					15-20	56,6 \pm 14,8	16
	Fichte					25-35	82,3 \pm 33,6	13
2	Ahorn	S	1350	n.m.	60/40/0/0	10-22	60,5 \pm 17,9	28
	Ulme					15-20	45,8 \pm 21,0	17
3	Buche	S	1370	5-25	0/0/90/0	20-25	63,9 \pm 13,7	13
	Fichte		1400	10-30	0/0/0/90	25-35	91,0 \pm 17,7	11
4	Buche	S	1300	15-30	0/0/30/70	20-28	67,9 \pm 18,2	15
	Fichte					25-35	65,1 \pm 16,4	14

Um Expositionseffekte analysieren zu können, wurde ein Bestand auf der nordexponierten Talseite ausgewählt. Hier handelt es sich um den typischen Ahorn-Ulmenwald. Die Fichte findet man hier auf kleinräumigen, vom Steinschlag geschützten Rücken. Der Untergrund wird aus mittlerem bis großem Blockschutt gebildet. Der zweite Bestand (wie auch Bestand 3 und 4) befindet sich auf der südexponierten Hangseite, wo der wärmebetonte Ahorn-Ulmenwald in Erscheinung tritt. Hier findet man größtenteils einen sogenannten Klufthumusboden vor (KIRCHMEIR & JUNGMEIER 1999). Die Bestän-

de 1 und 2 zeichnen sich durch die geschützte Kessellage aus, wobei der Einfluss von Lawinen im Bestand 2 eine wesentlich größere Rolle spielt. Weiters weisen beide Bestände einen hohen Totholzanteil (v.a. liegendes) auf. Der dritte Bestand befindet sich 500 m östlich der Ulmen-Ahornbestände und wurde auf zwei Unterbestände aufgeteilt. Einerseits handelt es sich dabei um einen reinen, teilweise sehr mächtigen Fichtenbestand (A), andererseits um einen Buchenhorst, der dem Waldmeister-Buchenwald zugeordnet wird (B). Beide Unterbestände befinden sich unterhalb von Felswänden in einer geschützten Rückenlage. Der vierte Bestand befindet sich ungefähr 500 m weiter östlich oberhalb der unteren Kohlmayeralm. Hier befinden sich teils sehr mächtige Buchen, welche in engem Kontakt zum Fichtenwald stehen (Hainsimsen-Buchenwald). Der Boden besteht aus podsolierter Braunerde (KIRCHMEIR & JUNGMEIER 1999).

2.2 Baumarten

2.2.1 *Acer pseudoplatanus* L. (Berg-Ahorn)

Morphologie

Der sommergrüne Berg-Ahorn (*Acer pseudoplatanus*) gehört zur Familie der Seifenbaumgewächse (Sapindaceae). Er entwickelt im Freiland eine rundlich bis eiförmige Krone mit abholzigen Stamm. Als Höchstalter erreicht er im Gebirge 400 bis 500 (600) Jahre (SCHMIDT & ROLOFF 2014). Die maximale Höhe beträgt bis zu 35 (40) m, wobei Stammdurchmesser von über 1 m keine Seltenheit sind (GAMS 1925). Im Alter entwickelt der Berg-Ahorn eine Schuppenborke, die ein eindrucksvolles Formen- und Farbenspiel der Schuppen von gelb bis dunkelbraun und grün zeigt. Daher der Beiname „pseudoplatanus“, was so viel wie platanenähnlich bedeutet (SCHMIDT & ROLOFF 2014). Die gegenständigen Blätter (10- 15 (20) cm Länge) sind 5-fach handförmig, oberseits matt dunkelgrün, kahl und etwa bis zur Hälfte eingeschnitten. Die Blattlappen sind breiteiförmig, grob einfach bis doppelt gesägt und fast stumpf. Im Austrieb sind die Blätter oft rötlich gefärbt. Der Blattstiel erreicht eine Länge von 3-25 cm, ist kahl, sonnseitig oft errötet und enthält keinen Milchsaft (ROLOFF & BÄRTELS 2006). Schon im Spätsommer färbt sich ein Teil der Blätter gelb, woran Berg-Ahorne von weitem zu erkennen sind (SCHMIDT & ROLOFF 2014).

Erst mit einem Alter von etwa 30 Jahren beginnt der Berg-Ahorn zu blühen. Im Gebirge blüht er, recht unauffällig, lediglich alle 2-3 Jahre, wobei die Zeit der Blühdauer 2-4 Wochen beträgt. Im Gebirge kann die Blühperiode stark variieren und sich von April bis Juni erstrecken (SCHMIDT & ROLOFF 2014). Die zwittrigen Blüten sind rispenförmige, gelblich-grüne Scheibenblumen. Es gibt aber auch eingeschlechtliche Formen. Sie haben je fünf gelb-grüne Kelch- und Kronblätter, die außen kahl und innen spärlich behaart sind und von Insekten, vor allem Bienen und Fliegen, bestäubt werden (ROLOFF & BÄRTELS 2006). Die Früchte des Berg-Ahorns sind kleine Nüsschen mit einem 3-6 cm langen Flügel, der die Fallgeschwindigkeit verringert (Schraubenflieger). Sie werden dadurch vom Wind bis zu 125 m vom Mutterbaum verfrachtet (SCHMIDT & ROLOFF 2014).

Das zerstreutporige Holz (**Abbildung 5**) des Berg-Ahorns ist gelblich-weiß bis weiß, in frischem Zustand leicht rötlich. Die Jahrringgrenzen sind schwer, die Holzstrahlen hingegen mit bloßem Auge leicht zu erkennen. Die Gefäße sind einzeln, paarig und in radialen Reihen angeordnet, sie sind sehr klein und mit bloßem Auge nicht zu sehen. Die Holzstrahlen sind unregelmäßig angeordnet, homogen

und weisen verschiedene Größen auf. Die Größe der Holzstrahlen ist für die Artdiagnostik bedeutend. Die Fasern verdichten sich an der Jahrringgrenze und sind unregelmäßig bis schwach radial angeordnet (WAGENFÜHR 2007, SCHMIDT & ROLOFF 2014). Der Berg-Ahorn gilt als guter Kompartimentierer, d.h. er grenzt auftretende Holzfäulen effektiv ab (PIETZARKA 2008). Das Holz des Berg-Ahorn ist bedeutsam für viele Musikinstrumente und im Möbelbau (SCHMIDT & ROLOFF 2014).

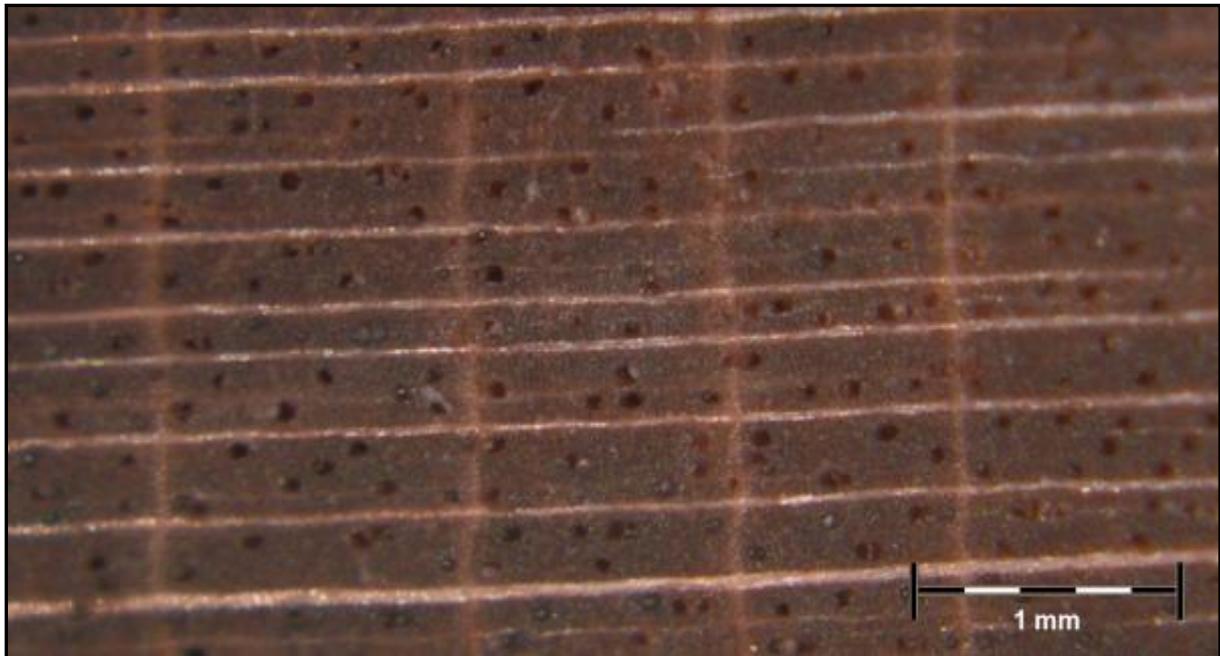


Abbildung 5: Querschnitt eines mit dunkler Holzbeize gefärbten Berg-Ahorn (*Acer pseudoplatanus*) Bohrkernes.

Ökologie und Verbreitung

Der Berg-Ahorn wächst zerstreut in Wäldern vom Hügelland bis in größeren Höhenlagen, in denen er am häufigsten anzutreffen ist. Er erreicht ein doppeltes Verbreitungsmaximum in der submontanen und der subalpinen Höhenstufe. Dies erklärt sich durch die früher weitere Verbreitung und spätere Arealeinengung durch Buche und Tanne (SCHMIDT & ROLOFF 2014). Er benötigt eine gute Wasserversorgung und kommt in kühleren Lagen vor allem auf frischen, nährstoffreichen Böden vor. Er ist daher bevorzugt entlang von Gebirgsbächen und auf feuchten Geröllhalden zu finden. In Hochlagen trifft man ihn häufiger auf Südhängen, als auf Nordhängen, da mit der Höhenlage die Licht und Nährstoffansprüche zunehmen (HOFFMANN 1960). Auf Grund der Konkurrenzkraft anderer Bäume wurde der Berg-Ahorn auf Sonderstandorte zurückgedrängt. Hierbei handelt es sich vor allem um Standorte der Block-, Schlucht- und Hangschuttwälder. Diese sind nicht primär durch das Allgemeinklima, sondern durch spezielle geomorphologische Bedingungen geprägte Vegetationstypen (WALENTOWSKI ET AL. 2004). Diese Bestände sind häufig gezeichnet durch Rutschungen, Steinschlag und Felsblöcke. Das Lokalklima ist oft sehr feucht, und durch hohlraumreiche Blockstandorte entstehen häufig Kaltluftströme und eine erhöhte Spätfrostgefahr (SCHMIDT & ROLOFF 2014). Das natürliche Areal vom Berg-Ahorn umfasst die mitteleuropäischen Gebirge von den Pyrenäen bis zu den Alpen und den Karpaten. Östlich bildet der westliche Kaukasus, südlich die Linie Schwarzmeerküste-Sardinien-Pyrenäen und nordwestlich die Grenze von Südwest- nach Nordostfrankreich die Arealgrenzen (GAMS 1925).

2.2.2 *Ulmus glabra* Huds. Moss. (Berg-Ulme)

Morphologie

Die Berg-Ulme (*Ulmus glabra*, Familie Ulmaceae) ist ein sommergrüner, schlanker, bis 40 m hoher Baum mit aufwärts gerichteten, normalerweise im Freiland tief gegabelten Ästen und rund-ovaler Krone (MACKENTHUN 2014). Der Kronendurchmesser kann bis zu 20 m betragen (WALTER 1931). In der Regel können Berg-Ulmen 400 bis 500 Jahre alt werden und einen Stammdurchmesser von 200 cm oder mehr erreichen (WENDT 1922, SCHÜTT ET AL. 1992). Die Borke ist tief längsrissig und von grauer bis bräunlicher Farbe (RAMISCH 1999). Die europäischen Ulmen heben sich durch die doppelt gesägten Blattränder sowie die oftmals stark ausgeprägte Asymmetrie der Spreitenbasis von anderen einheimischen Baumarten ab (MACKENTHUN 1997). Die Blattoberseite ist dicht mit kurzen, borstigen Haaren besetzt, die sich sehr rau anfühlen. Die Spreite ist im Hochsommer oberseits matt dunkelgrün, unterseits heller mit weniger dichter Behaarung (MACKENTHUN 1997). Vor dem Blattfall im Herbst werden die Blätter leuchtend gelb (RÖHRIG 1996).

Im Alter von 35 bis 40 Jahren beginnt die Berg-Ulme das erste Mal zu blühen. Die sehr kleinen (3 mm), kurz gestielten Zwitterblüten stehen in dichten Büscheln und haben ein trichterförmiges Perigon, welches von den 5 oder 6 dunkelvioletten Staubblättern überragt wird (WALTER 1931). Frühblühende Ulmen bieten Bienen eine der ersten Nahrungsquellen im Frühjahr (MACKENTHUN 1997). Die Früchte sind kurz gestielte, 20 bis 25 mm lange und fast ebenso breite, geflügelte Nüsse (ENDTMANN 1967). Die Samenreife erfolgt zwei Monate nach der Blüte. Die gelbbraunen, vollkörnigen Früchte fallen bis Mitte Juli vom Baum und werden vom Wind verweht (DENGLER 1990). Das ringporige Holz hat eine grobe Textur mit weitleumigen Frühholz und englumigen Spätholzgefäßen (**Abbildung 6**) (DENGLER 2004). Im Spätholz sind die Gefäße leicht erkennbar in zusammenhängenden, wellenförmigen, tangentialen Bändern angeordnet. Dies verleiht dem Ulmenholz ein charakteristisches Muster (GROSSER 1977). Die homogen aufgebauten Holzstrahlen bestehen meist aus vier bis fünf Zellreihen und sind 40 bis maximal 50 Zellen hoch. Die Fasern verlaufen selten parallel, daher lässt sich Ulmenholz schlecht spalten (DURST 1959).

Ökologie und Verbreitung

Die Berg-Ulme zählt in Mitteleuropa zu den Edellaubhölzern mit hohen Standortansprüchen. Sie benötigt frische, nährstoffreiche Böden und ist relativ schattentolerant, wobei Feuchte, Nährstoffreichtum und Bodenbewegung die Konkurrenzkraft der Berg-Ulme stärken (WALTER 1931). Sie ist eine Charakterart der azonalen Schlucht-, Schatthang- und Hangschuttwälder mit reichem krautigem Unterwuchs (MACKENTHUN 1997).

Das Verbreitungsgebiet der Berg-Ulme erstreckt sich auf weite Teile Europas. Ihr Areal umschließt die britischen Inseln, erreicht in Skandinavien den Polarkreis und in Russland den Ural, umschließt das Schwarze Meer und die Ägäis und kommt in Italien und Nord-Spanien in den Gebirgen vor (SCHÜTT ET AL. 1992). Hingegen fehlt sie im Südwesten Europas, in den Niederlanden und in Nordwestdeutschland. Die Berg-Ulme ist eine Baumart des Hügel- und Berglands. In den Alpen erreicht sie Seehöhen von 1300 m bis 1450 m (WALTER 1931).

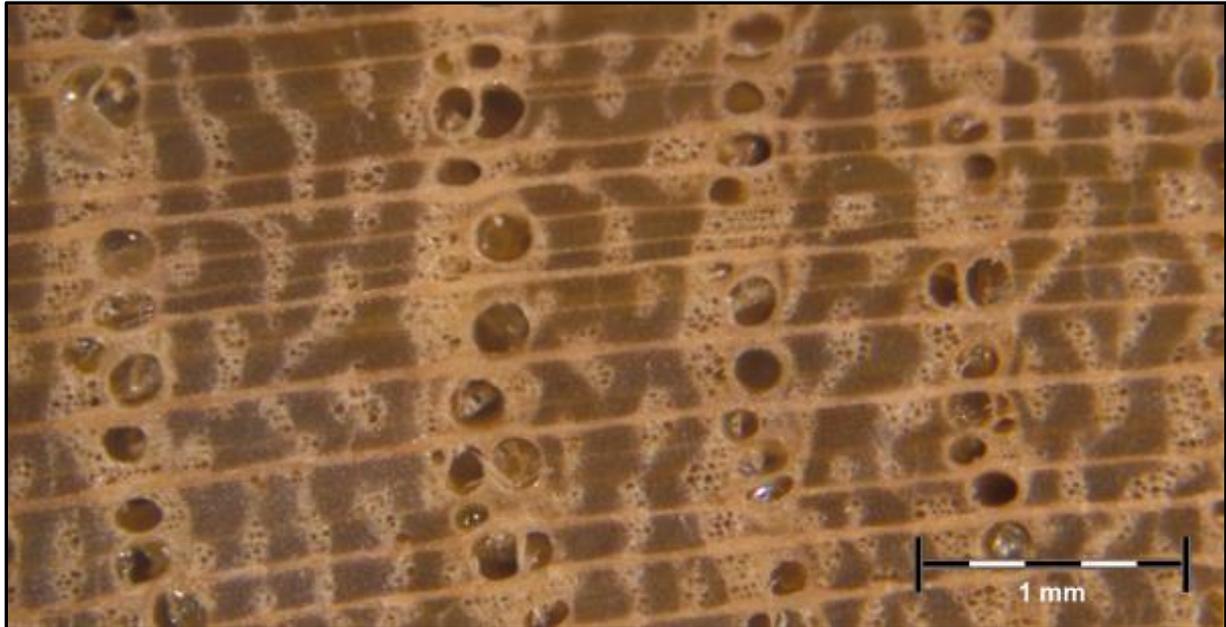


Abbildung 6: Querschnitt mit weitleumigen Frühholz und englumigen Spätholzflächen bei Berg-Ulme (*Ulmus glabra*).

2.2.3 *Fagus Sylvatica* L. (Rot-Buche)

Morphologie

Die Rot-Buche (*Fagus sylvatica*) ist eine sommergrüne Baumart der Familie der Buchengewächse (Fagaceae). Die ältesten bekannten Individuen sind 900 Jahre alt. In den wenigen noch vorhandenen Urwaldresten erreicht sie ein regelmäßiges Alter von 300 Jahren (FELBERMEIER & MOSANDL 2014). Rot-Buchen zeichnen sich im Freiland durch tiefe Bestattung und weit ausladende Kronen (HARTIG 1877), im Bestandesschluss hingegen durch einen vollholzigen, bis zu 25 m astfreien Schaft (RADULESCU 1934) aus. Ein typisches Merkmal ist die glatte, relativ dünne Rinde (FELBERMEIER & MOSANDL 2014). Sie erreicht maximale Baumhöhen von 45 m und der größte dokumentierte Stammdurchmesser in Brusthöhe beträgt 2,9 m (PRENTICE & HELMISAARI 1991). Die eiförmigen Laubblätter sind kurz zugespitzt, an der Basis keilförmig bis abgerundet, am Rand mehr oder weniger wellig-buchtig bis leicht gekerbt (WESTERKAMP & DEMMELMEYER 1997), behaart und mit kurzen Zähnen an den Enden der 6 bis 7 Nervenpaare versehen (MITCHELL 1979). Im Frühjahr haben die Laubblätter eine frischgrüne Farbe, im Sommer sind sie dann oberseits glänzend dunkelgrün, auf der Blattunterseite heller. Im Herbst erreichen die Blätter eine rotbraune Farbe (MITCHELL 1979).

Bei der Rot-Buche handelt es sich um einen windblütigen Baum, welche unscheinbare, eingeschlechtige, einhäusig verteilte, protandrische, hellgrüne Blüten ausbildet, die sich mit dem Austreiben der ersten Blätter in deren Achsen an Kurztrieben entfalten. Die Bestäubung erfolgt Anfang bis Mitte Mai (RÖHRIG ET AL. 1978). Die dreikantigen, 1-2 cm langen und 0,9 cm dicken Nussfrüchte (Bucheckern) fallen im Oktober zu Boden (BÄRTELS 1996). Die Rot-Buche besitzt ein rötlich-weißes, zerstreutporiges Reifholz mit feinen Poren und deutlichen Jahrringgrenzen (**Abbildung 7**). Charakteristisch sind zahlreiche breite bis sehr breite Holzstrahlen. Rot-Buchen-Holz ist schwer und hart, sehr tragfähig und gut spaltbar. Sie gehört zu den wirtschaftlich bedeutendsten Laubhölzern in Europa (GROSSER & TEETZ 1984).



Abbildung 7: Querschnittfläche bei Rot-Buche (*Fagus sylvatica*).

Ökologie und Verbreitung

Die Rot-Buche siedelt in gemäßigten bis warm gemäßigten Klimazonen mit ausreichend Niederschlag während der Vegetationsperiode. Sie erträgt hohe Lufttemperaturen, solange diese nicht mit Trockenperioden gekoppelt sind (FELBERMEIER 1993). Auf Beständen mit regelmäßiger Überflutung oder einem hohen Grundwasserspiegel kommt die Art jedoch nicht vor (GEHU & JULVE 1989). Obligat ist sie im Wurzelbereich auf eine Symbiose mit Ektomykorrhiza angewiesen (BRAND 1991).

Das Verbreitungsgebiet der Buche deckt sich mit den gemäßigten und warm gemäßigten Regionen Europas, die keine ausgeprägte Dürreperiode aufweisen. Die Südgrenze erstreckt sich von Nordgriechenland über Korsika nach Nordspanien. Im Westen wird es durch den Atlantik begrenzt. Im Norden reicht es bis nach Südengland und Süd-Skandinavien und geht im Osten von der Ostsee bis zum Schwarzen Meer. Größere Areallücken existieren in den winterkalt-trockenen Zentralalpen und sommertrockenen Beckenlandschaften. Die Höhengrenze liegt in den Südalpen bei 1800m, dort bildet die Rot-Buche auch die obere Waldgrenze (TSCHERMAK 1929).

2.2.4 *Picea abies* L. Karst. (Gemeine-Fichte)

Morphologie

Die Gemeine-Fichte (*Picea abies*) gehört zur Familie der Kieferngewächse (Pinaceae) und ist ein immergrüner 30-50 (70) m hoher, wüchsiger Baum (STINGLWAGNER ET AL. 2009). Ihr Höhenwachstum beendet sie mit 70-120 Jahren. An Beständen mit optimalen Wuchsbedingungen erreicht die geradstämmige Fichte eine Stammstärke von 1,5 (2) m und ein Alter von 600 Jahren (SCHÜTT ET AL. 1992). Die Krone ist kegelförmig ausgebildet (SCHÜTT ET AL. 1992). Die Bewurzelung ist von der Bodendurchlüftung abhängig. Bei hohem Grundwasserstand oder Staunässe bildet sich ein flaches, tellerförmiges und weitreichendes oder bei tiefgründigen, gut durchlüfteten Böden ein oft mehrere Meter

tief greifendes, reich verzweigtes, kräftiges Wurzelsystem (STINGLWAGNER ET AL. 2009). Die Fichten haben eine obligate Ektomykorrhiza (BARTELS 1993).

Die nadelförmigen Blätter, die sogenannten Fichtennadeln, sind 10-25 mm lang und 1 mm breit, zugespitzt, im Querschnitt vierkantig und glänzend dunkelgrün. Die Spaltöffnungen sind auf jeder Seite der Nadel als feine helle Linie zu erkennen. Die Nadeln sind wirtelig gestellt, stehen meist vom Zweig seitlich nach oben ab und sind häufig säbelförmig gekrümmt (SCHÜTT ET AL. 1992, STINGLWAGNER ET AL. 2009). Die Nadeln haben eine Lebensdauer von gewöhnlich sechs bis sieben Jahren, wobei diese in den Höhenlagen auch länger sein kann. Zweige, auf denen keine Nadeln mehr sitzen, fühlen sich, durch die stark vorspringenden gelben Blattkissen, sehr rau an (STINGLWAGNER ET AL. 2009).

Die Blüte der einhäusigen, windblütigen Fichte ist von April bis Mai (BARTELS 1993). Die eingeschlechtlichen Blüten befinden sich an den vorjährigen Trieben im oberen Wipfelbereich. Die männlichen Blüten (bis 2 cm lang) sind die blattachselständigen, aufrechten, eiförmigen, rotgelben Kätzchen, welche vor dem Aufblühen kaminrot sind. Die weiblichen Blüten stehen endständig, in zuerst aufrechten purpurroten 2-4 cm langen grünen Zapfen. Diese reifen im Oktober/ November zu 10 – 16 (18) cm langen braunen Zapfen. Nach der Befruchtung hängen die Zapfen vom Zweig herab und fallen, nach dem Ausfliegen der Samen, als Ganzes ab (STINGLWAGNER ET AL. 2009).

Die gerbstoffreiche Rinde der Fichte ist in jungen Jahren glatt, rötlichbraun und wird später graubraun mit rundlichen, flachen sich am Rand aufbiegenden Schuppen (STINGLWAGNER ET AL. 2009). Das Holz der Fichte ist harzreich, weich, leicht, hell, tragfest, aber nur mäßig witterungsbeständig und wenig dauerhaft (SCHÜTT ET AL. 1992, STINGLWAGNER ET AL. 2009). Das Dickenwachstum erfolgt bis September (BARTELS 1993). Die Jahrringgrenzen sind sehr deutlich zu erkennen, der Übergang innerhalb der Jahrringe vom Früh- zum Spätholz ist allerdings gleitend (**Abbildung 8**) (GROSSER 1977). Durch die gute Bearbeitbarkeit des Holzes wird es z.B. zur Herstellung von Bauholz, Zäunen, Gerüsten, Tischlerstücken (Möbeln, Spielzeugen), Zellstoff und Papier verwendet (STINGLWAGNER ET AL. 2009).

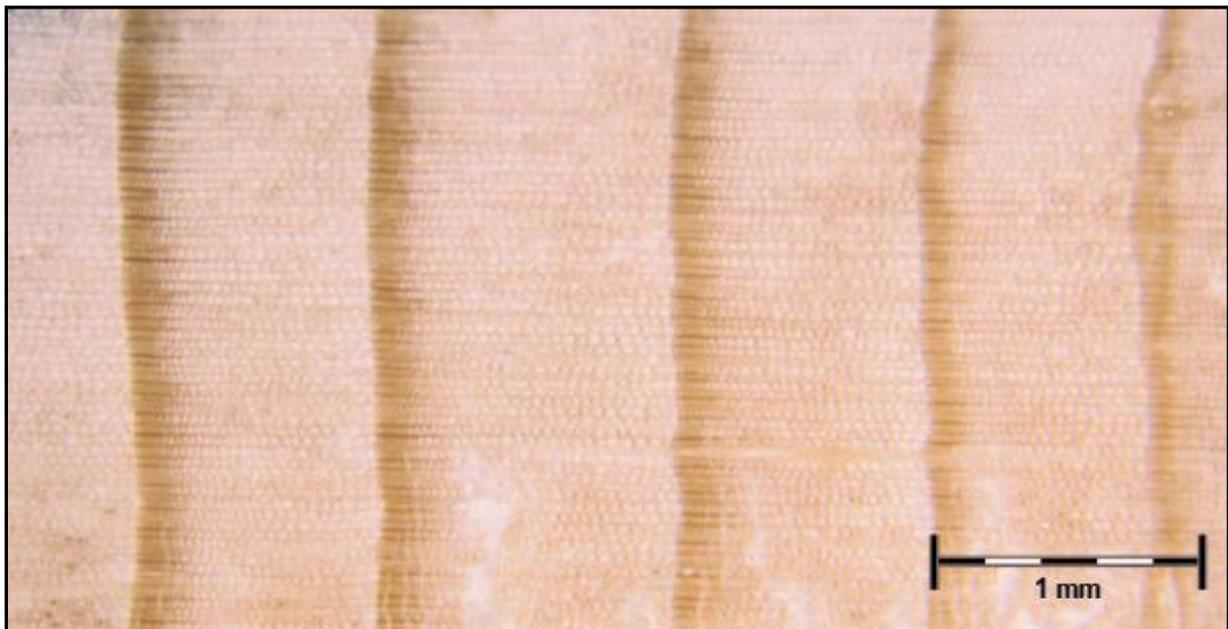


Abbildung 8: Querschnitt eines Bohrkernes der Gemeinen-Fichte (*Picea abies*).

Ökologie und Verbreitung

Die Fichte ist in ihrem Verbreitungsoptimum ein Halbschattenbaum, in wärmeren Gebieten allerdings ein Schattenbaum und in den höheren und nördlichsten Lagen eine Lichtbaumart (BARTELS 1993). Sie bevorzugt frische bis nasse, lockere, humose, mittel- bis tiefgründige, basenreiche bis saure Lehm- und Tonböden in kühlen, winterkalten Lagen (STINGLWAGNER ET AL. 2009). Das beste Wachstum verzeichnet sie in niederschlagsreichen Gebirgslagen. Sie reagiert sehr empfindlich auf Hitze, Dürre und Luftschadstoffe. Generell sind ihre Nährstoff- und Wärmeansprüche sehr gering (SCHÜTT ET AL. 1992). In Monokulturen kommt es durch die Nadeln zur Versauerung des Bodens, da es sich bei der Fichte um einen Rohhumusbildner handelt (STINGLWAGNER ET AL. 2009).

Das natürliche Verbreitungsgebiet der Fichte reicht von Mitteleuropa bis weit ins kontinentale Asien (SCHÜTT ET AL. 1992). Seit dem 18. Jahrhundert wird die ursprünglich in der subalpinen Vegetationsstufe wachsende Fichte in der kollinen und montanen Stufe großflächig angepflanzt. Das heutige Verbreitungsgebiet ist somit wesentlich größer als das natürliche (HECKER 2008, STINGLWAGNER ET AL. 2009). Durch die relativ geringen Standortansprüche, der hohen Massenproduktion und das große Verbreitungsgebiet ist die Fichte eine wirtschaftlich bedeutsame Baumart (BARTELS 1993, SCHÜTT ET AL. 1992).

2.3 Dendrochronologische Techniken

2.3.1 Bohrkernentnahme

Die Bohrkernentnahme erfolgte im Juni 2014 mit einem Zuwachsbohrer (Mattson, 50 cm Länge, 5,15 mm Kerndurchmesser) auf Brusthöhe (ca. 1,40 m). Um die Infektionsgefahr durch die Probenentnahme gering zu halten, wurde bei den Buchen, Berg-Ahorn und Fichten jeweils nur ein Radius pro Baum entnommen. Von den lebenden Berg-Ulmen wurden keine Bohrkernentnahmen entnommen, um eine Verbreitung von Pilzsporen zu verhindern. Bei den abgestorbenen Berg-Ulmen wurden zwei Radien, jeweils von der gegenüberliegenden Seite, entnommen. Da in Hanglagen Bäume Reaktionsholz (bei Nadelbäumen Druckholz, bei Laubbäumen Zugholz) ausbilden (FRITTS 1976), wurde die Bohrkernentnahme in hangparalleler Richtung (im rechten Winkel zur Falllinie) durchgeführt. Reaktionsholz verfälscht die Jahrringzuwächse und erschwert somit deren Erfassung. Der hohle Bohrer wird im rechten Winkel am Stamm angesetzt und mit gleichmäßigem Druck in das Holz gedreht. Die Bohrung erfolgte bis zur Baummitte (Mark). Der Bohrkern dringt durch den hohlen Bohrer in das Bohrröhr ein und wird mit der Klemmzunge herausgezogen. Diese „Zunge“ wird zuvor in den Bohrer geschoben. Durch das Zurückdrehen des Bohrers (eine Umdrehung) wird der Bohrkern vom Baum abgebrochen und kann herausgezogen werden. Nach der Entnahme des Bohrkerns wird der Bohrer wieder aus dem Baum herausgedreht. Bei kernfaulen oder stark verharzten Bäumen muss die Bohrkernentnahme sofort abgebrochen werden, da sonst eine Verklebung des Bohrers im Baum erfolgen kann. Der entnommene Bohrkern wird beschriftet und in Transportröhrchen aus Kunststoff aufbewahrt, um Beschädigungen während des Transports zu verhindern. Bereits im Gelände zerbrochene Bohrkernentnahmen werden exakt markiert, um eine korrekte Zusammenstellung später im Labor zu ermöglichen. Zusätzlich wurde der Durchmesser der einzelnen Bäume mit dem Maßband in Brusthöhe (BHD) gemessen.

2.3.2 Präparierung der Bohrkerne

Um Pilzbefall, Sprünge im Holz und Reißen des Holzes zu verhindern, wurden die frischen Bohrkerne einige Tage luftgetrocknet. Nach der vollständigen Trocknung wurden die Bohrkerne mit einer Heißklebepistole (Pattex Supermatic 100) auf eine Holzleiste fixiert. Um die Fixierung zu erleichtern, sind die Holzleisten in der Mitte mit einer Rille versehen, in der der Klebstoff aufgetragen wird. Zu beachten ist dabei, dass die Holzfasern (Leitgefäße) senkrecht zur Holzleiste ausgerichtet sind, um die Querschnittsfläche präparieren zu können. Nur so sind die Jahrringgrenzen im Mikroskop gut erkennbar (PILCHER 1990). Die zerbrochenen Bohrkerne werden exakt zusammengesetzt und passend aufgeklebt. Verdrehte Bohrkerne (z.B. verursacht durch einen stumpfen Bohrer) wurden absichtlich abgebrochen und korrekt (Holzfasern senkrecht zur Leiste) aufgeklebt. Um eine flache Oberfläche des Bohrkerne zu erreichen, wird mit einer scharfen Industrieklinge durch fein gezogene Schnitte die Rundung des Bohrkerns vorsichtig entfernt. Die nun glatte Oberfläche macht die Zellstrukturen im Mikroskop deutlich sichtbarer. Zur Kontrastverstärkung wurde bei Buche, Berg-Ulme und Fichte die Oberfläche mit Kreidestaub eingerieben. Die Berg-Ahorn Bohrkerne wurden mit einer dunklen Holzbeize (Aquaclou Holzbeize 2529 Mahagoni) gefärbt. Mit diesen Methoden werden Zellstrukturen, wie Frühholz und Späthholzgrenzen und holzanatomische Veränderungen, gut sichtbar. Insbesondere bei den Berg-Ahorn Bohrkerne erleichterte das Beizen die Auswertung erheblich.

2.3.3 Messung der Jahrringbreiten

Die Messung der Jahrringzuwächse erfolgt mittels des Computerprogramms TSAPWin Scientific, Version 0.53 (RINN 1996). Dieses wurde speziell für dendrochronologische Messungen entwickelt. Für die Messung wird ein Bohrkern auf einem beweglichen Messtisch (LinTab, Rinntech, Heidelberg) gelegt und durch eine Handkurbel an den Linsen vorbeibewegt (Auflösung 1 μm). Die Bewegungen werden vom angeschlossenen Computer genauestens erfasst. Die Linsen gehören zu dem Auflichtmikroskop (Modell Olympus SZ 61, 6.7- 45 fache Vergrößerung), das sich oberhalb des Messtisches befindet. Im rechten Okular des Mikroskops ist ein Fadenkreuz sichtbar. Der Bohrkern wird nun so positioniert, dass die erste deutlich sichtbare Jahrringgrenze, im marknahen Bereich, genau im Fadenkreuz des Okulars erscheint. Der Messtisch bewegt sich von links nach rechts, damit das Fadenkreuz von einer Jahrringgrenze zur nächsten verschoben und gezählt werden kann. Jede Jahrringgrenze muss dabei senkrecht zum Fadenkreuz stehen. Dazu muss der Bohrkern immer wieder neu eingestellt werden. Jede neue Jahrringgrenze wird mit einem Pedal (Fußtaste) gezählt, als Signal an den Computer übertragen, gespeichert und die Breite der Jahrringabfolge graphisch dargestellt. Es wird immer vom Markbereich in Richtung des letzten gebildeten Jahrrings gezählt.

Bei den Berg-Ulmen wird nach der Erfassung der Jahrringbreiten von beiden Radien eines Baumes, mit dem Computerprogramm eine Baummittelkurve errechnet und gespeichert. Um eventuelle Mess- und Datierungsfehler sofort zu ermitteln, wurden die Einzelradien bei Buche, Berg-Ahorn, Fichte und die Mittelkurven bei den Berg-Ulmen mit einer Referenzkurve verglichen.

2.4 Auswertung

2.4.1 Datierung

Um eine korrekte Datierung und die Richtigkeit der Messungen der Jahrringkurven sicher zu stellen, werden die Jahrringkurven untereinander und mit absolut datierten Jahrringreihen, also Referenz-

kurven anderer Bestände des Untersuchungsgebietes verglichen. Die Ähnlichkeit zweier gleich datierter Jahrringkurven, wird durch einen sogenannten Korrelationskoeffizienten angegeben (SCHWEINGRUBER 1993). Statistische Parameter (t-Wert, Gleichläufigkeit) und die optische Kontrolle der Kurven helfen bei der Korrektur von fehlerhaften Datierungen und können mit dem Programm TSAPWin Scientific, Version 0.53 (RINN 1996) gegebenenfalls korrigiert werden. Messfehler und fehlende Jahrringe können erkannt werden. Stimmen zwei Radien, trotz genauer Messung, nicht überein, wird nur der Radius für weitere Berechnungen verwendet, welcher besser mit den anderen, bereits kontrollierten, Mittelkurven übereinstimmt. Aufgrund der extremen Standort- bzw. Umweltbedingungen im Untersuchungsgebiet waren einige Bohrkerne nicht messbar bzw. konnten nicht datiert werden.

2.4.2 Erstellung von Standortchronologien (Bestandmittelkurven)

Eine weitere Datierungskontrolle wird mit dem Computerprogramm COFECHA, Version 6.06P (HOLMES 1994) ausgeführt. Dabei wird ein Vergleich der Jahrringmittelkurven aller Bäume einer Art an einem Bestand untereinander durchgeführt.

Das Computerprogramm COFECHA erstellt dazu eine sogenannte „Masterchronologie“ aus allen Baummittelkurven. Mit dieser Masterchronologie wird jede der Einzelkurven in Korrelation gesetzt, wobei die aktuelle zu vergleichende Einzelkurve kurzzeitig aus der Masterchronologie heraus gerechnet wird (HOLMES 1994). Jahrringreihen, welche eine schlechte Übereinstimmung mit der Masterchronologie und eine unsichere Datierung oder Wachstumsindividualitäten aufweisen, werden mit dieser Methode entfernt. Durch den Ausschluss der problematischen Baummittelkurven wird die klimatische Signifikanz erhöht. Diese werden daher für die weitere Berechnung der Klima-Wachstums-Beziehung ausgeschlossen. Aufgrund der exogenen Faktoren und Standortbedingungen mussten 60 der 140 beprobten Bäume aussortiert werden (**Tabelle 2**). Dies machte sich vor allem bei den Berg-Ahorn Bohrkerne bemerkbar. Hier wurde eine hohe Anzahl der Baummittelkurven, z.B. aufgrund von auskeilenden Jahrringen (**Abbildung 9**) aussortiert. Jahrringreihen einer Baumart von einem Bestand, welche eine Korrelation (> 0.4) mit der Masterchronologie aufweisen, wurden zur jeweiligen Bestandmittelkurve zusammengefasst. Jahrringreihen, die eine geringe Korrelation (< 0.4) mit der Master-Chronologie aufwiesen, wurden bei der Erstellung der Bestandmittelkurve nicht berücksichtigt. Durch die allgemeine Tendenz der Bestandmittelkurven wird die Individualität der Einzelbäume nicht mehr so stark ausgedrückt. Die Bestandmittelkurven zweier verschiedener Bestände sind sich deshalb ähnlicher als zwei Einzelkurven (SCHWEINGRUBER 1993).

Tabelle 2: Anzahl der Jahrringmessreihen: (A) insgesamt, (B) nach Datierungskontrolle mit COFECHA (Ah = Berg-Ahorn, Ul = Berg-Ulme, Fi = Fichte, Bu = Buche).

	Bestand								
	1			2		3		4	
	Ah	Ul	Fi	Ah	Ul	Bu	Fi	Bu	Fi
A	13	16	13	28	17	13	11	15	14
B	8	9	10	7	8	11	10	7	10

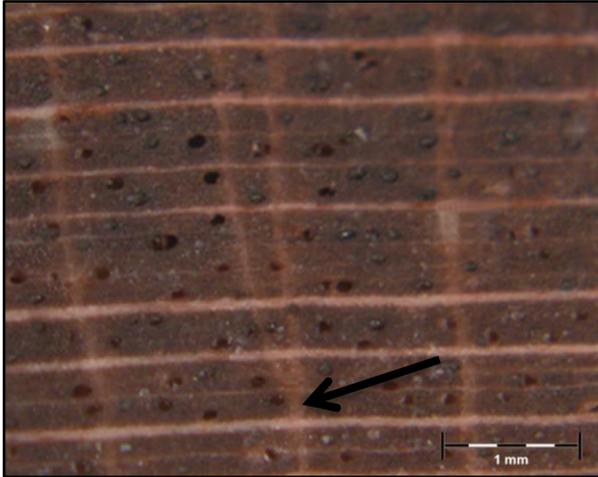


Abbildung 9: Auskeilender Jahrring bei Berg-Ahorn.

2.4.3 Standardisierung bzw. Indexierung

Durch die Standardisierung, in der Dendrochronologie meist Indexierung genannt, ist es möglich die Jahrringbreiten verschiedener Bohrkerne miteinander zu vergleichen. Die Standardisierung der Jahrringreihen dient der Eliminierung langfristiger Schwankungen, die nicht klimabedingt, sondern in Zusammenhang mit Alterungsprozessen, dem sogenannten Alterstrend und der Bestandesentwicklung (Konkurrenz) stehen (COOK 1987).

Laut SCHWEINGRUBER (2001) ist der Alterstrend ein Sammelbegriff für alle altersbedingten Veränderungen der jährlichen Zuwächse. Mit zunehmendem/r Alter und Baumhöhe werden die Jahrringe, einem Alterstrend folgend, immer schmaler. Die Abnahme der Jahrringbreite ist das Resultat der Verteilung des Zuwachses auf einen immer größer werdenden Stammumfang und eine zunehmende Stammhöhe (SCHWEINGRUBER 1993). Nach einer anfänglichen, wenige Jahre dauernden Jugendphase nehmen die Jahrringbreiten zu, es folgt eine Kulmination in der Hauptphase und eine kontinuierliche Abnahme der Jahrringbreiten mit zunehmenden Alter (BRÄKER 1981).

Oft wirkt sich auch die Qualität des Vorjahresrings auf das Wachstum des folgenden Jahrrings aus (COOK 1987, COOK & BRIFFA 1990). Jahrringabfolgen sind durch diesen Alterstrend individuell geprägt (BRÄKER 1981). Die Geschwindigkeit und der Verlauf des Alterungsprozesses werden von exogenen und endogenen Faktoren beeinflusst (SCHWEINGRUBER 1993). Die Alterungsprozesse wirken entweder durch die Veränderung der Wachstumsgeschwindigkeit oder der Wachstumsqualität und können sowohl genetische als auch physiologische Ursachen haben (BRÄKER 1981).

Damit klimatische Einflüsse besser erfasst werden können und Bäume, welche aus unterschiedlichen Altersklassen stammen, miteinander vergleichbar sind, wird der Alterstrend aus den Daten eliminiert. Die Messreihen werden so verändert, dass sie unabhängig vom jeweiligen Baumalter sind (BRÄKER 1981).

Die Standardisierung wird dem Computerprogramm ARSTAN, Version 6.05P (HOLMES 1994) durchgeführt. ARSTAN arbeitet mit einem zweifachen Trendeliminierungsverfahren unter Einbeziehung einer autoregressiven Modellierung. Das Ergebnis ist eine sogenannte Standard- (mit Autokorrelation) sowie Residualchronologie (ohne Autokorrelation). Bei diesem Indexierungsverfahren wird der Messwert des laufenden Jahres (x_i) durch den Messwert des Ausgleichsfunktion (x_i^0) dividiert (SCHWEINGRUBER 1993).

$$I_i = x_i / x_i^0$$

I_i Indexwert

x_i Messwert der Messwertreihe

x_i^0 Messwert der Ausgleichsfunktion (Trendwert des jeweiligen Jahres)

Die errechnete Indexkurve zeigt nur mehr Abweichungen vom langjährigen, standardisierten Mittel und schwankt daher um den Wert 1. Nach der Eliminierung des Alterstrends und anderer möglicher Störsignale zeigen sich die jährlichen Zuwachsveränderungen deutlicher.

2.4.4 Synchronisierung von Chronologien

Nach der Erstellung der verschiedenen Bestandmittelkurven ist ein Vergleich untereinander möglich, um Ähnlichkeiten und Unterschiede im Wachstum zu ermitteln. Ein Vergleich mit anderen Standortchronologien (Referenzkurven) war nicht möglich, da regionale Vergleichsdaten leider fehlen. So konnten nur die lokalen Bestandmittelkurven miteinander verglichen werden. Dafür wird das Computerprogramm TSAPWin Scientific, Version 0.53 (RINN 1996) verwendet. Folgende Parameter werden berechnet.

Überlappungslänge (OVL)

Durch die Überlappungslänge von zwei zu vergleichenden Chronologien wird die Anzahl jener Jahre (Zeitraum), die sich bei korrekter Datierung überlagern bzw. überschneiden, angegeben. Um die Genauigkeit der Datierung zu gewährleisten, müssen sich mindestens 50 Jahrringe überlappen (SCHWEINGRUBER 1983).

Gleichläufigkeit (Gik)

Die Gleichläufigkeit ist ein Vergleichsmaß von zwei Zeitreihen. Hierbei wird die Ähnlichkeit der einzelnen Intervalle zweier Zeitreihen herangezogen. Das Intervall wird beim Vergleich zweier Jahrringreihen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zeitpunkten nur nach der Tendenz der Wertezunahme oder -abnahme beurteilt. Der Wert wird in Prozenten ausgedrückt.

Verlaufen die Intervalle zweier Jahrringreihen über viele Jahre parallel, deutet dies auf dieselben wachstumsbeeinflussenden Umweltfaktoren hin. Wenn innerhalb eines Bestandes jede Kurve mit derselben Periode verglichen wird, ist der Wert der Gleichläufigkeit ein Maß für die Homogenität des Standortes (SCHWEINGRUBER 1983).

Statistische Signifikanz (Gsl)

Die statistische Signifikanz ist ein Maß für die Wahrscheinlichkeit, dass die berechnete Korrelation zufällig erfolgt. Je kleiner der p-Wert ($p =$ engl. probability = Wahrscheinlichkeit), umso größer ist die statistische Signifikanz.

* $p < 0,05$ signifikant (Zufallswahrscheinlichkeit < 5 %)

** $p < 0,01$ hoch signifikant (Zufallswahrscheinlichkeit < 1 %)

*** $p < 0,001$ höchst signifikant (Zufallswahrscheinlichkeit $< 0,1\%$)

t-Wert nach BAILLE & PILCHER 1973 (TVBP)

Der t-Wert (oder auch t-Test) ist sehr streng und gibt in der Regel die synchrone Lage (Korrelationskoeffizient) zweier Kurven eindeutig an. Mit dem t-Wert wird geprüft, ob zwei Kurven miteinander in Beziehung stehen. Die Korrelationskoeffizienten zweier gleichdatierter Jahrringkurven geben an, wie ähnlich sich die Kurven sind. Im Unterschied zur Gleichläufigkeit und Sensitivität beziehen sich die Korrelationen auf die effektiven Werte und nicht auf die Intervalle (SCHWEINGRUBER 1983). Um eine korrekte Datierung (= synchrone Deckungslage) sicherzustellen, sollte, bei einer 70- bis 120-jährigen Einzelkurve, ein t-Wert von mindestens 2,5 bis 5,0 gegeben sein (BECKER & GLASER 1991).

Mit dem Programm ARSTAN wurden weitere statistische Parameter der Bestandeschronologien erhoben.

Standardabweichung (STABW)

Ein Maß für die Streuung der aktuellen Werte um einen errechneten Mittelwert ist die Standardabweichung. Bei Normalverteilung liegen zwei Drittel der Werte innerhalb der Standardabweichung beiderseits des Mittelwertes (SCHWEINGRUBER 1983).

Korrelation der Masterchronologien (COFECHA)

Ist der Wert der durchschnittlichen Korrelation der einzelnen Jahrringserien mit der Masterchronologie eines Bestandes hoch, deutet dies auf eine einheitliche Reaktion der untersuchten Bäume auf schwankende Umweltbedingungen innerhalb eines Bestandes hin.

Autokorrelation (AK)

Die Autokorrelation gibt Auskunft über den inneren Zusammenhang einer Reihe. Sie ist ein Maß für die Ähnlichkeit innerhalb einer Zeitreihe mit zeitlicher Verschiebung um ein bis mehrere Jahre. Ist der Einfluss des Vorjahres auf das nachfolgende Jahr stark, ist der Korrelationskoeffizient signifikant. Die Jahrringreihe wird dazu mit sich selbst, um einen Jahrring verschoben, verglichen. Der Wert zeigt, welchen Einfluss der von den Vorjahren geprägte physiologische Zustand des Baumes auf das Wachstum der nachfolgenden Jahre ausübt. Die Werte schwanken zwischen -1 (negative Korrelation) und +1 (positive Korrelation) bzw. 0 (keine Korrelation) (SCHWEINGRUBER 1983).

Sensitivität

Die mittlere Sensitivität ist ein Änderungsmaß und drückt in Prozenten aus, wie stark die Veränderung zwischen zwei sich folgenden Werten einer Zeitreihe ist (durchschnittliche Schwankung der Jahrringbreite von Jahr zu Jahr). Die Berechnung kann mit Rohwerten oder den indexierten Werten durchgeführt werden. Folglich ist die mittlere Sensitivität das Maß, wie stark das Baumwachstum an einem Standort von Umweltfaktoren beeinflusst wird. Es kann außerdem festgestellt werden, in welchen Perioden ausgeglichene oder stark schwankende Wachstumsbedingungen herrschen (SCHWEINGRUBER 1983). Eine hohe Sensitivität ist ein Hinweis für eine starke Abhängigkeit des Baumwachstums von schwankenden Umwelteinflüssen (FRITTS 1976).

Signal/Rausch-Verhältnis (SNR)

Das Signal/Rausch-Verhältnis (SNR = Signal to noise ratio) ist eine statistische Größe, die den Grad des Klimasignales nach Mitteilung der Einzelbaumserien quantifiziert. Hohe SNR-Werte zeigen ein starkes Klimasignal in den Chronologien. Der Wert des Signal/Rausch-Verhältnis entsteht durch klimatische oder andere Faktoren erklärbarer Variation in einer Chronologie geteilt durch den nicht erklärbaren Anteil. Es drückt die Stärke des gemeinsamen Klimasignals innerhalb der berücksichtigten Bäume aus. Es ist definiert als $SNR = n*r/(1-r)$, wobei r die mittlere Korrelation zwischen Baumradien und n die Anzahl der Bäume einer Chronologie angibt (WIGLEY ET AL. 1984).

Bestandessignal (EPS)

Das Bestandessignal (EPS = Expressed population signal) quantifiziert den Grad, mit welchem eine Jahrringreihe eine hypothetisch perfekte Chronologie wiedergibt. Der Schwellenwert für eine ausreichende statistische Qualität des Bestandessignales wird bei 0,85 angegeben. Chronologien über diesen Schwellenwert haben einen hohen klimatologischen Informationsgehalt und eignen sich für Klimarekonstruktionen (WIGLEY ET AL. 1984).

2.4.5 Modellierung der Klima-Wachstums-Beziehung („response function“)

Eine dendroklimatologische Analyse wird mittels der Klima-Wachstums-Beziehung durchgeführt. Es wird dabei nach der Beziehung zwischen Jahrring und Klima in einem Bestand gesucht. Der jährliche Zuwachs wird von verschiedenen Klimafaktoren beeinflusst. Die biologisch wichtigsten Messgrößen sind die Temperatur und der Niederschlag (SCHWEINGRUBER 1983). Um die statistische Beziehung zwischen den Wachstumsraten der Berg-Ahorn, Berg-Ulmen, Buchen und Fichten an den beprobten Beständen und dem Klima zu erfassen, wurden die Klimadaten der Klimastation Malta (1953-2013) und der Klimastation Mallnitz (1984-2013) mit den zeitlich entsprechenden Bestandeschronologien (Residualchronologien) korreliert.

Mit dem Computerprogramm STATISTICA 8.0 wurde eine monotone Korrelationsanalyse (Spearman-Rangkorrelationskoeffizient, ρ) zwischen Temperatur- bzw. Niederschlagsdaten (monatlich, saisonal) und der Bestandmittelkurve der einzelnen Jahrringbreiten durchgeführt. Zusätzlich wurde der Zusammenhang der mittleren Temperaturverhältnisse bzw. Niederschlagssummen des Vorjahres (monatlich, saisonal) untersucht. Aufgrund der Umweltbedingungen im Untersuchungsgebiet wurde eine monotone Korrelationsanalyse, anstelle einer linearen Korrelationsanalyse (z.B. Pearson-Produkt-Moment-Korrelation), gewählt. Der Spearman-Rangkorrelationskoeffizient ist robuster gegen Ausreißer. Der Korrelationskoeffizient liegt zwischen -1 und 1. Ein Wert nahe -1 bezeichnet einen starken negativen Zusammenhang. Ein Wert nahe 1 spricht für einen starken positiven Zusammenhang. Kein Zusammenhang besteht, wenn der Wert nahe 0 liegt (FAHRMEIR ET AL. 2007).

Die Berechnungen wurden mit Daten zweier Klimastationen im Umkreis des Untersuchungsgebietes durchgeführt. Einerseits mit Daten der Klimastation Malta (Seehöhe 830m, 46° 57'N, 13°30'O) für den Zeitraum 1953-2013. Andererseits mit Daten der Klimastation Mallnitz (Seehöhe 1185m, 46° 59'N, 13°11'O) für den Zeitraum 1984-2013. Die Klimastation Malta ist mit 10 km Entfernung dem Untersuchungsgebiet am nächsten, aufgrund der inneralpinen Lage sind die Niederschlagsdaten aber nur bedingt aussagekräftig. Die Klimastation Mallnitz ist vom Untersuchungsgebiet weiter entfernt (15 km) als die Klimastation Malta. Aufgrund der gleichen Höhenlage mit dem Untersuchungsgebiet

und der näheren Lage am Alpenhauptkamm spiegelt die Klimastation Mallnitz Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse wahrscheinlich besser wider.

2.4.6 Bestimmung der Altersstruktur der dominanten Baumarten

Um das Alter der beprobten, aber kernfaulen Bäume annäherungsweise zu ermitteln, wurden verschiedene Berechnungsvarianten angewendet (**Abbildung 10**). Als Grundlage zur Ermittlung der Jahrringanzahl vom nicht vorhandenen Zuwachsteil am Gesamtradius diente die durchschnittliche Jahrringbreite aller Bäume im Nahbereich (a), nur der ersten 50 vermessenen Jahre (b) und das durchschnittliche Jugendwachstum im Nahbereich stehender Bäume (c). Bei den Verfahren b und c wird die höhere Zuwachsrate im Jugendalter berücksichtigt. Mithilfe dieser drei Berechnungsverfahren ist es möglich ein Minimal- bzw. Maximalalter zu bestimmen. Der durchschnittliche Wert aller drei Berechnungsverfahren dient zur Ermittlung des wahrscheinlichen Alters des jeweiligen Baumes.

Die Beprobung der Bäume erfolgte auf Brusthöhe in ca. 1,40 m Stammhöhe. Es fehlt somit von der Bodenoberfläche (Spross-Wurzel-Übergang) bis zur Höhe der Bohrkernentnahme eine unbekannte Anzahl an Jahrringen. Im Vergleich mit der Literatur (RENDENBACH o.J.) kann angenommen werden, dass im Mittel bei allen beprobten Bäume zusätzlich 10 Jahre addiert werden müssen, um das tatsächliche Baumalter zu ermitteln.

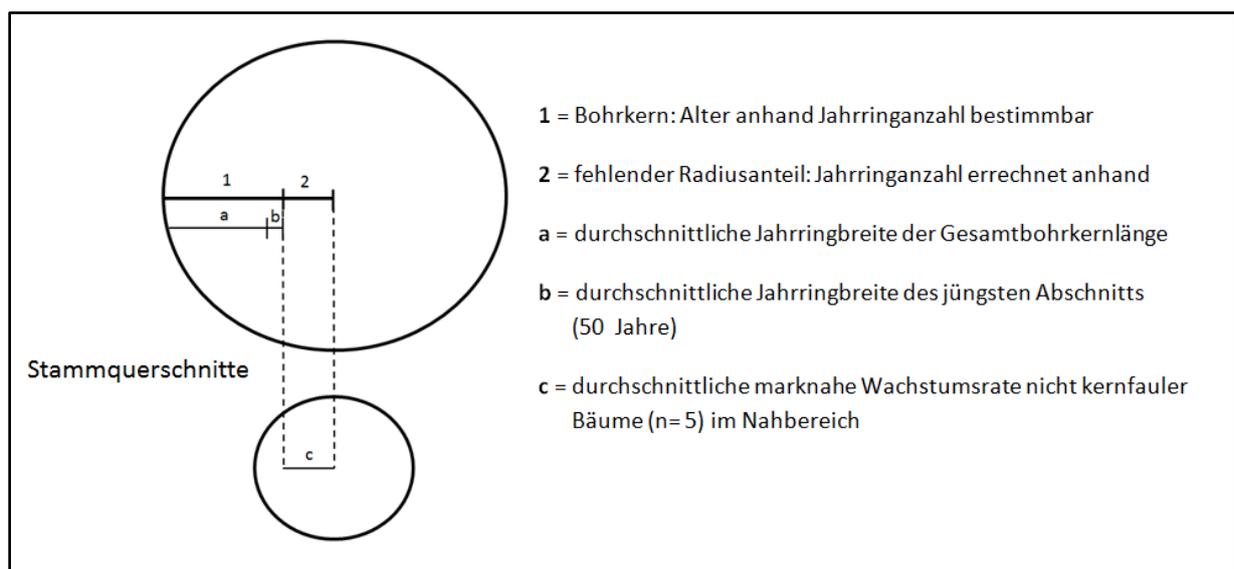


Abbildung 10: Veranschaulichung der drei verschiedenen Berechnungsverfahren für die Altersbestimmung kernfauler Bäume (Quelle: LÖSCH 2004).

2.4.7 Grundflächenzuwachs (GFZ)

Um das langfristige Wachstum bzw. die Produktivität der einzelnen Baumarten und topografische Unterschiede analysieren zu können, wurde für jede Baumart auf den verschiedenen Beständen der jährliche Grundflächenzuwachs (cm^2) in Brusthöhe errechnet. Durch den sogenannten Alterstrend werden die Jahrringe immer schmaler, je älter ein Baum wird (siehe 2.4.3) (SCHWEINGRUBER 1993). Obwohl die Jahrringbreite mit dem Alter abnimmt, ist der Grundflächenzuwachs bei älteren Bäumen größer als bei jungen. Der Grund dafür liegt in der Zunahme des Stammquerschnittes. Mit jedem

neuen Jahrring kommt es zu einer deutlichen Zunahme der Grundfläche. Ab einem gewissen Alter (ca. 50-100 Jahre) bleibt der Grundflächenzuwachs konstant und nimmt bei beginnender Seneszenz ab (NAGEL ET AL. 2012).

Anhand der aufgenommenen Brusthöhendurchmesser (BHD) und Mächtigkeiten der Borke wurde der Radius der einzelnen Individuen bestimmt. Für die Berechnung wird ein kreisförmiger Stammquerschnitt angenommen. Die jährlichen Zuwachsraten werden von den Radien der Reihe nach Richtung Markbereich subtrahiert und mittels der mathematischen Formel zur Kreisflächenberechnung $A = r^2 * \pi$ ermittelt. Um den Grundflächenzuwachs eines bestimmten Jahres zu erhalten, wird der gesamte Grundflächenzuwachs des Vorjahres bis zum Markbereich vom aktuellen gesamten Grundflächenzuwachs subtrahiert. Diese Berechnung wird Jahrring für Jahrring fortgesetzt, bis schlussendlich die letzten Jahrringe in Marknähe erreicht sind. Bei der Darstellung des Grundflächenzuwachses wurden alle 140 Bäume berücksichtigt.

2.4.8 Untersuchungen zur Holländischen Ulmenwelke

Ein Großteil der Ulmenbestände im Gößgraben wurde in den letzten Jahren von der Holländischen Ulmenwelke erfasst. Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden nur abgestorbene oder offensichtlich befallene Individuen beprobt. Mit den vorhandenen Informationen der ausgewerteten Jahrringdaten lässt sich die Entwicklung des Ulmensterbens im Untersuchungsgebiet untersuchen. Neben der Datierung der Sterbejahre erfolgte eine Analyse, in welcher Geschwindigkeit sich das Ulmensterben im Untersuchungsgebiet ausbreitete. Zusätzlich wurde ausgewertet, ob der Welkeprozess und somit das Sterben der einzelnen Individuen, nach der Infektion mit dem Schlauchpilz *Ophiostoma sp.*, in der aktuellen oder innerhalb mehrerer Vegetationsperioden erfolgte.

Die Datierung des Sterbejahres erfolgte anhand der Synchronisierungsparameter Gleichläufigkeit und t-Wert. Als Grundlage für die Datierung diente die Ahornchronologie (A611G1M), welche mit der Bestandmittelkurve des Bestandes 1 (U611G1M) kreuzdatiert wurde. Diese Bestandmittelkurve diente als weitere Grundlage zur Datierung der einzelnen Individuen. Konnte anhand der Ulmenchronologie keine Datierung durchgeführt werden, diente die Ahornchronologie bzw. die Chronologien einzelner, bereits datierter, Berg-Ulmen zur Bestimmung des Sterbejahres.

Eine geringe Anzahl der Ulmenchronologien konnte, aufgrund der Umweltbedingungen im Untersuchungsgebiet, nicht datiert werden. Konnte keine statistische Datierung der Ulmenchronologie durchgeführt werden, wurde eine optische Datierung vorgenommen. Der Wachstumsverlauf bzw. der Welkeprozess der Berg-Ulmen wurde anhand der jährlichen Grundflächenzuwächse untersucht.

3. Ergebnisse

3.1 Chronologiecharakteristika

Um die Bestände besser abgrenzen zu können, sind in **Tabelle 3** die statistischen Parameter angeführt. Diese Charakterisierung beinhaltet nur Bäume, welche einer Datierungskontrolle (**Tabelle 2**) unterzogen worden sind und im Folgenden für die Klimakorrelation verwendet wurden. Nach der Datierungskontrolle mit COFECHA liegt die Stichprobenanzahl zwischen 7 und 11 Individuen pro Art im jeweiligen Bestand. Bei den Berg-Ahorn-Bäumen wurde die Stichprobenanzahl mit der Datierungskontrolle stark reduziert, da zum Beispiel auskeilende Jahrringe oder besonders enge Jahrringe keine korrekte Datierung zugelassen haben. Auch bei den Berg-Ulmen erschwerten Jahrringreihen mit außerordentlich engen Jahrringen die Datierung. Hier folgten die ringporigen Gefäße oft direkt nacheinander, ohne einen Spätholzanteil erkennen zu lassen.

Das durchschnittliche Baumalter der Bestände liegt zwischen 80 und 114 Jahren, wobei anhand der Mittelwerte keine große Variation zwischen den Beständen festgestellt werden kann. Die älteren Buchen und Fichten eigneten sich besser für die Datierung, was ein höheres mittleres Baumalter bei den Beständen 3 und 4 zur Folge hat. Den gegenteiligen Effekt erfährt man bei den Beständen 1 und 2. Hier mussten viele ältere Berg-Ahorn- und Berg-Ulmen-Jahrringreihen bei der Datierungskontrolle entfernt werden, da sich nur die relativ jüngeren Reihen für die Datierung eigneten. Diese Bestände haben daher ein geringeres mittleres Baumalter. Eine detaillierte Altersstrukturanalyse aller untersuchten Bäume ist im Kapitel 3.4 zu finden.

Die mittlere Jahrringbreite variiert im Bestand 2 am stärksten und im Bestand 4 am geringsten. Bei den Berg-Ahorn-Bäumen im Bestand 2 schwankt die Jahrringbreite mehr als 50%. Die Fichten weisen im Bestand 1 und 4 die deutlich höheren durchschnittlichen Jahrringbreiten auf, als die anderen Baumarten. Die Buchen haben die geringste Schwankung der Jahrringbreite mit bis zu 25%. Im Bestand 3 erreichen die Buchen mit einer durchschnittlichen Jahrringbreite von 2,7 mm den höheren Wert als die Fichte, im Bestand 4 ist es umgekehrt.

Bei den Korrelationen der einzelnen Chronologien mit der Masterchronologie liegen nur einzelne Baumarten über dem Wert von 0,5. Der Wert gibt Auskunft über die Homogenität der Wachstumsmuster der unterschiedlichen Individuen. Höhere Werte (über 0,5) bedeuten, dass individuelle Wachstumsreaktionen kaum auftreten. Dies war nur bei Berg-Ulme (Bestand 2), Fichte (Bestand 3) und Buche (Bestand 4) der Fall. Aufgrund dessen wurden Individuen ab einer Korrelation von 0,4 mit Master in die Bestandeschronologie mit einbezogen. Bäume die stark abweichend reagierten ($<0,4$), schieden aus der Bestandeschronologie aus.

Der Einfluss des Vorjahres auf das Radialwachstum im Folgejahre gestaltet sich je nach Baumart und Bestand unterschiedlich. Die Autokorrelation ist bei den Fichten im Bestand 3 mit 0,72 und im Bestand 4 mit 0,71 am höchsten. Das Vorjahr hat bei den Fichten einen Einfluss auf das Wachstum im Folgejahr. Die Berg-Ahorn-Bäume verzeichnen im Bestand 1 ebenso eine positive Korrelation mit 0,64. Bei Berg-Ulme und Buche ist der Einfluss des Vorjahres in allen Beständen gering.

Der Einfluss der Umweltfaktoren auf das Baumwachstum wird mittels der mittleren Sensitivität beschrieben. Die Fichten verzeichnen mit 10-14% die geringste Empfindlichkeit gegenüber Umweltschwankungen. Die Laubbäume reagieren, mit bis zu 25% bei den Berg-Ahorn-Bäumen, sensitiver auf

die von Jahr-zu-Jahr wechselnden Umweltbedingungen. Generell ist die Sensitivität mit einem Höchstwert von 25% mäßig.

Alle vier Bestände weisen ein geringes Signal/Rausch-Verhältnis auf, welches den Grad des Klimasignals der einzelnen Bestände quantifiziert. Je höher das Verhältnis, desto stärker ist das Klimasignal in den einzelnen Jahrringchronologien. Der Schwellenwert des Bestandessignales (EPS) von 0,85 wird nur bei den Buchen im Bestand 3 erreicht. Aufgrund des hohen klimatologischen Informationsgehaltes würde sich diese Buchen-Chronologie für eine Klimarekonstruktion eignen. Die restlichen Chronologien haben EPS-Werte im Bereich von 0,69 bis 0,82.

Tabelle 3: Statistische Parameter der erstellten Chronologien (n = Anzahl der untersuchten Bäume, Alter = Alter in Jahre auf Brusthöhe (1,40 m), MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, MinA = Minimalalter in Brusthöhe, MaxA = Maximalalter in Brusthöhe, AK1 = Autokorrelation 1 aus Standardchronologie, MS = Mittlere Sensitivität aus Standardchronologie, SNR = Signal/Rausch-Verhältnis aus Residualchronologie, EPS = Bestandessignal aus Residualchronologie).

	n	Alter MW und SD	MinA (Jahre)	MaxA (Jahre)	Jahrringbreite (mm) MW und SD	Korrelation mit Master	AK1	MS (%)	SNR	EPS
Bestand 1										
Ahorn	8	97 ± 54	45	226	2,38 ± 0,90	0,477	0,642	25	2,878	0,742
Ulme	9	88 ± 21	58	129	2,16 ± 0,60	0,416	0,201	16	2,873	0,742
Fichte	10	102 ± 28	45	131	2,93 ± 0,48	0,480	0,349	12	4,633	0,822
Bestand 2										
Ahorn	7	83 ± 21	58	115	2,56 ± 1,35	0,428	0,442	17	3,200	0,762
Ulme	8	80 ± 28	64	149	2,00 ± 0,93	0,519	0,490	25	4,395	0,815
Bestand 3										
Buche	11	88 ± 18	62	122	2,66 ± 0,57	0,477	0,429	14	5,683	0,850
Fichte	10	114 ± 34	40	169	2,06 ± 0,92	0,570	0,718	14	4,411	0,815
Bestand 4										
Buche	7	112 ± 37	40	162	2,07 ± 0,54	0,564	0,354	22	3,710	0,788
Fichte	10	87 ± 23	53	116	2,86 ± 0,58	0,459	0,708	10	2,189	0,686

3.2 Bestandeschronologien

3.2.1 Synchronisierung der lokalen Bestandeschronologien

Die Jahrringbreitenchronologien der Bäume aller Bestände wurden mittels der Parameter Anzahl überlappender Jahrringe, Gleichläufigkeit, Signifikanzniveau und t-Wert untersucht und zu einander in Beziehung gesetzt. Die entsprechenden Werte sind in **Tabelle 4** angeführt.

Wie zu erwarten synchronisieren die Chronologien der gleichen Baumarten auf den unterschiedlichen Beständen hoch signifikant bis höchst signifikant miteinander. Die höchste Ähnlichkeitsbeziehung innerhalb der Baumarten ist unter den Buchen zu finden. Diese synchronisieren mit einem t-Wert von 7,8 ($p < 0,001$). Die Ähnlichkeitsbeziehung zwischen den drei verschiedenen Fichtenbeständen weist durchwegs t-Werte über 6,2 ($p < 0,001$) auf. Eine Ausnahme sind die Fichten im Bestand 1.

Tabelle 4: Ähnlichkeitsbeziehung zwischen der Gesamtjahrringbreite der Chronologien der verschiedenen Bestände (A=Ahorn, U= Ulme, B = Buche, F= Fichte, 1,2,3,4 = jeweiliger Bestand; Angabe der Werte in folgender Reihenfolge: Anzahl überlappender Jahrringe (Ovl) / Gleichläufigkeit (Gik) in % / Signifikanzniveau (* = p < 0,05, ** = p < 0,01, *** = p < 0,001) / t-Wert (nach Baille & Pilcher 1973).

	U1	F1	A2	U2	B3	F3	B4	F4
A1	106/60/* /2,9	124/55/ /3,7	115/63/** /6,2	106/61/** /3,1	122/67/***/6,5	124/58/* /4,3	106/66/***/5,1	124/61/** /3,4
U1		127/58/* /3,9	101/52/ /2,7	108/62/** /5,2	101/52/ /3,8	109/62/** /2,6	127/58/* /3,5	114/59/* /2,3
F1			115/55/ /2,8	131/53/ /5,6	122/56/ /3,6	131/63/** /6,2	131/55/ /4,1	116/68/***/7,2
A2				101/61/* /4,1	101/71/***/7,3	115/54/ /2,4	101/69/***/4,4	115/50/ /5,5
U2					122/66/***/6,4	142/55/ /2,6	96/66/***/3,8	108/60/* /3,0
B3						122/53/ /3,4	122/64/** /7,8	122/54/ /3,7
F3							115/64/** /3,4	116/72/***/6,8
B4								114/66/***/2,7

Hier ist die Korrelation hoch signifikant ($p < 0,01$). Die Berg-Ahorn-Bäume in den Beständen 1 und 2 korrelieren mit t-Werten von 6,2 ($p < 0,01$). Die Beziehung zwischen den Berg-Ulmen weist einen mäßig geringeren t-Wert auf, als bei den Berg-Ahorn-Bäumen.

Korreliert man die einzelnen Baumarten innerhalb der Bestände ist die statistische Signifikanz nur teilweise gegeben. Die Ähnlichkeitsbeziehung der Chronologien zwischen Berg-Ahorn, Berg-Ulme und Fichte innerhalb des Bestand 1 ist statistisch nicht relevant. Gleichläufigkeit als auch t-Wert sind hier niedrig. Lediglich die Gleichläufigkeit der Berg-Ulmen weist eine signifikante Korrelation ($p < 0,01$) mit Fichte und Berg-Ahorn auf. Im Bestand 2 ist die Ähnlichkeitsbeziehung zwischen der Ahorn- und Ulmenchronologien mit einem t-Wert von über 4 gegeben ($p < 0,01$). Die Buchen- und Fichtenchronologien im Bestand 3 weisen keine statistische signifikante Korrelation auf. Die Gleichläufigkeit der Buchen und Fichtenchronologien im Bestand 4 ist höchst signifikant ($p < 0,001$), der t-Wert hingegen ist mit 2,7 sehr niedrig.

Die Ähnlichkeitsbeziehung der einzelnen Arten unter den vier Beständen zueinander gestaltet sich unterschiedlich. So weisen die Berg-Ahorn-Bäume im Bestand 1 eine sehr hohe Korrelation mit den Buchen im Bestand 3 (t-Wert 6,5, $p < 0,001$) und Bestand 4 (t-Wert 5,1, $p < 0,001$) auf. Die Berg-Ulmen im selben Bestand hingegen haben keine statistische signifikante Korrelation mit anderen Baumarten. Die Fichte weist relevante t-Werte zu den Berg-Ulmen im Bestand 2 (5,6) und zur Buche im Bestand 4 (4,1) auf. Im Bestand 2 ist die Ähnlichkeitsbeziehung zwischen den Berg-Ahorn-Bäumen und den Buchen wiederum höchst signifikant ($p < 0,001$) (t-Werte von 7,3 und 4,4). Dies ist auch bei den Berg-Ulmen der Fall (t-Werte von 6,4 und 3,8). Außer der hohen Korrelation zwischen Berg-Ahorn/Buche und Berg-Ulme/Buche gibt es keine weitere statistische signifikante Korrelation der Buche im Bestand 3. Die Fichtenchronologie im Bestand 4 korreliert zu der Ahornreihe im Bestand 1 hoch signifikant ($p < 0,01$), weist aber einen geringen t-Wert auf (3,4).

3.2.2 Absolutchronologien (Rohwerte)

Die folgenden Diagramme beinhalten die graphische Darstellung der Absolutchronologien der jeweiligen Bestände. Absolutchronologien sind dabei die gemessenen Jahrringreihen der untersuchten Baumarten. Es handelt sich dabei um Rohwerte, aus denen der Alterstrend nicht herausgefiltert wurde. Aufgrund des Alterstrends und unterschiedlicher Wuchsbedingungen sind die Chronologien nur begrenzt miteinander vergleichbar. Um besser Aussagen über den Kurvenverlauf treffen zu können, sind in den Diagrammen zusätzlich Belegungskurven (n = Stichprobenanzahl der Bäume) mit inbegriffen. Generell zeigen die Jahrringbreiten der Baumarten in den vier Beständen einen gut erkennbaren Alterstrend.

Abbildung 11 zeigt die Ahorn-, Ulmen- und Fichtenchronologien mit jeweiliger Belegungskurve des Bestandes 1. Aufgrund der starken Schwankung der Kurven ist ein Alterstrend erst ab einer höheren Belegung erkennbar. Die Fichten bilden die breitesten Jahrringe aus. Die Berg-Ahorn und Berg-Ulmen weisen bis zu 25 % schmalere Jahrringbreiten, als die Fichte, auf. Die Ahornjahrringe sind um 5 % breiter, als die Ulmenjahrringe. Bei Berg-Ahorn und Berg-Ulme kommt es in mehreren Perioden zu erhöhten Jahrringbreiten. Auch die Fichte weist im Zeitraum von 1970-1990 ein erhöhtes Wachstum auf. Ab 1990 kommt es bei Fichte und Berg-Ahorn zu einer Wachstumsreduktion. Je höher die Belegung, desto synchroner verlaufen die Kurven. Die Fichtenchronologie reicht zeitlich weiter zurück, als die der Berg-Ahorn und Berg-Ulmen.

In **Abbildung 12** sind die Absolutchronologien der Berg-Ahorn und Berg-Ulmen mit der jeweiligen Belegungskurve vom Bestand 2 dargestellt. Der Alterstrend ist hier deutlich zu erkennen. Die Ulmenchronologie hat mit 10 Bäumen die höhere Belegung. Die Ulmenkurve erreicht die maximale Belegung ab dem Jahr 1948, die Ahornkurve ab 1958. Ab diesem Zeitpunkt verlaufen die Kurven relativ synchron. Die Breite der Jahrringe variiert zwischen den beiden Arten. Bei geringerer Belegung zeigen die Berg-Ulmen ein deutlich besseres Wachstum. Die Jahrringbreite der Berg-Ahorn ist ab 1970 geringfügig höher, als die der Berg-Ulmen. Die Ulmenchronologie reicht um 14 Jahre weiter zurück, als die Ahornchronologie.

Die Absolutchronologien der Buchen und Fichten des dritten Bestandes sind in **Abbildung 13** dargestellt. Je nach Belegung ist der Alterstrend gut zu erkennen. Der Verlauf der beiden Kurven ist relativ synchron, wobei es ebenso recht unterschiedliche Wachstumsphasen gibt. Mit Zunahme der Belegung an Bäumen, verzeichnet die Buche um 10 % höhere Jahrringbreiten als die Fichte. Größere Wachstumseinbrüche im gleichen Zeitraum sind bei beiden Baumarten nicht zu erkennen. Die Fichtenreihe verzeichnet eine Phase guten Wachstums von 1885 bis 1920. Bei Buche und Fichte kommt es zu einer Wachstumsreduktion in den Jahren 1948, 1976, 1922 und 2011. Die Fichtenchronologie beginnt 1847 und geht zeitlich deutlich weiter zurück als die Buchenchronologie.

Abschließend stellt **Abbildung 14** die Absolutchronologien der Buchen und Fichten des Bestandes 4 dar. Ein Alterstrend ist bei beiden Chronologien zu erkennen. Optisch verlaufen beide Kurven synchroner als im Bestand 3. Die Fichte hat, im Bestand 4, um bis zu 35% höhere Jahrringbreiten als die Buche. Im Wachstumsverlauf zeigen beiden Kurven parallele Muster, außer dass die Fichte im Zeitraum von 1960-1975 ein erhöhtes Wachstum aufweisen kann. Dort unterscheidet sie sich klar von der Buche, welche in diesem Zeitraum und in den Jahren davor eine Wachstumsreduktion erlebte. Die Buchenchronologie reicht deutlich weiter zurück, als die Chronologie der Fichten.

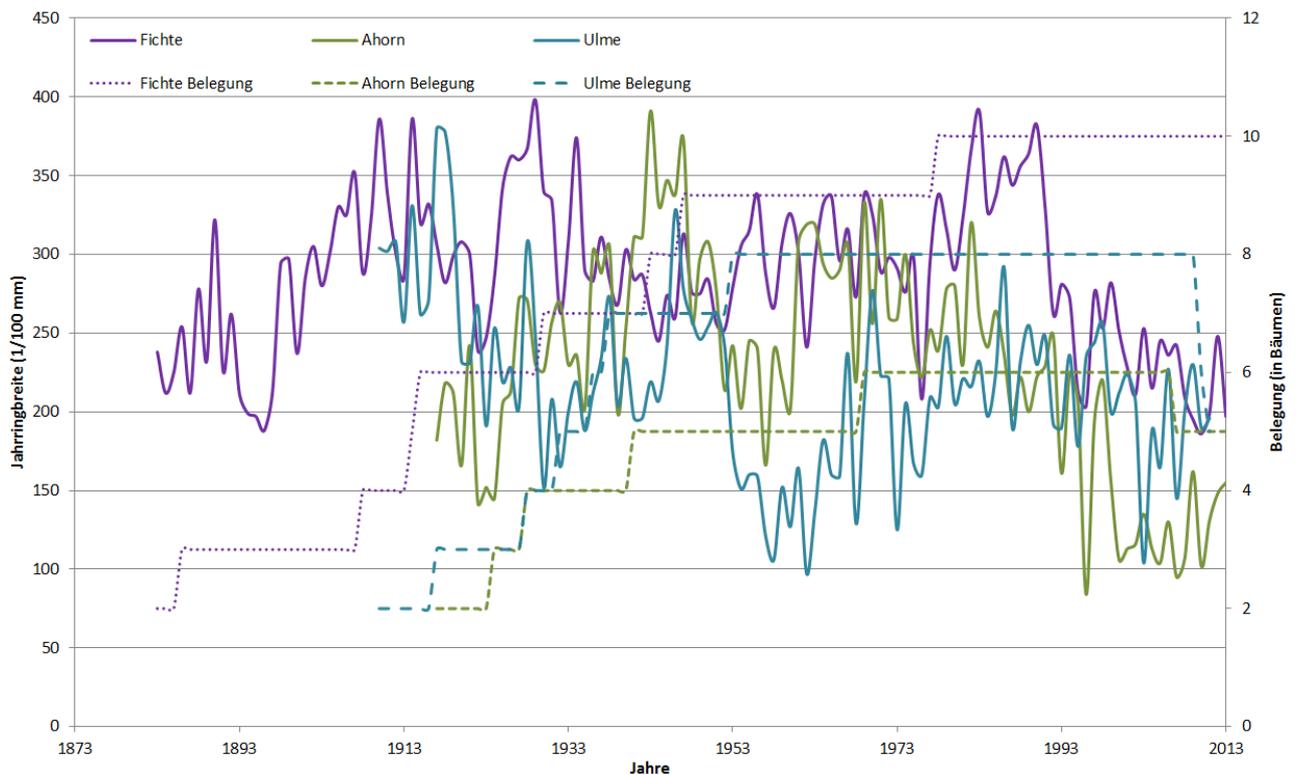


Abbildung 11: Absolutchronologien (=Rohwerte) der Jahrringbreiten mit jeweiliger Belegungskurve (=Anzahl der Bäume) des ersten Bestandes.

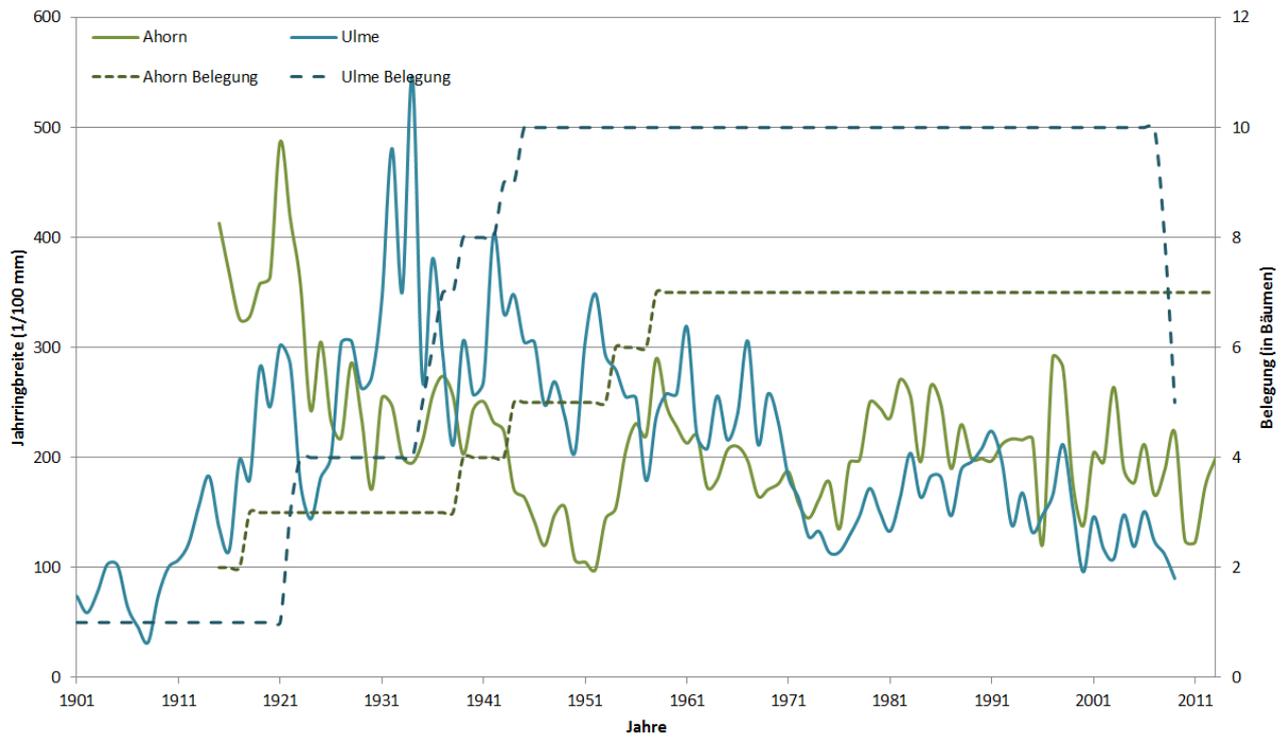


Abbildung 12: Absolute Jahrringbreiten mit jeweiliger Belegungskurve des zweiten Bestandes.

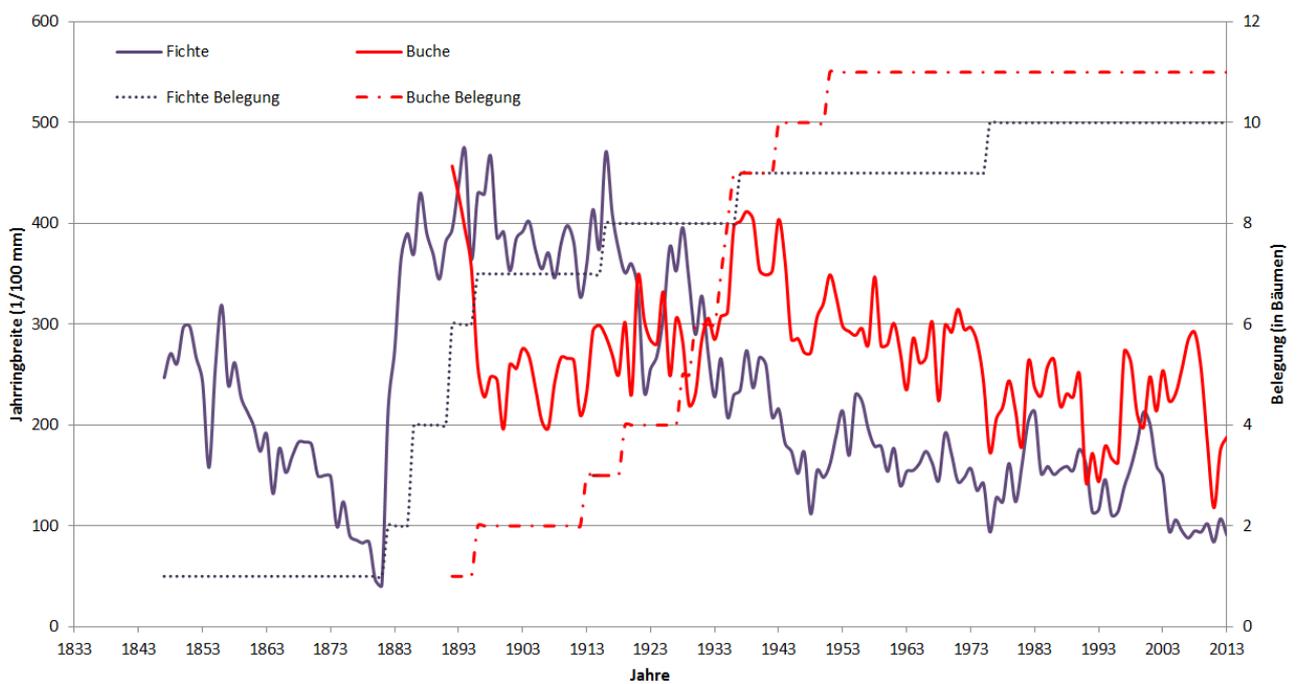


Abbildung 13: Absolute Jahrringbreiten mit jeweiliger Belegungskurve des dritten Bestandes.

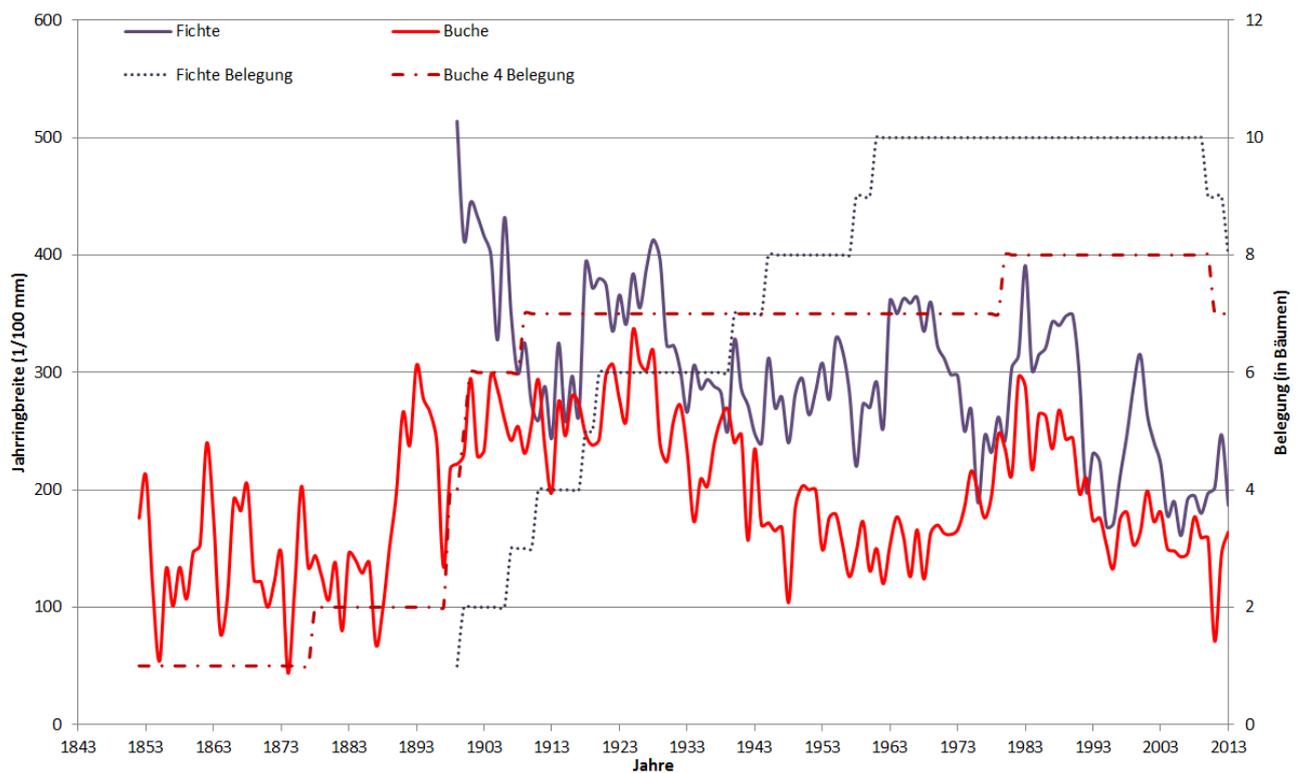


Abbildung 14: Absolute Jahringbreiten mit jeweiliger Belegungskurve des vierten Bestandes.

3.2.3 Indexierte Chronologien

Indexierte Chronologien sind besonders geeignet, Aussagen über klimatisch bedingte Wachstumsschwankungen zu treffen. In den Diagrammen ist die gemittelte einfache Standardabweichung der Chronologien dargestellt. Die einzelnen Chronologien sind mit mindestens 4 Bäumen belegt.

Die indexierten Fichtenchronologien der drei Fichtenbestände (**Abbildung 15**) verlaufen weitgehend synchron. Starke Wachstumsreduktionen sind in den Jahren 1922, 1948, 1976, 1992 und 2004 zu verzeichnen. Im Jahr 1976 fällt der Index bei den Fichten im Bestand 3 von über 1 auf 0,65. Die zwei anderen Fichtenstandorte zeigen einen analogen Wachstumseinbruch. Im Jahr 1992 hatte die Fichte die größte Wachstumsreduktion. Die Index-Werte sinken bis auf 0,62 (Fichte Bestand 4). Stark positives Jahringbreitenwachstum zeigen die Fichten gemeinsam in den Jahren 1934, 1955, 1982 und 1999. Die Fichten im ersten Bestand erreichen einen Wert von 1,3 im Jahr 1934. Die Fichten im dritten Bestand 1976 einen Wert knapp unter 1,3 und 1999 einen Wert von über 1,3. In den Perioden 1924-1929, 1980-1991 und 1996-2001 gibt es, bis auf wenig Ausnahmen, auf allen Fichtenbeständen positives Wachstum. Längere Wachstumseinbrüche sind in den Zeiträumen von 1941-1955, 1970-1980 und 1991-1996 festzustellen.

Abbildung 16 zeigt die indexierten Berg-Ahornchronologien von den Beständen 1 und 2. Die beiden Kurven verlaufen ab 1965 relativ synchron, davor gibt es auch asynchrone Wachstumsphasen. Hier ist vor allem das Jahr 1950 sehr markant. Die Berg-Ahorn-Bäume im Bestand 1 verzeichnen hier positives Wachstum (1,15), wobei die selbe Art im Bestand 2 stark verringertes Wachstum verzeichnet (0,63). Vor allem ab den 1990er Jahren gibt es viele synchrone Wachstumseinbrüche.

Hier sind die Jahre 1996, 1999, 2007 und 2010 markant. Vor diesem Zeitraum ist das Jahr 1976 zu erwähnen. Gemeinsame Wachstumsschübe der Berg-Ahorn-Bäume in den unterschiedlichen Beständen gibt es in den Jahre 1979, 1997 und 2009. Ein außergewöhnlicher Wachstumsschub ist 1997 festzustellen. In diesem Jahr springt der Index-Wert von 0,54 (Wert des Vorjahres) auf 1,59. Im Jahr davor gibt es bei beiden Beständen einen markanten Wachstumseinbruch. Die Index-Werte sinken 1996 zum Beispiel im ersten Bestand von 1,26 (Wert des Vorjahres) auf 0,48. Längere Perioden überdurchschnittlichen oder unterdurchschnittlichen Wachstums sind nicht zu erkennen. Auffallend ist aber die zunehmende Schwankung der Jahrringbreiten ab dem Jahr 1995.

Die indexierten Ulmenchronologien vom Bestand 1 und 2 zeigt **Abbildung 17**. Beide Chronologien verlaufen ab 1955 relativ synchron. Davor kommt es zu gegensätzlichem Wachstum, wobei das Jahr 1952 besonders markant ist. Hier verzeichnen die Berg-Ulmen im Bestand 1 einen Wachstumseinbruch (0,63), die Berg-Ulmen im Bestand 2 jedoch stark positives Wachstum (1,3). Synchroner Wachstumseinbrüche gibt es im Jahr 1962, 1968, 1973 und 2003. Besonders die Jahre 1962 und 1968 mit Index-Werten von 0,63 bzw. 0,74 heben sich hervor. Den extremsten Wachstumseinbruch haben die Berg-Ulmen im Bestand 2. Die Index-Werte sinken von 1,39 (Wert des Vorjahres) auf 0,63 im Jahr 1962. Markant sind die Wachstumseinbrüche im Bestand 1 in den Jahren 1958 (0,62) und 2003 (0,55). In den Jahren 1967 und 1998 erfahren die Berg-Ulmen synchrone Wachstumsschübe. Die Schwankung der Jahrringbreiten ist bei beiden Beständen zwischen 1950 und 1970 höher, verflacht die folgenden 25 Jahre und nimmt aber 1995 wieder zu.

Abbildung 18 zeigt die indexierten Buchenchronologien vom Bestand 3 und 4, welche, mit Ausnahmen, relativ synchron verlaufen. Interessant ist der asynchrone Verlauf der Buchenchronologien im Jahre 1991. Die Buchen im Bestand 4 verzeichnen in diesem Jahr mit einem Index-Wert von 1,24 positives Wachstum, die Buchen im Bestand 3 jedoch, mit einem Wert von 0,57, stark verringertes Wachstum. Deutlich gemeinsame Ausschläge abseits der einfachen Standardabweichung beider Buchenbestände gibt es 1968, 1999 und 2010, wobei das Jahr 2010 mit Werten von bis zu 0,54 besonders auffällt. Gemeinsame positive Ausschläge abseits der einfachen Standardabweichung gibt es 1969 und 1997. Die Buchen im Bestand 4 erleben in mehreren Jahren extreme Wachstumseinbrüche: Im Jahr 1934 von 1,29 (Wert des Vorjahres) auf 0,51, 1961 von 1,39 auf 0,63 und 1998 von 1,43 auf 0,74. In der Periode 1916-1922 verzeichnen die Buchen im Bestand 4 mehrere hintereinanderfolgende Wachstumsschübe. Die generelle Schwankung der Jahrringbreiten bei beiden Chronologien ist relativ ausgeglichen, wobei eine leichte Zunahme der Schwankungen ab 1990 zu erkennen ist.

In **Tabelle 5** sind die extremen Wuchsjahre der einzelnen Baumchronologien und Bestände zusammengefasst. Zur Berechnung wurden die Werte der indexierten Chronologien (Jahrringbreiten) verwendet, die über 100% (+/-) oder 200% (+/--) der Standardabweichung vom langjährigen Mittel (1) positiv (+) oder negativ (-) abweichen. Die Baumchronologien beinhalten alle Bäume der jeweiligen Art auf den verschiedenen Beständen. Bei den Extremjahren in den einzelnen Beständen, wurden die jeweiligen Baumarten zusammengefasst.

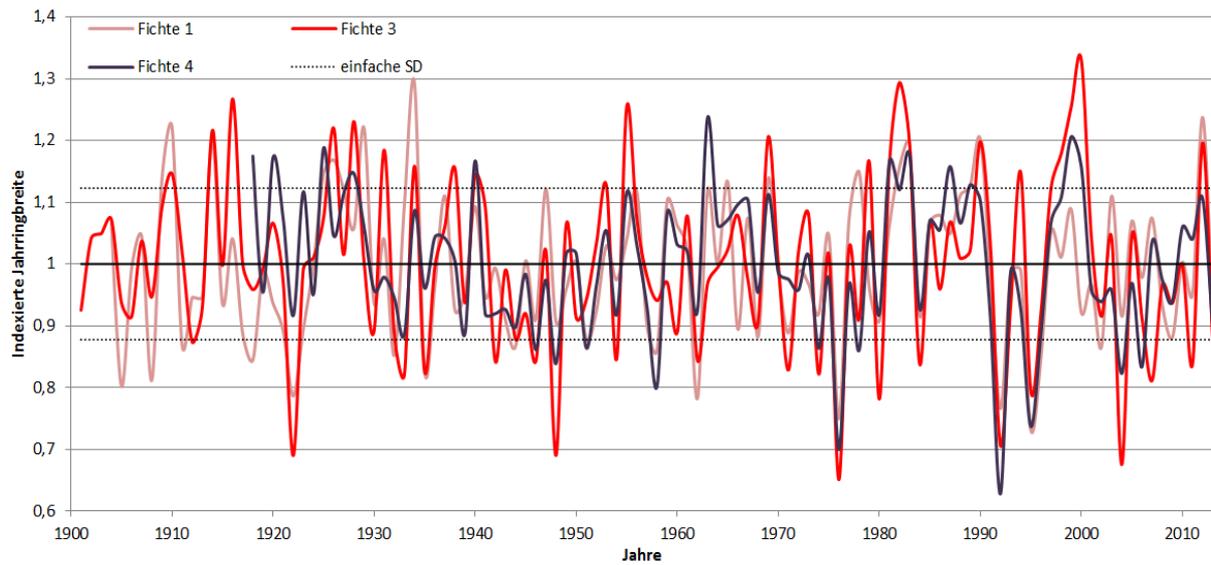


Abbildung 15: Indexierte Fichtenchronologien der Jahrringbreiten aller Fichtenbestände (Fichte 1 = Chronologie Bestand 1, Fichte 3 = Chronologie Bestand 3, Fichte 4 = Chronologie Bestand 4, SD = Standardabweichung).

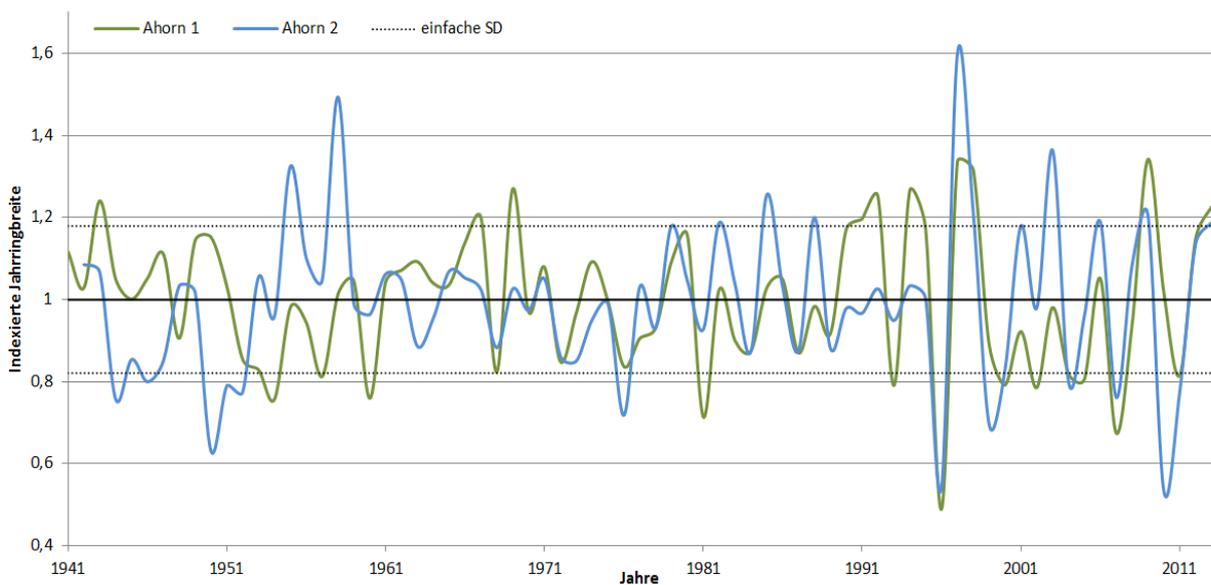


Abbildung 16: Indexierte Chronologien der Jahrringbreiten aller Berg-Ahornbestände (Ahorn 1 = Chronologie Bestand 1, Ahorn 2 = Chronologie Bestand 2, SD = Standardabweichung).

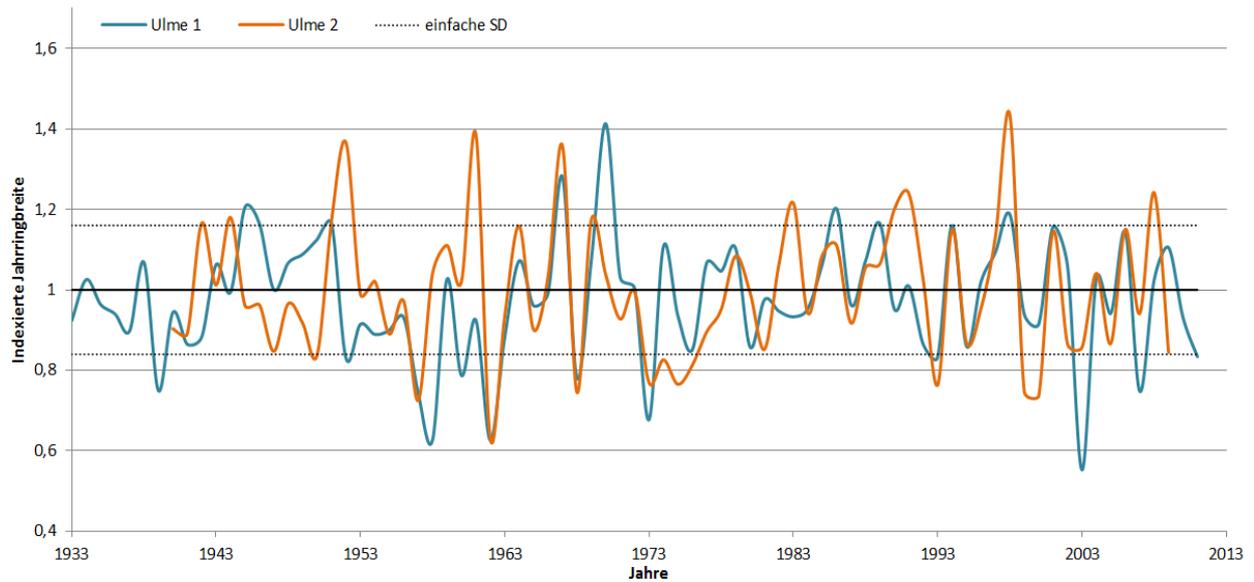


Abbildung 17: Indexierte Ulmenchronologien der Jahringbreiten aller Ulmenbestände (Ulme 1 = Chronologie Bestand 1, Ulme 2 = Chronologie Bestand 2, SD = Standardabweichung).

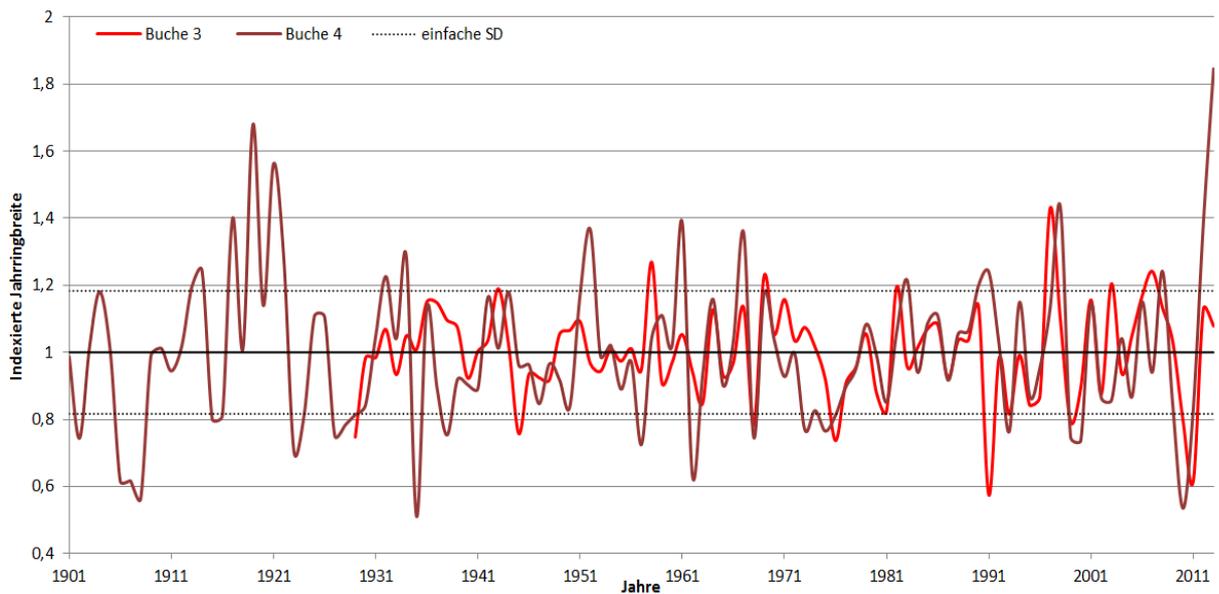


Abbildung 18: Indexierte Buchenchronologien der Jahringbreiten aller Buchenbestände (Buche 3 = Chronologie Bestand 3, Buche 4 = Chronologie Bestand 4, SD = Standardabweichung).

Tabelle 5: Extremjahre der indexierten Fichten-, Ahorn-, Ulmen- und Buchenchronologien, die über 100% (+/-) bzw. 200% (++)/-) der Standardabweichung vom langjährigen Mittel (1) positiv (+) oder negativ (-) abweichen (B1= Bestand 1, B2 = Bestand 2, B3 = Bestand 3, B4 = Bestand 4).

Jahr	Fichte	Ahorn	Ulme	Buche	B1	B2	B3	B4
1909	+			+				
1910	+			+				
1912	-			+				
1914	+			+				
1917				++				
1919				++				+
1921				++				+
1923				--				--
1924				--				--
1932	-			+				+
1934	+			+			+	+
1948	-						-	
1951			+	+				
1955	+	+	-				+	
1958	-	+		+		+		
1959			+		+			+
1961			+	+		+		+
1962	-		--	-		-		-
1967			++	+	++	+		+
1968	-	-	--	-	--	-	-	-
1969	+			+	+		++	
1973			--		-	-		
1976	--	-			-		--	-
1979	+	+	+	+		+	+	+
1981	+	-						
1982	+			+			++	
1983	+							+
1984	-	-				-	-	-
1991	-						--	
1992	--						-	--
1993		-	--	-	-	-		-
1995	-		-		-		-	-
1996		--			--	-		
1997	+	++	+	+	++	++	++	+
1998	+	+	++	+	++	++	+	++
1999	+	--	-	-	-	--		
2000	+	-	-	-		-		
2001			+			+		
2002	-	-		-	-		--	-
2003		+	--					
2004	--		+				--	
2006		+	+		+	+		
2010		-		--		--	-	-
2011		-	-	-	-	-	--	
2012	++	+				+	+	+
2013		+		++				

3.3 Klima-Wachstums-Beziehung („response function“)

Die gewonnenen Ergebnisse der Klima-Wachstums-Beziehung sind in den **Tabellen 6-13** zusammengetragen. In Tabelle 6-8 sind alle signifikanten Korrelationen ($p < 0,05$) angeführt. In Tabelle 8, 9, 12 und 13 werden die Spearman-Korrelationskoeffizienten angegeben. Stark positive sowie negative Korrelationen sind hervorgehoben. Das Signifikanzniveau ist zusätzlich angeführt (* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$). Im Anhang befinden sich die Ergebnisse der Klimakorrelation des Statistikprogrammes. Korrelationen ohne weiteren Zusammenhang, speziell in den Wintermonaten, werden nicht näher erläutert.

Die Ergebnisse der Spearman-Korrelation der Jahrringbreiten der Bestandeschronologien mit Monatsmitteltemperaturen und monatlichen Niederschlagssummen der Klimastation Malta für den Zeitraum 1984- 2013 sind in **Tabelle 6** dargestellt. Die Temperatur im Juli des Vorjahres korreliert deutlich negativ mit dem Jahrringbreitenwachstum im Folgejahr. Bis auf die Fichten im Bestand 1 und die Buchen im Bestand 3 zeigen alle Chronologien eine signifikante Korrelation. In der aktuellen Wachstumsperiode korreliert die Apriltemperatur bei den meisten Laubhölzern negativ. Bei den Fichten im Bestand 3 ist hier eine positive Korrelation mit dem Monat März zu verzeichnen. Die Fichten im Bestand 4 reagieren mit reduziertem Wachstum, wenn die Temperatur im Juli hoch ist. Bei der Korrelation der einzelnen Chronologien mit den Niederschlagsdaten erfolgen meist positive Wachstumsreaktionen. Die Berg-Ahorn im Bestand 1 und Buchen im Bestand 3 zeigen positives Wachstum bei höheren Niederschlägen im Juli des Vorjahres. Auch bei höheren Herbst-Niederschlägen im Vorjahr zeigt sich ein gleiches Bild. Die Fichten reagieren negativ auf höhere Niederschläge im Dezember. Im aktuellen Jahr reagieren alle Fichten signifikant positiv auf Niederschläge im Juli.

In **Tabelle 7** sind die Ergebnisse der Spearman-Korrelation mit Daten der Klimastation Mallnitz für den Zeitraum von 1981-2013 angeführt. Auch hier führen höhere Temperaturen im Juli des Vorjahres zu einer deutlichen Wachstumsreduktion im Folgejahr. Diesen Effekt zeigen alle Chronologien bis auf die der Fichten im Bestand 1 und 4. Bei den Buchen im Bestand 3 spielt zusätzlich die Augustmitteltemperatur des Vorjahres eine Rolle. Der Einfluss der Temperatur des aktuellen Jahres zeigt deutliche Parallelen zu Tabelle 6. Alle Laubhölzer reagieren auf höhere Monatsmittel im April mit geringeren Zuwächsen. Die Fichten im Bestand 3 zeigen eine positive Wachstumsreaktion auf die Märztemperatur. Auffällig ist der positive Einfluss der Sommertemperatur des aktuellen Jahres bei den Berg-Ahorn-Bäumen. Die Berg-Ulmen im Bestand 1 korrelieren negativ mit der Temperatur im November. Die Korrelation der Jahrringbreiten mit den Niederschlagsdaten zeigt sich in Tabelle 7 differenzierter als in Tabelle 6. Mit den Juli-Niederschlägen des Vorjahres korrelieren hier nur mehr die Berg-Ahorn-Bäume im Bestand 1 und die Berg-Ulmen im Bestand 2. Im aktuellen Jahr korrelieren die Berg-Ahorn-Bäume im Bestand 1 mit dem Niederschlag im Juni signifikant positiv, die Buchen im Bestand 3 hingegen mit dem Niederschlag im März negativ.

Tabelle 9: Spearman-Korrelationskoeffizient der ermittelten Klima-Wachstums-Beziehung der Jahrringbreiten mit Temperaturmittelwerten und Niederschlagssummen der **Klimastation Mallnitz für den Zeitraum 1981-2013**.

Baumart und Bestand	Korrelationskoeffizient (Spearman)									
	Temperatur				Niederschlag					
	Herbst	Vorjahr	Winter	Frühjahr	Sommer	Herbst	Vorjahr	Winter	Frühjahr	Sommer
Fichte 1	0,26	0,01	0,13	0,11	-0,05	0,18	-0,17	0,15		
Fichte 3	0,1	-0,02	0,19	0,04	0,01	0,07	-0,16	-0,04		
Fichte 4	0,24	0,14	0,23	-0,135	-0,27	0,22	0	0,16		
Ahorn 1	-0,18	0,02	-0,11	0,50**	0,40*	-0,07	0,01	-0,02		
Ahorn 2	-0,04	0,05	-0,08	0,33	0,41*	-0,02	-0,1	-0,07		
Ulme 1	-0,47*	0,03	-0,18	-0,17	-0,03	0,09	0,28	-0,17		
Ulme 2	-0,34	0,14	-0,29	0,29	0,02	0,18	-0,09	-0,15		
Buche 3	-0,01	0,14	0	0,14	0,06	-0,08	-0,19	0		
Buche 4	-0,23	0,15	-0,23	0,25	0,05	0,1	-0,04	-0,17		

Im Vergleich der Korrelationen der Jahrringbreiten der Bestandeschronologien mit den Daten der zwei Klimastationen Malta und Mallnitz kommt es, vor allem beim Einfluss der Temperatur, zu Gemeinsamkeiten. Beide Datensätze zeigen signifikant negative Korrelationen mit der Julitemperatur des Vorjahres und der Apriltemperatur des aktuellen Jahres an. Der Einfluss der Sommertemperatur auf das Wachstum der Berg-Ahorn kommt bei der Verwendung der Klimadaten von Mallnitz deutlich zum Vorschein. Die signifikanten Korrelationen mit den Niederschlagswerten der Station Mallnitz sind deutlich geringer, als die der Klimastation Malta. Geringfügige Parallelen gibt es hier nur bei den Niederschlagswerten im Juli des Vorjahres. Die Berg-Ahorn-Bäume im Bestand 1 reagieren auf Juniniederschläge positiv, die Buchen im Bestand 3 auf März-niederschläge negativ.

Die **Tabellen 8 und 9** zeigen den Spearman-Korrelationskoeffizient der berechneten Klima-Wachstumsbeziehungen für den Herbst des Vorjahres, Winter, Frühling und Sommer. Bei den Korrelationen für den Zeitraum 1984-2013 mit den Daten der Klimastation Malta kommen die vorherigen signifikanten Monatergebnisse bei der Temperatur auf jahreszeitlicher bzw. wachstumsperiodischer Ebene nicht mehr zum Ausdruck. Signifikant korrelieren nur die Berg-Ahorn-Bäume im Bestand 1 mit Niederschlägen im Herbst des Vorjahres und die Fichten im Bestand 3 mit Niederschlägen im Sommer. Die Korrelation mit Daten der Klimastation Mallnitz zeigt einen signifikanten Einfluss der Herbsttemperatur des Vorjahres auf das Wachstum der Berg-Ulmen im Bestand 1. Einen hohen Korrelationskoeffizienten hat der Einfluss der Sommertemperatur auf das Wachstum der Berg-Ahorn im Bestand 1. Die Herbstniederschläge des Vorjahres haben einen signifikant positiven Einfluss auf das Wachstum im Folgejahr bei den Berg-Ahorn-Bäumen.

Variabilität der Klimafaktoren von 1954 bis 2013

Im Vergleich der Korrelationen in den Zeiträumen von 1954-1984 (**Tabelle 10**) und 1969-1998 (**Tabelle 11**) gibt es meist heterogene Veränderungen. Parallelen lassen sich bei der Juli- und Augusttemperatur des Vorjahres erkennen. In diesen Monaten sind die Korrelationen in beiden Zeiträumen negativ. Deutliche Parallelen zeigt der Einfluss der Oktobertemperatur des Vorjahres bei den Berg-Ulmen und Buchen (positive Korrelation). Die restlichen Korrelationen beider Zeiträume sind recht unterschiedlich. So zeigen die Berg-Ahorn-Bäume im früheren Zeitraum (1954-1984) eine positive Wachstumsreaktion auf die Junitemperatur. Das Wachstum im Folgejahr der Berg-Ulmen im Bestand 2 und Buchen im Bestand 4 korreliert signifikant positiv mit der Temperatur des Vorjahres im Oktober. Im aktuellen Jahr reagieren die Fichten auf tiefe Februartemperaturen negativ, die Buchen auf hohe Märztemperaturen positiv. Bei der Korrelation mit den Niederschlagswerten ergibt sich ein sehr dif-

ferenziertes Bild. Die Berg-Ulmen im Bestand 2 und die Buchen im Bestand 4 reagieren hier mit positivem Wachstum auf höhere Niederschläge im August des Vorjahres. Bei der Korrelation mit den Niederschlagswerten im aktuellen Jahr ergibt sich nur bei den Buchen eine schlüssige Korrelation. Im Zeitfenster 1969-1998 reagieren die Fichten auf die Septembertemperatur positiv. Bei der Korrelation mit den Niederschlagswerten reagiert der Berg-Ahorn negativ auf hohe Februar-Temperaturen. Die Berg-Ulmen im Bestand 1 und die Buchen im Bestand 3 zeigen eine positive Korrelation mit der Augusttemperatur.

Betrachtet man den Zeitraum 1969-1998 (**Tabelle 11**) und 1984-2013 (**Tabelle 6**) gibt es Parallelen mit der Julitemperatur des Vorjahres, wobei die Anzahl der signifikanten Korrelationen im Zeitfenster 1984-2013 deutlich höher ist. Bei den Korrelationen mit den Temperaturwerten ergibt sich kein weiterer Zusammenhang zwischen den beiden Zeitfenstern. Ebenso zeigt sich bei den Korrelationen mit den Niederschlagswerten ein heterogenes Muster. Die auffälligen positiven Zusammenhänge mit dem Novemberrniederschlag im Vorjahr im Zeitfenster 1984-2013 kommen im früheren Zeitfenster nur durch eine signifikante Korrelation (Berg-Ahorn im Bestand 1) zum Ausdruck. Der Einfluss des Juliniederschlags des Vorjahrs zeigt im Zeitfenster 1969-1998 keinen signifikanten Zusammenhang. Die deutlichen positiven Korrelationen der Fichten mit dem Juliniederschlag des aktuellen Jahres zeigen sich in den früheren Zeitfenstern ebenfalls nicht.

Tabelle 10: Spearman-Korrelation der Jahrringbreiten der indexierten Chronologien mit Temperaturmittelwerten und Niederschlagssummen der **Klimastation Malta für den Zeitraum 1954-1983.**

Baumart und Bestand	Temperatur												Niederschlag																						
	Vorjahr						Aktuelles Jahr						Vorjahr						Aktuelles Jahr																
	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S				
Fichte 1																																			
Fichte 3																																			
Fichte 4																																			
Ahorn 1					+	-																													
Ahorn 2					+	-																													
Ulme 1																																			
Ulme 2																																			
Buche 3																																			
Buche 4																																			

Tabelle 11: Spearman-Korrelation der Jahrringbreiten der indexierten Chronologien mit Temperaturmittelwerten und Niederschlagssummen **der Klimastation Malta für den Zeitraum 1969-1998.**

Baumart und Bestand	Temperatur												Niederschlag																						
	Vorjahr						Aktuelles Jahr						Vorjahr						Aktuelles Jahr																
	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S				
Fichte 1																																			
Fichte 3																																			
Fichte 4																																			
Ahorn 1																																			
Ahorn 2																																			
Ulme 1																																			
Ulme 2																																			
Buche 3																																			
Buche 4																																			

Die **Tabellen 12 und 13** zeigen den Spearman-Korrelationskoeffizient der berechneten Klima-Wachstumsbeziehungen für den Herbst des Vorjahres, Winter, Frühling und Sommer für die Zeitfenster 1954-1984 und 1969-1988. Die Korrelationskoeffizienten im früheren Zeitfenster sind, sowohl bei der Temperatur- als auch bei den Niederschlagswerten, nicht signifikant. Die zuvor signifikanten negativen Zusammenhänge im Wachstum mit der Juli- und Augusttemperatur des Vorjahres kommen auf jahreszeitlicher Ebene nicht zum Ausdruck. Anders gestaltet es sich in der darauf folgenden Periode. Die positiven Korrelationen des Herbstniederschlags im Vorjahr bei den Berg-Ahorn-Bäumen machen sich hier deutlich bemerkbar. Ebenso kommt der negative Einfluss der Frühjahrsniederschläge bei den Berg-Ahorn-Bäumen (Bestand 1) zum Ausdruck. Auch das aktuellste Zeitfenster 1984-2013 (**Tabelle 8**) zeigt eine positive Korrelation des Herbstniederschlags im Bestand 1. Die Korrelation im Bestand 2 ist nur knapp nicht signifikant. Eindeutiger zeigt sich in der Periode 1984-2013 der positive Zusammenhang der Sommerniederschläge mit dem Wachstum der Fichten.

Tabelle 12: Spearman-Korrelationskoeffizient der ermittelten Klima-Wachstums-Beziehung der Jahrringbreiten mit Temperaturmittelwerten und Niederschlagssummen der **Klimastation Malta für den Zeitraum 1954-1983**.

Baumart und Bestand		Korrelationskoeffizient (Spearman)							
		Temperatur				Niederschlag			
		Herbst	Vorjahr	Winter	Frühjahr	Sommer	Herbst	Vorjahr	Winter
Fichte	1	0,16	-0,23	0,15	0,05	0,01	0,27	0,05	-0,34
Fichte	3	-0,11	-0,25	0,21	0,1	0	0,1	0,08	-0,19
Fichte	4	0,06	-0,34	0,35	0,26	0,21	0,06	-0,08	0,27
Ahorn	1	0,08	-0,25	-0,05	0,08	0,21	0,03	-0,35	0
Ahorn	2	0,07	-0,15	-0,23	-0,21	0,06	0,29	-0,16	0,01
Ulme	1	0,21	-0,17	0,21	0,12	0,13	-0,1	0,16	-0,07
Ulme	2	0,35	-0,26	0,26	0,23	0,07	0,17	-0,29	-0,08
Buche	3	0,07	-0,28	-0,14	0,16	-0,3	-0,08	-0,17	0,06
Buche	4	0,35	-0,26	0,26	0,23	0,07	0,17	-0,29	-0,08

Tabelle 13: Spearman-Korrelationskoeffizient der ermittelten Klima-Wachstums-Beziehung der Jahrringbreiten mit Temperaturmittelwerten und Niederschlagssummen der **Klimastation Malta für den Zeitraum 1969-1998**.

Baumart und Bestand		Korrelationskoeffizient (Spearman)							
		Temperatur				Niederschlag			
		Herbst	Vorjahr	Winter	Frühjahr	Sommer	Herbst	Vorjahr	Winter
Fichte	1	0,23	-0,06	0,28	-0,12	-0,02	0,23	0,04	-0,06
Fichte	3	0,03	-0,05	0,24	0,12	-0,08	0,18	-0,03	0,21
Fichte	4	0,22	-0,03	0,20	0,07	-0,08	0,18	0,10	0,20
Ahorn	1	-0,01	0,29	0,11	0,10	0,38*	-0,24	-0,42*	0,13
Ahorn	2	0,36	0,31	0,17	0,18	0,37*	-0,06	-0,32	0,15
Ulme	1	-0,03	0,07	0,13	-0,17	0,01	-0,18	0,04	0,20
Ulme	2	0,15	-0,06	0,21	0,16	0,18	-0,03	-0,25	0,14
Buche	3	-0,05	-0,33	-0,04	-0,04	-0,19	0,03	-0,09	0,21
Buche	4	0,15	-0,06	0,21	0,16	0,18	-0,03	-0,25	0,14

3.4 Altersstrukturanalysen der dominanten Baumarten

Folgend werden die Ergebnisse der Altersstrukturanalyse dargestellt. Die Altersstrukturanalyse beinhaltet 140 Bäume, somit werden alle beprobten Bäume für diese Analyse herangezogen. Nachstehend handelt es sich immer um das Alter der beprobten und dominanten Bäume in Brusthöhe.

In **Tabelle 14** sind die durchschnittlichen-, minimalen- und maximalen Baumalter der jeweiligen Arten in den verschiedenen Beständen angeführt. Die älteste Baumart im Untersuchungsgebiet ist ein Berg-Ahorn. Im zweiten Bestand erreicht diese Baumart ein beachtliches Maximalalter von 552 Jahren. Hier ist ebenso das durchschnittliche Baumalter, nämlich 155 Jahre bei 28 beprobten Berg-Ahorn-Bäumen (**Tabelle 1**) am höchsten. Im ersten Bestand erreicht der Berg-Ahorn ein Maximalalter von 355 Jahren. Die jüngsten beprobten Berg-Ahorn-Bäume sind 45 bzw. 58 Jahre alt. Die zweitälteste Baumart im Untersuchungsgebiet ist die Berg-Ulme. Auf beiden Berg-Ahorn-Beständen wird ein Maximalalter von mehr als 300 Jahren erreicht. Das durchschnittliche Alter der Berg-Ulmen ist in beiden Beständen sehr ausgeglichen (112 bzw. 113 Jahre). Mit einem Alter von 33 Jahren ist eine Berg-Ulme im Bestand 2 der jüngste beprobte Laubbaum im Untersuchungsgebiet. Die Buche erreicht im Bestand 4 ein maximales Alter von 339 Jahren, im Bestand 3 ist dieses mit 217 Jahren wesentlich geringer. Hier ist auch ein Unterschied im durchschnittlichen Alter zwischen den Beständen bemerkbar. Im Bestand 4 fällt das durchschnittliche Alter der Buchen um 30 Jahre höher aus. Im Vergleich zu den anderen Baumarten weisen die Fichten in diesem Bestand das deutlich geringste Minimal- und Maximalalter auf. Ebenso ist hier das durchschnittliche Alter der Fichten am niedrigsten. Sie erreicht jedoch am dritten Bestand ein Maximalalter von 248 Jahren, wo mit 147 Jahren das durchschnittliche Alter der Fichten hoch ist. Im ersten Bestand erreicht sie ein Alter von knapp über 200 Jahren. In Tabelle 14 sind zusätzlich die gesamten durchschnittlichen Baumalter der vier Bestände angeführt. Hierfür wurde das Alter aller Baumarten der jeweiligen Bestände gemittelt. Die verschiedenen Bestände unterscheiden sich hier nicht wesentlich. Das durchschnittliche Alter weicht um maximal 23 Jahren voneinander ab. Der zweite Bestand hat mit 134 Jahren das höchste Durchschnittsalter, der vierte Bestand mit 111 Jahren das Geringste.

Tabelle 14: Durchschnitts- (\emptyset), Minimum- (MinA) und Maximalalter (MaxA) der beprobten Baumarten in den Beständen auf Brusthöhe (Gesamt = Alle Baumarten im jeweiligen Bestand).

Art	Bestand	\emptyset	MinA	MaxA
Fichte	1	119	45	203
Ahorn	1	110	45	355
Ulme	1	112	50	343
Ahorn	2	155	58	552
Ulme	2	113	33	328
Fichte	3	147	101	248
Buche	3	106	64	217
Fichte	4	86	19	165
Buche	4	136	61	339
Gesamt	1	114		
Gesamt	2	134		
Gesamt	3	127		
Gesamt	4	111		

Für die ungefähre Altersbestimmung musste das Alter von 34 Bäumen, aufgrund aufgetretener Kernfäule oder fehlender Jahrringe zum Markbereich, extrapoliert werden. Eine Liste der extrapolierten

Bäume inklusive Altersangaben befindet sich im Anhang. Stellt man alle beprobten Bäume des Untersuchungsgebietes in einem Altersklassendiagramm dar (**Abbildung 19**) fällt auf, dass sich das Alter der Bäume mehrheitlich im Bereich von 41-160 Jahre bewegt. Die Altersklasse 81-120 hat mit 35% den größten Anteil. Die geringsten Anteile haben die Altersklassen unter 40 (2%) und 161-200 (7%). Im Untersuchungsgebiet sind mehr als 12% der beprobten Bäume älter als 200 Jahre. In **Abbildung 20** ist die Altersklassenverteilung aller beprobten (gesunde als auch kernfaule) Baumarten dargestellt. Die höchsten Anteile erreichen Berg-Ahorn (36%) und Berg-Ulme (39%) in den Altersklassen zwischen 41 und 120 Jahre. Die Buche ist mit einem Anteil von 29% in der Altersklasse 81-120 und 42% in der Altersklasse 121-160 am häufigsten vertreten. Die Fichte kommt in allen Altersklassen vor, die Mehrheit der Bäume bewegt sich aber im Bereich von 81-120 Jahre.

In **Abbildung 21** und **22** sind die Altersklassendiagramme der gesunden und kernfaulen Bäume gegenübergestellt. Die Mehrheit der beprobten gesunden Bäume befindet sich im Bereich der Altersklassen zwischen 41 und 160 Jahre (**Abbildung 21**). Die Berg-Ahorn-Bäume und Berg-Ulmen dominieren in der Altersklasse zwischen 41 und 120 Jahren. Mit einem Anteil jeweils von mehr als 40%, sind sie in den beiden Altersklassen gleichmäßig verteilt. Bei den Buchen ist die Altersklasse von 121-160 Jahren mit einem Anteil von 47% vorherrschend. Die meisten Fichten sind in der Altersklasse 81-120 Jahre zu finden. Die restlichen Anteile der Fichte sind auf die verschiedenen Altersklassen gleichmäßiger verteilt, als bei den restlichen Baumarten. Bei den gesunden Bäumen erreicht kein Baum ein höheres Alter als 200 Jahre.

Alle kernfaulen Bäumen (**Abbildung 22**) sind älter als 80 Jahre. Im Vergleich zu der Verteilung bei den gesunden Bäumen ist die Altersklasse 200< bei den kernfaulen Bäumen dominierend. Die Berg-Ahorn-Bäume und Berg-Ulmen haben den größten Anteil in der Altersklasse über 200 Jahre. 67% der extrapolierten Berg-Ulmen weisen ein sehr hohes Alter (200<) auf, bei den Berg-Ahorn-Bäumen ist es die Hälfte. Ein Drittel der Buchen fällt ebenfalls in die höchste Altersklasse. In den beiden Altersklassen 81-121 Jahre beträgt der Anteil der Buchen jeweils ein Drittel. Die Fichte ist auf die Altersklassen im Bereich von 120–200< Jahren homogen verteilt.

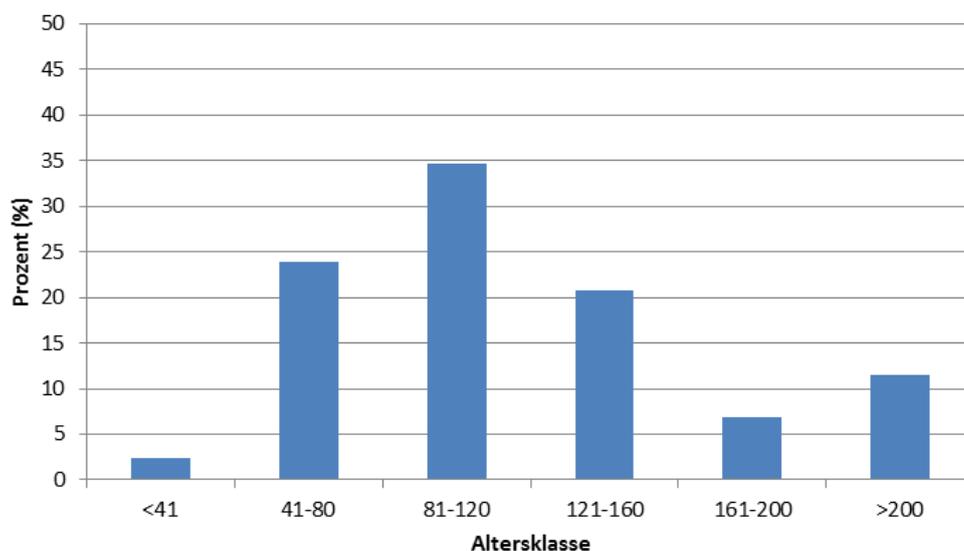


Abbildung 19: Altersklassenverteilung aller beprobten Bäume im Untersuchungsgebiet.

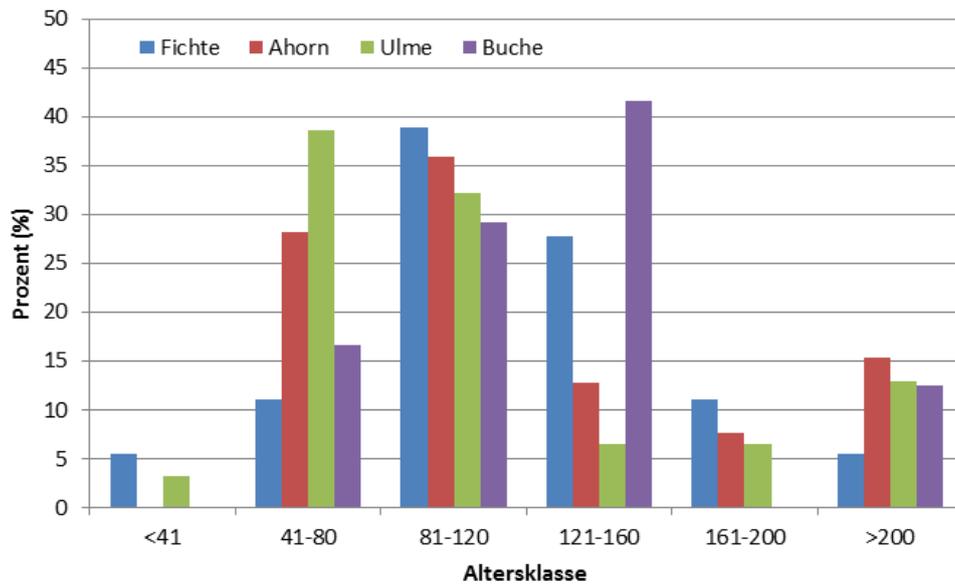


Abbildung 20: Altersklassenverteilung der beprobten Baumarten insgesamt.

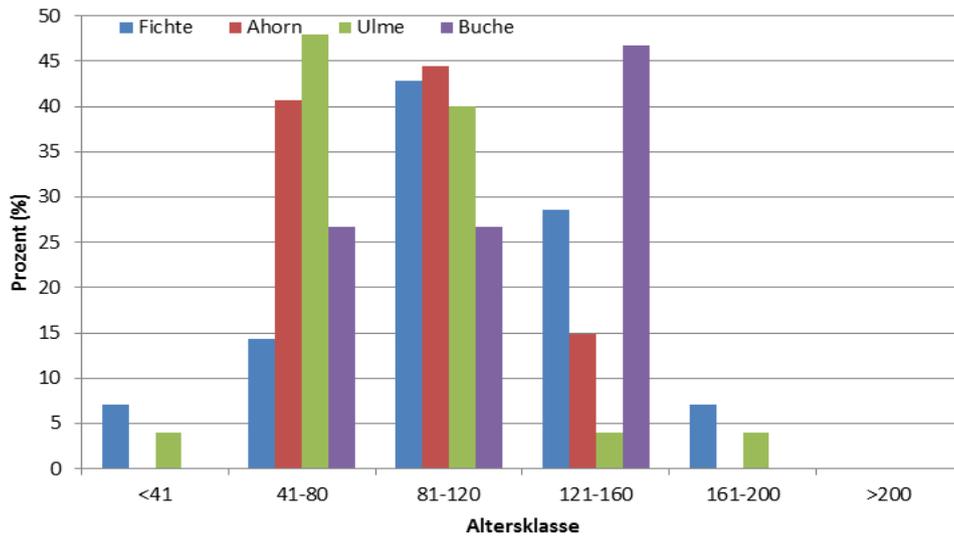


Abbildung 21: Altersklassenverteilung der beprobten gesunden Bäume.

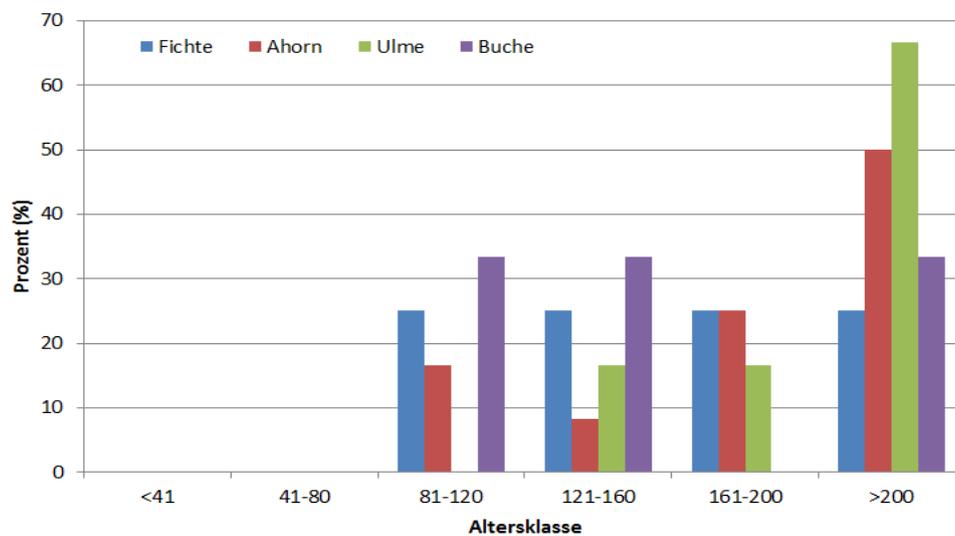


Abbildung 22: Altersklassenverteilung der beprobten kernfaulen Bäume.

3.5 Entwicklung des Grundflächenzuwachses

Anhand des jährlichen Grundflächenzuwachses (cm^2) können langfristige Wachstumstrends analysiert werden. Die statistischen Signifikanzen der Grundflächenzuwächse der einzelnen Mittelkurven sind in den **Tabellen 15 und 16** abgebildet. **Abbildung 23** zeigt die Entwicklung des Grundflächenzuwachses der jeweiligen zusammengefassten Baumarten im Untersuchungsgebiet. Die Mittelkurven wurden mit einer 30-jährigen Kurve geglättet. Grundsätzlich zeigen die Fichten das beste Wachstum mit mittleren jährlichen Zuwachsraten um 40 cm^2 . Interessant ist das relativ gute Wachstum der Buchen. Diese verzeichnen mittlere jährliche Zuwächse von mehr als 30 cm^2 . Die Berg-Ahorn-Bäume und Berg-Ulmen bewegen sich in einem Bereich von 20 cm^2 , wobei sie keinen signifikanten Unterschied im mittleren Wachstum aufweisen (**Tabelle 15**). Die geglätteten Wachstumskurven weisen einen wellenförmigen Verlauf auf, wobei bei jeder Kurve Phasen einer Depression sowie Erholungsphasen zu erkennen sind. Bei allen vier Mittelkurven ist kein deutlicher langfristiger Wachstumseinbruch zu erkennen. Aufgrund des Ulmensterbens und der damit verbundenen geringen Belegung reichen die Mittelkurven der Berg-Ulmen bei beiden Beständen nur bis zum Jahr 2009.

Der geglättete Wachstumsverlauf der Fichten steigt mit Anfang des 20. Jahrhunderts an. Ab 1930 beginnt eine etwa 30 Jahre anhaltende Depression. Ab 1960 nimmt das Wachstum wieder zu und erreicht um 1990 seinen Höhepunkt. Seitdem kommt es wieder zu einem leichten Rückgang im langfristigen Wachstumsverlauf. Die Mittelkurve der Fichte ist von deutlichen Wachstumseinbrüchen und Wachstumsschüben gekennzeichnet. Neben dem länger andauernden Wachstumseinbruch von 1930 bis 1960 gibt es deutliche Einbrüche 1921, 1976 und in den 1990er Jahren. Neben den Wachstumseinbrüchen verzeichnen die Fichten ebenso markante Erholungsphasen mit hohen jährlichen Zuwächsen. Dies ist zum Beispiel 1916, 1929, 1983 und um 2000 der Fall. Nach dem deutlichen Wachstumseinbruch Anfang 1990 konnten sich die Fichten somit wieder erholen, wobei trotzdem ein leichter Abwärtstrend zu verzeichnen ist.

Die geglättete Kurve der Buche verläuft bis 1960 recht linear und steigt ab diesen Zeitpunkt, parallel zum Wachstumsverlauf der Fichten, bis ins Jahr 1990 an. Auch bei den Buchen gibt es seit den 1990er Jahren einen leichten Abwärtstrend im Wachstum, welcher aber immer noch auf hohem Niveau liegt. Im Vergleich zu den Fichten verzeichnet die Mittelkurve der Buchen nicht so hohe Schwankungen im Wachstumsverlauf. Deutliche Einbrüche gibt es lediglich 1948 und 2011. Bei den Berg-Ahorn-Bäumen steigt die geglättete Kurve, nach einer beginnenden Depression, seit 1930 an und stagniert seit den 1990er Jahren. Die Mittelkurven sind ebenso recht homogen und verzeichnen, im Vergleich zur Fichte, relativ geringe Wachstumsschwankungen. Einen markanten Wachstumseinbruch gibt es 1996, welcher parallel zu Fichte und Buche erfolgt. Bei den Berg-Ulmen verläuft der langfristige Wachstumstrend, mit Ausnahme einer kleinen Depression in den 1960er Jahren, zunehmend ansteigend. So gibt es langfristig leicht positive Zuwachsraten. Die Ausschläge der Mittelkurve sind gering, es kommt in keiner Wachstumsphase zu einem markanten Wachstumseinbruch.

Tabelle 15: Statistische Signifikanzen (signifikant= $< 0,05$) der Grundflächenzuwächse der beprobten Baumarten im Untersuchungsgebiet anhand unabhängiger Stichproben.

	Fichte	Ahorn	Ulme	Buche
Fichte		<0,001	<0,001	0,018
Ahorn	<0,001		0,071	0,004
Ulme	<0,001	0,071		<0,001
Buche	<0,001	<0,001	<0,001	

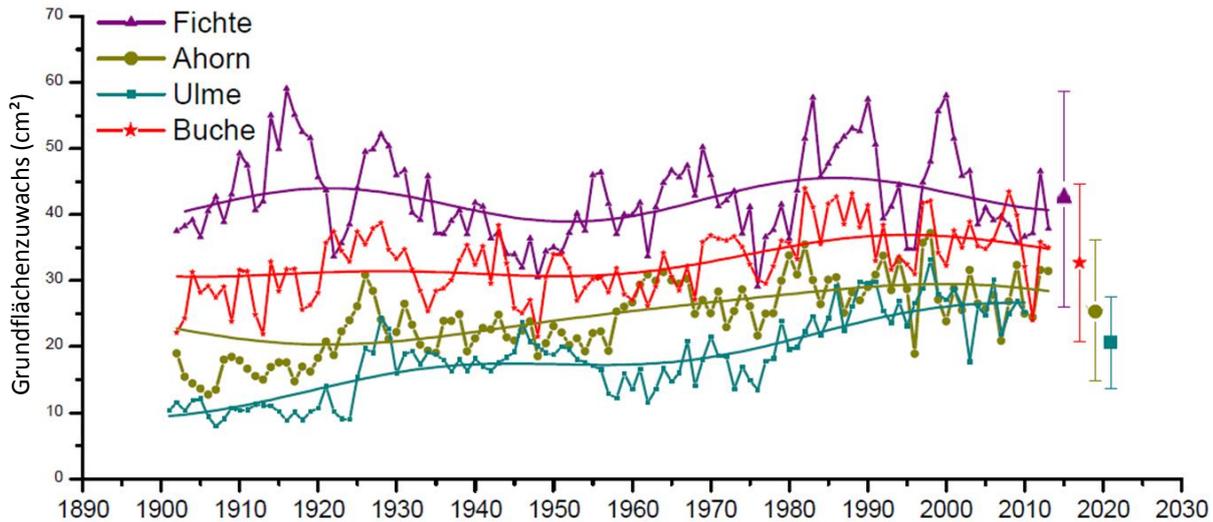


Abbildung 23: Entwicklung des Grundflächenzuwachses anhand der Mittelkurven und einer 30-jährigen geglätteten Kurve der jeweiligen Baumarten im Untersuchungsgebiet.

Abbildung 24 zeigt den langfristigen Wachstumstrend der Fichten in den verschiedenen Beständen. Die Fichten im nordexponierten Bestand 1 haben mit einem mittleren jährlichen Zuwachs von 47 cm^2 das beste Wachstum. Im dritten Bestand verzeichnet der mittlere Jahreszuwachs 41 cm^2 . Die Fichten im Bestand 4 weisen mit 38 cm^2 durchschnittlichen Jahreszuwachs das geringste Wachstum auf. Die unterschiedlichen mittleren Jahreszuwächse liegen aber nicht im statistisch signifikanten Bereich (**Tabelle 16**). Verzeichnen die Fichten im Bestand 3 in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts das höchste Wachstum, so fällt dieses in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts deutlich unter das mittlere Wachstumsniveau. Ausnahmen mit größeren Wachstumsschüben gibt es nur in den Jahren um 1983 und 2000. Im ersten Bestand schwankt das Wachstum am stärksten, findet aber in den letzten 50 Jahren größtenteils über dem mittleren Jahresniveau statt. Im Bestand 4 verzeichnen die Fichten bis 1960 ein ausgeglichenes Wachstum. Erst im anschließenden Zeitraum treten größere Wachstumsschwankungen auf. Die Einbrüche um 1976 und 1992 sind sehr deutlich zu erkennen. Die Fichten im Bestand 3 und 4 verzeichnen seit 2004 einen klaren Wachstumseinbruch. Seitdem verläuft der Grundflächenzuwachs, vor allem im dritten Bestand, auf einem sehr niedrigen Niveau. Im vierten Bestand gibt es erst wieder im Jahr 2012 höhere Zuwächse.

Die Entwicklung des Grundflächenzuwachses bei den Berg-Ahorn-Bäumen ist in **Abbildung 25** dargestellt. Die nordexponierten Berg-Ahorn-Bestände (Bestand 1) verzeichnen ein geringfügig besseres Wachstum, als die südexponierten Bestände (Bestand 2). Der Unterschied liegt aber nicht im statistisch signifikanten Bereich. Erst seit der Jahrtausendwende verläuft das Wachstum auf gleichem Niveau und weitgehend parallel. Im langfristigen Vergleich schwankt das Wachstum im Bestand 1 stärker. Größere Wachstumsschwankungen treten im zweiten Bestand erst seit den 1990er Jahren auf. Zuvor war der langfristige Wachstumstrend leicht zunehmend. Im Vergleich zum Wachstumsverlauf der Berg-Ahorn-Bäume ergibt sich bei den Berg-Ulmen ein ähnliches Bild (**Abbildung 26**). Die Berg-Ulmen im Bestand 1 weisen durchwegs höhere Zuwachsraten auf, als im Bestand 2 und haben auch höhere Wachstumsschwankungen. Hier sind die Wachstumsunterschiede deutlich signifikant. Die jährlichen Wachstumsschwankungen im Bestand 2 sind wesentlich geringer. Das Wachstum verläuft hier weitgehend gleichmäßig mit einem leichten positiven Trend bis zum Jahr 1998. Ab 1999 nimmt die jährliche Zuwachsraten stetig ab.

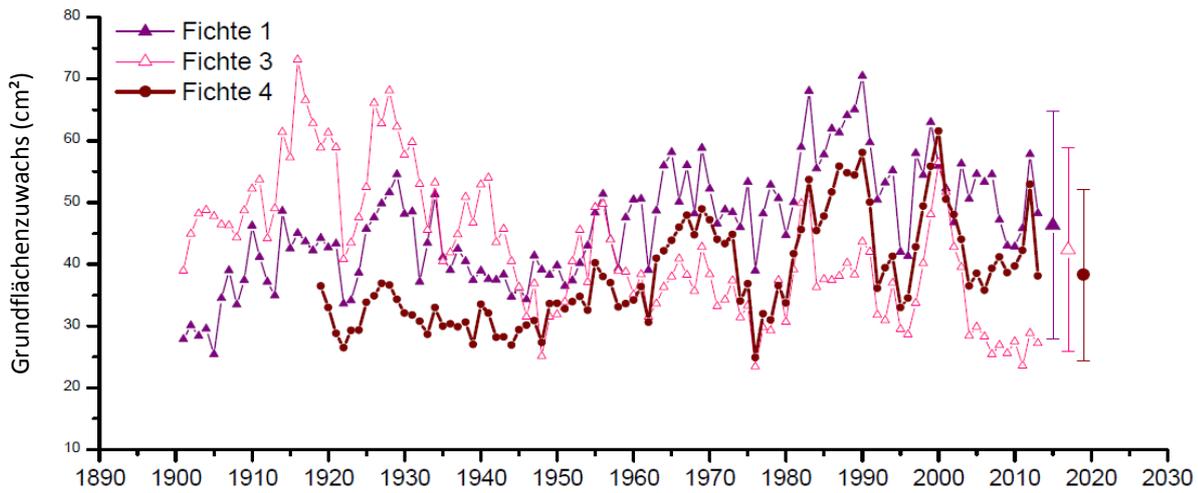


Abbildung 24: Entwicklung des Grundflächenzuwachses bei Fichte (Fichte 1= Bestand 1, Fichte 2= Bestand 3, Fichte 4= Bestand 4).

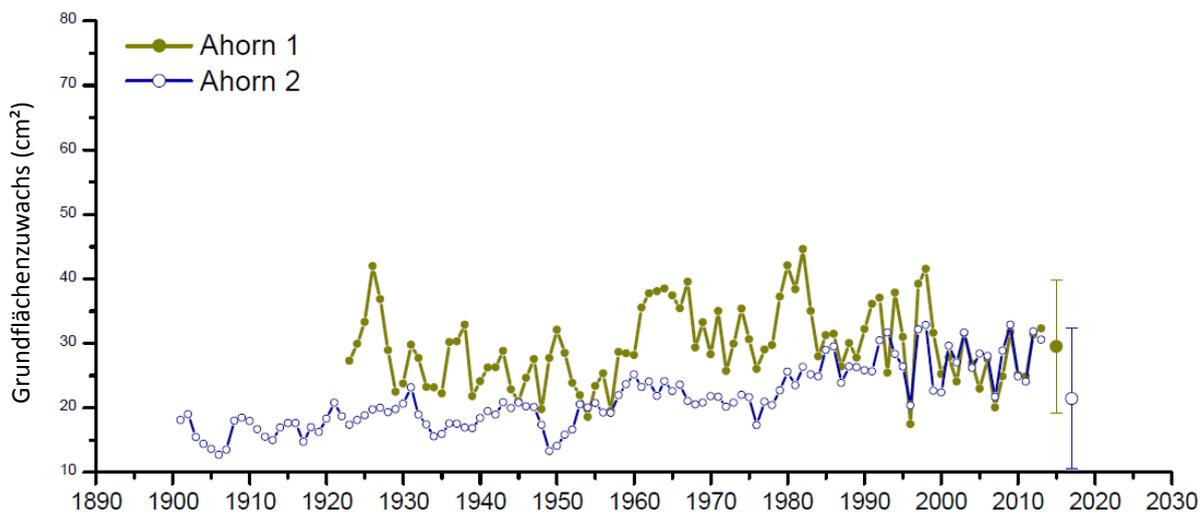


Abbildung 25: Entwicklung des Grundflächenzuwachses bei Berg-Ahorn (Ahorn 1 = Bestand 1, Ahorn 2= Bestand 2).

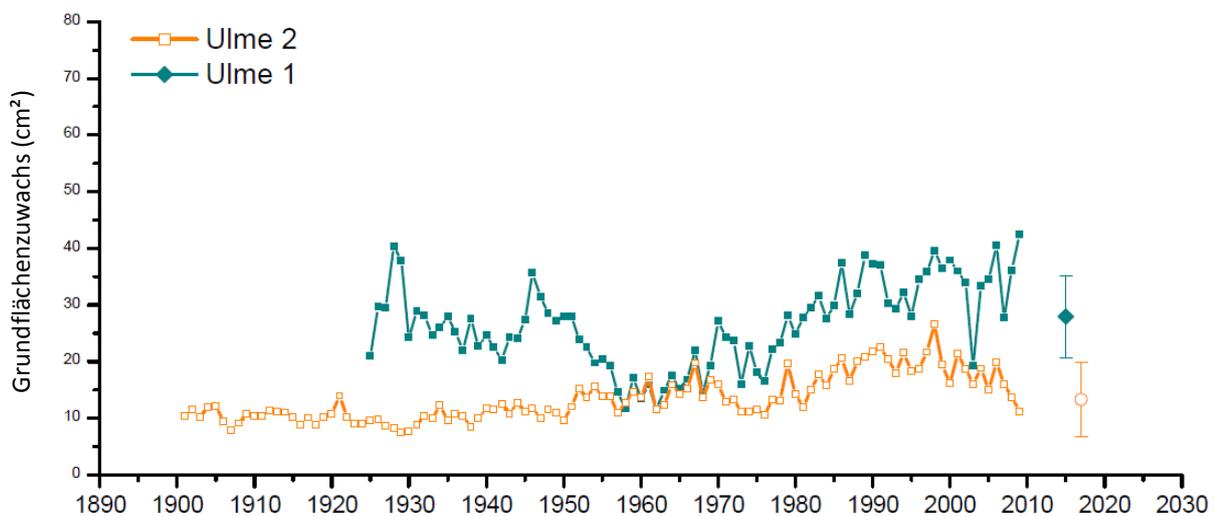


Abbildung 26: Entwicklung des Grundflächenzuwachses bei Berg-Ulme (Ulme 2 = Bestand 2, Ulme 1= Bestand 1).

Abbildung 27 zeigt den langfristigen Wachstumsverlauf der Buchen im Bestand 3 und 4. Die Buchen im Bestand 4 verzeichnen geringfügig höhere mittlere Zuwachsraten, zeigen aber keinen statistisch signifikanten Unterschied. Im Zeitraum von 1930-1975 weisen beide Buchenbestände paralleles Wachstum auf gleichem Niveau auf. Folgend erleben die Buchen im Bestand 4 bis zum Jahr 1992 eine Periode höherer Jahreszuwächse. Anschließend verläuft das Wachstum bei beiden Beständen wieder weitgehend ausgeglichen. Stärkere Wachstumsschwankungen treten somit erst ab 1975 auf, wobei die Buchen im Bestand 3 eine höhere Standardabweichung der Jahreszuwächse aufweisen.

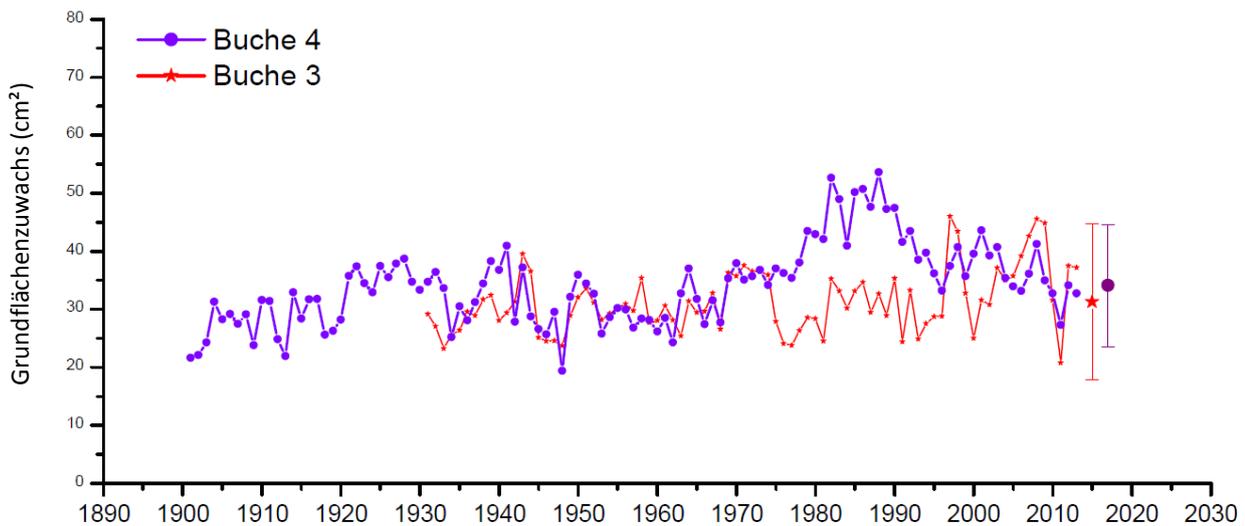


Abbildung 27: Entwicklung des Grundflächenzuwachses bei Buche (Buche 4 = Bestand 4, Buche 3 = Bestand 3).

Tabelle 16: Statistische Signifikanzen (signifikant= < 0,05) der Grundflächenzuwächse der beprobten Baumarten auf den verschiedenen Beständen im Untersuchungsgebiet anhand unabhängiger Stichproben (F = Fichte, A = Berg-Ahorn, U = Berg-Ulme, B = Buche, 1 = Bestand 1, 2 = Bestand 2, 3 = Bestand 3, 4 = Bestand 4).

	F 1	F 3	F 4	A 1	A 2	U 1	U 2	B 3	B 4
F 1		0,334	0,187	0,004	<0,001	0,001	<0,001	0,018	0,046
F 3	0,334		0,779	0,046	<0,001	0,010	<0,001	0,148	0,358
F 4	0,187	0,779		0,053	<0,001	0,010	<0,001	0,186	0,493
A 1	0,004	0,046	0,053		0,096	0,554	<0,001	0,636	0,124
A 2	<0,001	<0,001	<0,001	0,096		0,212	<0,001	0,044	0,001
U 1	0,001	0,010	0,010	0,554	0,212		<0,001	0,307	0,021
U 2	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,012	<0,001		<0,001	<0,001
B 3	0,018	0,148	0,186	0,636	0,044	0,307	<0,001		0,389
B 4	0,046	0,358	0,493	0,124	0,001	0,021	<0,001	0,389	

Die Entwicklung der Grundflächenzuwächse im nordexponierten Bestand 1 sind in **Abbildung 28** angezeigt. Die Fichten verzeichnen mit mittleren Jahreszuwächsen von 50 cm² das höchste Wachstum im Untersuchungsgebiet. Mit deutlicher Differenz liegt der mittlere Zuwachs bei den Laubbäumen knapp unter 30 cm² jährlich. Das Wachstum der Fichten weist deutlich höhere Schwankungen auf. Langfristig sind die jährlichen Zuwächse bei Fichte leicht zunehmend. Die Zuwächse der Berg-Ahorn-Bäume und Berg-Ulmen stagnieren, wobei es bei den Berg-Ulmen einen Wachstumseinbruch im Zeitraum von 1950 bis 1980 gab.

Abbildung 29 zeigt die Entwicklung der Grundflächenzuwächse im Bestand 2. Weisen die Berg-Ahorn-Bäume im nordexponierten Bestand jährliche mittlere Zuwächse von fast 30 cm² auf, so sind es am südexponierten Bestand nur 20 cm². Bei den Berg-Ulmen ist der Unterschied noch deutlicher. Der jährliche mittlere Zuwachs beträgt hier 14 cm². Bei beiden Baumarten ist das Wachstum sehr ausgeglichen. Größere Wachstumsschwankungen treten im Vergleich zum Bestand 1 nicht auf. Beide Baumarten verzeichnen seit 1950 leicht höhere Jahreszuwächse, wobei bei den Berg-Ulmen das Wachstum seit der Jahrtausendwende abnimmt.

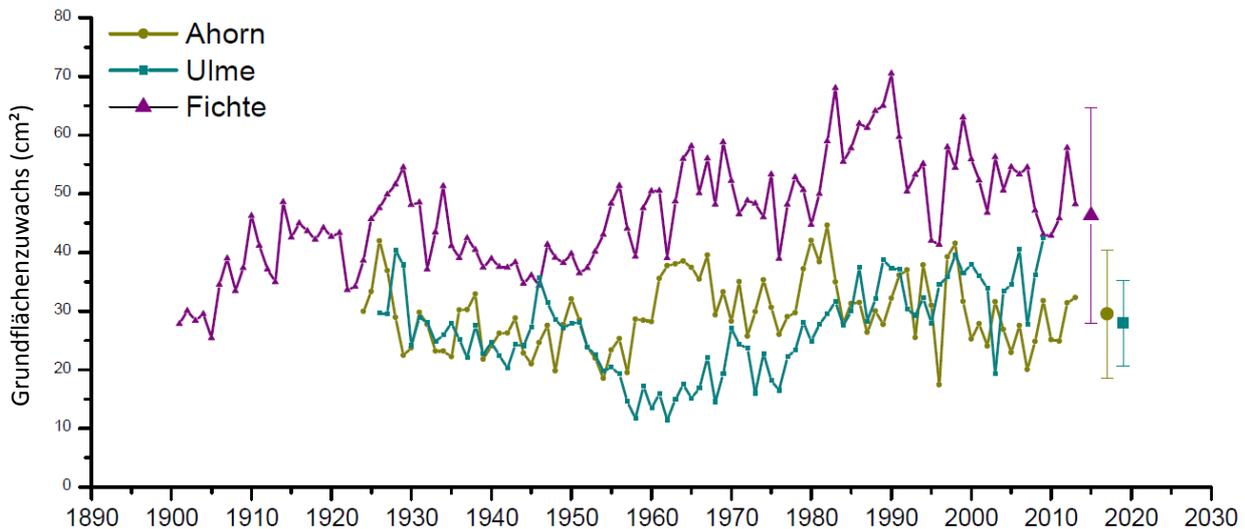


Abbildung 28: Entwicklung des Grundflächenzuwachses im Bestand 1 (nordexponiert).

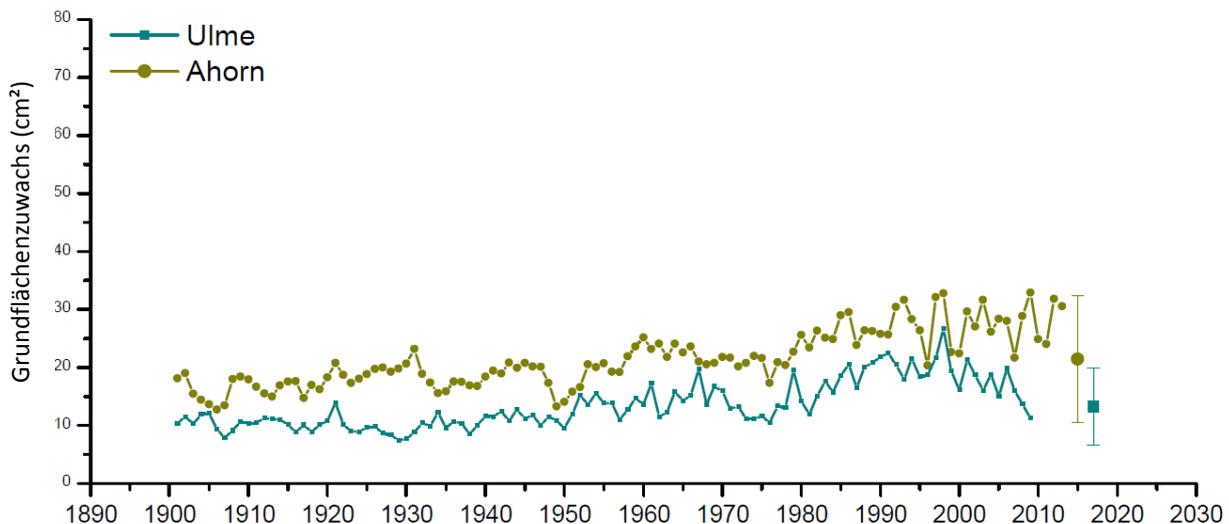


Abbildung 29: Entwicklung des Grundflächenzuwachses im Bestand 2 (südexponiert).

Die langfristigen Wachstumstrends im südexponierten Bestand 3 sind in **Abbildung 30** dargestellt. Die Fichte erreicht in diesem Bestand einen mittleren Jahreszuwachs von knapp über 40 cm². Die Buchen erreichen durchschnittliche Jahreszuwächse von 30 cm². Statistisch gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Baumarten. In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts gibt es bei den Fichten gute Wachstumsperioden. Ab 1950 beginnt das langfristige Wachstum zu stagnieren. Um das Jahr 2000 gibt es einen Wachstumsschub, wobei das Wachstum in den folgenden Jahren einbrach und sich bis zur Probenentnahme nicht mehr erholt hat. Die Buchen verzeichnen ein ausge-

glichenes Wachstum auf beständigem Niveau. Die Wachstumsschwankungen nehmen bei den Buchen im Bestand 3 seit 1995 geringfügig zu.

Abbildung 31 zeigt die Entwicklung der Grundflächenzuwächse bei Buche und Fichte im südexponierten Bestand 4. Die Differenz der jährlichen mittleren Zuwächse ist zwischen den beiden Arten bei diesem Bestand nicht mehr so gravierend und statistisch auch nicht signifikant. Die Fichten verzeichnen mittlere Zuwächse von 37 cm², die Buchen von 33 cm² jährlich. Das jährliche Wachstum der Fichten fällt im Vergleich zum nordexponierten Bestand deutlich geringer aus. Im Wachstumsverlauf erlebt die Fichte mehrere markante Wachstumseinbrüche, kann sich aber stets wieder erholen. Seit 1959 gab es auch drei Perioden mit hohen Jahreszuwächsen. Im langfristigen Trend sind die jährlichen Zuwächse bei den Fichten leicht ansteigend. Bei den Buchen gibt es ein stagnierendes Wachstum bis 1960. Es folgt eine Periode mit hohem Wachstum bis 1990. Anschließend kommt es zu geringeren jährlichen Zuwachsraten auf hohem Niveau.

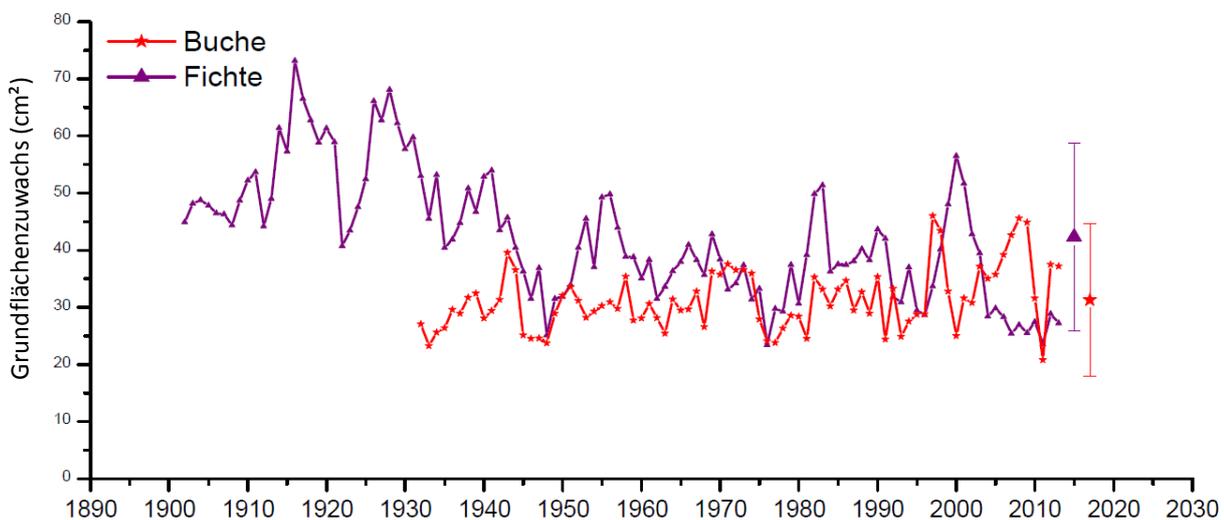


Abbildung 30: Entwicklung des Grundflächenzuwachses im Bestand 3 (südexponiert).

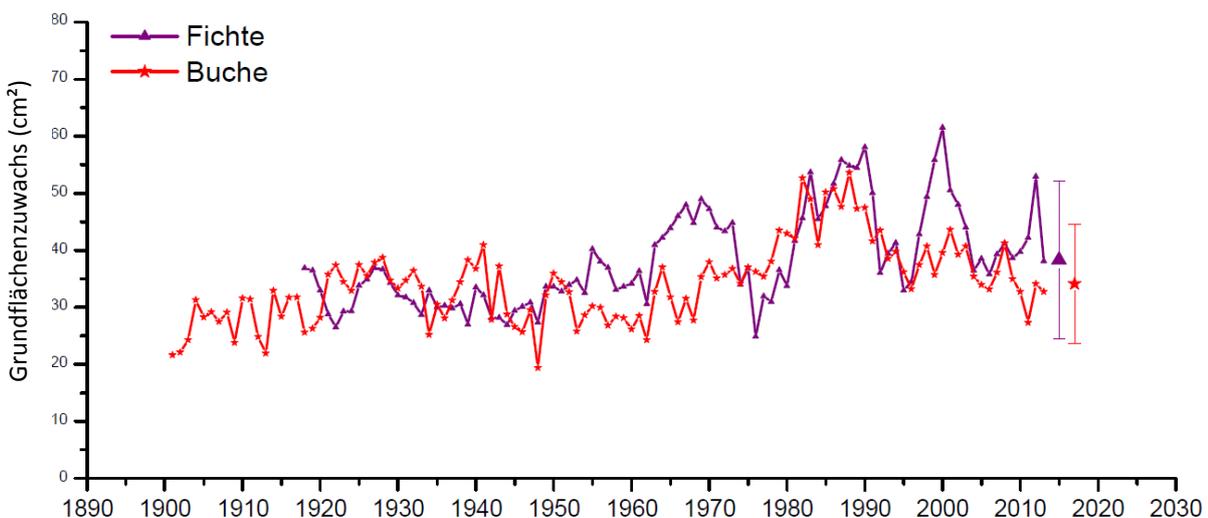


Abbildung 31: Entwicklung des Grundflächenzuwachses im Bestand 4 (südexponiert).

3.6 Untersuchungen zur Holländischen Ulmenwelke

In **Tabelle 17** sind die Datierungen der einzelnen Wachstumszeitreihen der abgestorbenen Ulmen dargestellt.

Tabelle 17: Datierung der Chronologien der abgestorbenen Berg-Ulmen im Untersuchungsgebiet (OVL = Überlappungslänge, Glk = Gleichläufigkeit, GSL = statistische Signifikanz, TVBP = t-Wert nach BAILLE & PILCHER, DateL = Beginn der Chronologie, DateR = Ende der Chronologie).

Baum	Referenz	Alter	OVL	Glk (%)	GSL	TVBP	DateL	DateR
U611G11a	U611G1M5	124	58	74	***	2,2	1953	2010
U611G12m	U611G113a	101	102	63	**	3,6	1900	2008
U611G14a	U611G1M5	121	65	63	*	1,3	1943	2007
U611G15m	U611G1M5	122	84	72	***	7	1925	2008
U611G16a	U611G1M	104	73	79	***	8,6	1937	2009
U611G17a	U611G1M	105	55	63	*	2,1	1956	2010
U611G18b	U611G110m	80	81	75	***	7	1901	2009
U611G19m	U611G1M	104	100	65	**	5,1	1910	2009
U611G110m	U611G1M5	125	83	75	***	11,1	1929	2011
U611G111m	U611G1M	108	81	78	***	7,6	1933	2013
U611G112a	U611G110m	80	50	69	**	2,8	1959	2011
U611G113a	U611G1M	106	106	64	**	5	1906	2011
U611G114m	U611G1M	106	73	64	**	5	1939	2011
U611G115b	U611G113a	104	51	63	*	1,5	1959	2008
U611G116a	U611G1M	107	96	74	***	6,7	1917	2012
U611G21b	A611G1M	103	80	63	**	1,1	1931	2010
U611G22a	U611G1M5	121	110	61	*	3	1898	2008
U611G23m	U611G1M	102	53	73	***	2,9	1955	2007
U611G24a	U611G1M5	121	68	63	*	1,9	1940	2007
U611G25a	A611G1M	101	102	59	*	2,9	1855	2009
U611G26m	A611G1M1	119	114	58	*	1,7	1895	2008
U611G27a	A611G1M	102	103	62	**	2,4	1831	2007
U611G28b	U611G1M5	122	65	63	*	4,3	1944	2008
U611G29m	A611G1M1	120	33	72	**	0,9	1977	2012
U611G210b	U611G1M	107	64	65	**	2,4	1949	2013
U611G211a	U611G1M5	121	66	75	***	4,3	1942	2007
U611G212a	U611G1M5	122	81	64	**	3,3	1928	2008
U611G213a	U611G1M5	122	123	69	***	5,1	1861	2009
U611G214a	U611G1M	103	65	67	**	4,5	1944	2008
U611G215m	U611G1M	104	69	70	***	4,4	1941	2009
U611G216a	U611G1M5	126	44	65	*	3,6	1969	2012
U611G217m	U611G1M5	127	113	61	**	4,5	1901	2013

Laut der durchgeführten statistischen und optischen Datierung ist erstmals eine Gruppe von Berg-Ulmen im Jahr 2007 abgestorben. In den folgenden Jahren starben weitere Gruppen von Ulmen, wobei die Mehrheit im Zeitraum von 2009 bis 2011 abgestorben ist. Für das Jahr 2012 und 2013 konnten nur noch vereinzelte Individuen datiert werden. Die Entwicklungen der Grundflächenzuwächse der einzelnen Individuen ab 1995 bis zum jeweiligen Sterbejahr sind in den Abbildungen 32 und 33 dargestellt. Obwohl das Wachstum der Ulme 17 und 16 im Bestand 1 (**Abbildung 32**) stark schwankt, ist kein markanter Wachstumseinbruch ersichtlich. Dies ist ebenfalls bei den restlichen Individuen in diesem Bestand der Fall. Die Grundflächenzuwachsrate liegen bei den meisten Individuen auf einem gleich bleibenden Niveau. Ulme 6 und Ulme 11 verzeichneten vor ihrem Absterben hohe Wachstumsraten.

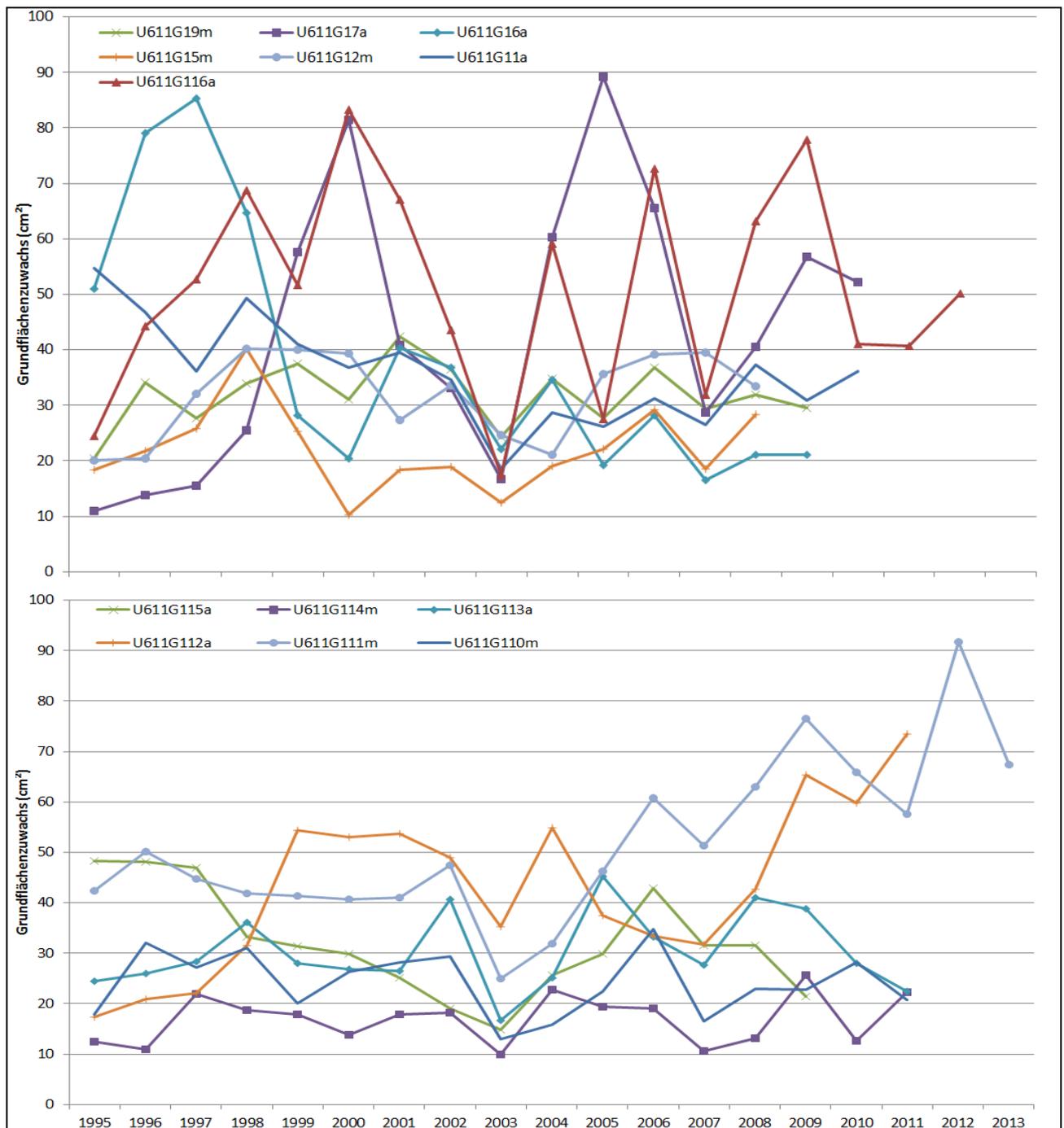


Abbildung 32: Grundflächenzuwächse der abgestorbenen Berg-Ulmen im Bestand 1 ab 1995.

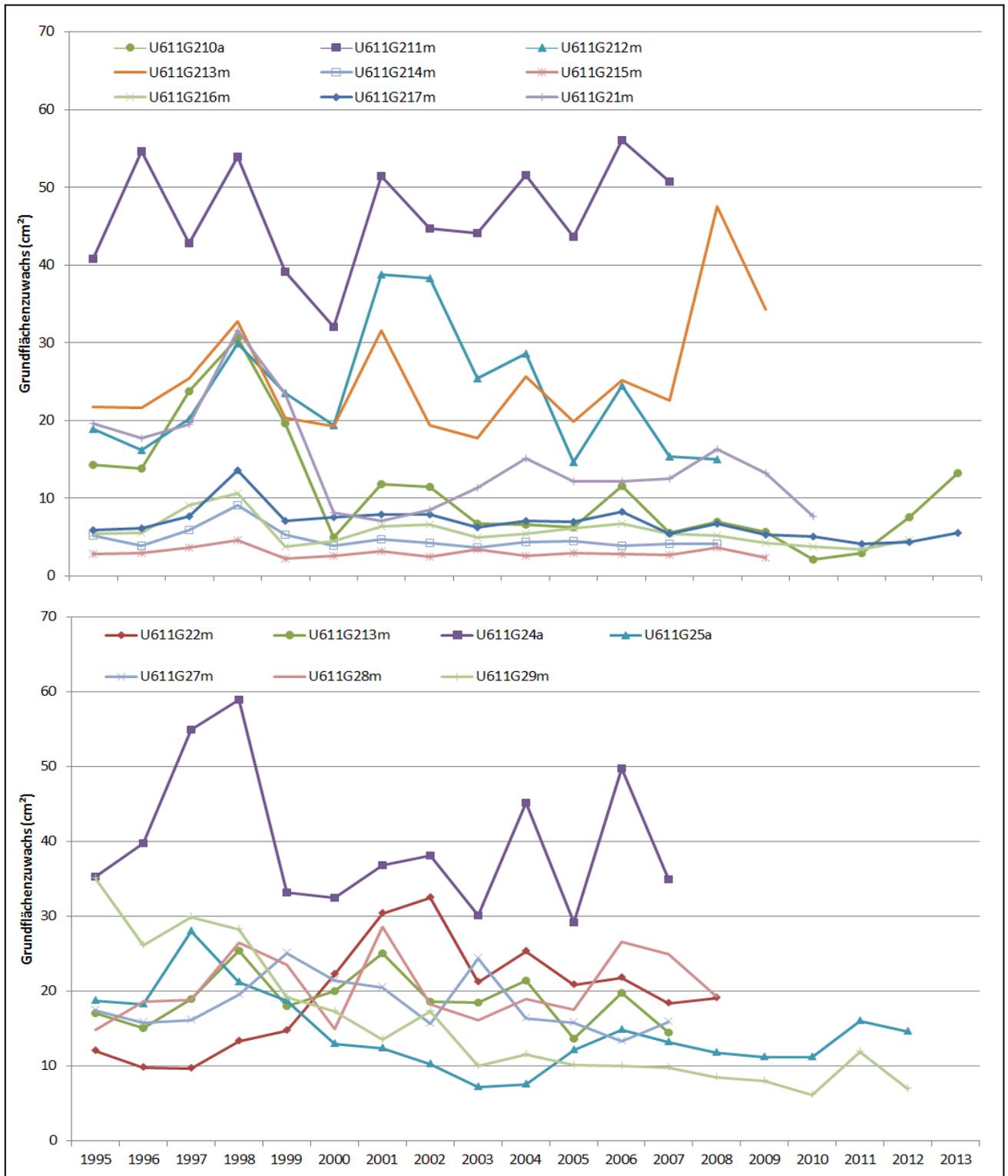


Abbildung 33: Grundflächenzuwächse der abgestorbenen Berg-Ulmen im Bestand 2 ab 1995.

Im Bestand 2 (**Abbildung 33**) zeigt die Mehrheit der Individuen einen Wachstumseinbruch in den Jahren 1998 und 1999. Bis auf die Berg-Ulmen 1, 5 und 10 konnten sich die meisten Individuen von diesem Wachstumseinbruch erholen. In den folgenden Jahren ist kein weiterer Wachstumseinbruch, welcher auf einen Befall mit dem Erreger der Ulmenwelke hindeuten könnte, ersichtlich. Die letzten Wachstumsjahre vor dem datierten Sterbejahr verzeichnen meist negative Werte. Jedoch ist auch hier kein deutlicher Wachstumseinbruch erkennbar. Die Grundflächenzuwächse verlaufen mehrheitlich auf niedrigem Niveau. Bis auf wenige Ausnahmen ist dieses aber stets konstant.

4. Diskussion

Der Ergebnisdiskussion ist eine kritische Betrachtung der Ausgangsmaterialien und des methodischen Vorgehens vorangestellt, um die Aussagekraft der gewonnenen Ergebnisse bewerten zu können.

4.1 Materialeignung und Methodenbetrachtung

Bei den Laubwaldbeständen im Gößgraben handelt es sich, aus dendroökologischer Sichtweise um keinen Extremstandort. Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich von etwa 1150 m bis 1500 m Meereshöhe, liegt also im Bereich der montanen Vegetationsstufe. Im Vergleich zu Waldgrenzstandorten treten limitierende Klimafaktoren auf dieser Höhenstufe nicht so stark in Erscheinung (SCHWEINGRUBER 1996). Auf den südseitigen, höher gelegenen Beständen sind Änderungen im Wasserhaushalt (SCHWEINGRUBER 1993) und der Einfluss der Temperatur (BÜNTGEN ET AL. 2008) auf das Wachstum zu erwarten. Die beprobten Bäume wurden so ausgewählt, dass sie möglichst wenigen nicht-klimatisch bedingten, exogenen Störfaktoren ausgesetzt waren. Dies gestaltet sich im Untersuchungsgebiet schwierig, da die Laubwaldbestände regelmäßigen Lawinen- und Steinschlagereignissen ausgesetzt sind. Bei den beprobten Bäumen handelt es sich, neben der Fichte, um die Laubholzarten Berg-Ahorn, Berg-Ulme und Buche. Die Fichten und Buchen sind seit langer Zeit Bestandteil dendroökologischer Untersuchungen (SCHWEINGRUBER 1993, DITTMAR ET AL. 2003, GRUNDMANN 2009). Dendroökologische Untersuchungen zur Klimareaktion des Berg-Ahorns sind hingegen rar (HARTL-MEIER & ROTHE 2013). Auskeilende und fehlende Jahrringe gestalten die Messung bei dieser Baumart sehr schwierig. Bei der Datierungskontrolle mussten 26 Jahrringzeitreihen (von insgesamt 41 beprobten Bäumen) ausscheiden, da diese hohe individuelle Wachstumsentwicklungen zeigten. Auch bei den Berg-Ulmen bereiteten vor allem enge, nacheinander folgende Frühholzgefäßreihen Datierungsschwierigkeiten. Das Bestandessignal (EPS), ein Qualitätskriterium bei der Chronologiebildung von Jahrringkurven, erreicht nur bei den Buchen im Bestand 3 den Grenzwert von über 0,85. Die Fichte (Bestand 1 und 3) und Berg-Ulme (Bestand 2) liegen knapp darunter (**Tabelle 3**). Auch die weiteren statistischen Parameter wie mittlere Sensitivität, Korrelation mit Master und das Signal/Rausch-Verhältnis sind niedrig. Die niedrigen Werte spiegeln die Gegebenheiten des Standortes (montane Vegetationsstufe) wider.

Jahrringmessungen zur Analyse der Beziehung von Klima und Wachstum, sowie zur Analyse der Wachstumsentwicklung, sind seit langem eine etablierte Methode in der wissenschaftlichen Forschung (FRITTS 1976, SCHWEINGRUBER 1983). Durch die Kreuzdatierung mit anderen Chronologien wurde der Gefahr der Fehleinschätzung durch vor allem fehlende und auskeilende Jahrringe entgegengewirkt. Da die Laubwaldbestände naturschutzwürdigen Charakter aufweisen (KIRCHMEIER & JUNGMEIER 1999), wurde bei Buche, Berg-Ahorn und Fichte nur jeweils ein Bohrkern pro Individuum entnommen, um mögliche Schäden so gering wie möglich zu halten. Üblicherweise werden in der dendrochronologischen Forschung zwei Bohrkern pro Individuum entnommen und daraus eine Baummittelkurve errechnet (FRITTS 1976). Die Entnahme von nur einem Bohrkern pro Baum ist daher fehleranfälliger, da radiusspezifische Wachstumsschwankungen sich deutlicher zeigen. Bei den abgestorbenen Berg-Ulmen wurden zwei Bohrkern pro Individuum entnommen und daraus eine Mittelkurve errechnet. Dies ist möglicherweise ein Grund für die höheren Kennwerte (**Tabelle 3**) bei den Berg-Ulmen im Bestand 2. Dennoch mussten auch bei den Berg-Ulmen 16 von insgesamt 33 Jahrringzeitreihen bei der Datierungskontrolle entfernt werden, um bei der Korrelation mit Master einen Wert von über 0,4 zu erreichen.

4.2 Altersstruktur und Wachstumsentwicklung

4.2.1 Altersstruktur der dominanten Baumarten

Die dominanten Baumarten der einzelnen Bestände weisen durchwegs ein hohes Alter auf (**Tabelle 14**), was für die Naturnähe der Bestände spricht. Die ältesten Individuen befinden sich südexponiert auf ca. 1500 m Meereshöhe unter den Felswänden. Dort sind die Bäume vor allem vor regelmäßigen Lawinenereignissen geschützt. Gegenüber Steinschlägen weisen insbesondere die Berg-Ahorn-Bestände ein hohes Regenerationspotential auf (KIRCHMEIR & JUNGMEIR 1999, WALENTOWSKI ET AL. 2004). Einzelne Berg-Ahorn-Individuen erreichen für diesen Standort das angegebene Höchstalter (SCHMIDT & ROLOFF 2014). Ein wahrscheinliches Alter von 550 Jahren bei einem Individuum ist besonders erstaunlich und bildet die längste Jahrringzeitreihe in den untersuchten Beständen. Auch bei den nordexponierten Beständen befindet sich das älteste Individuum (345 Jahre) im geschützten Bereich unter den Felswänden. Brusthöhendurchmesser über 100 cm sind keine Seltenheit.

Im Vergleich zum Berg-Ahorn erreichen die abgestorbenen Berg-Ulmen das angegebene Maximalalter von 400-500 Jahren nicht (WENDT 1922, SCHÜTT ET AL. 1992), wobei ein Alter von mehr als 340 Jahren durchaus verzeichnet wird. Die Buche erreicht ein Alter von bis zu 340 Jahren. In naturnahen Beständen erreicht die Buche für gewöhnlich ein Alter von über 300 Jahren (FELBERMEIER & MOSANDL 2014). Das Maximalalter der Fichten beträgt 248 Jahre und weist eine deutliche Differenz zu Berg-Ulme (328 Jahre) und Berg-Ahorn (552 Jahre) auf. Besonders im Bestand 4, oberhalb der Kohlmayeralm, wird dieser Unterschied deutlich. Dieses Gebiet ist, aufgrund der Zugänglichkeit, stärker durch anthropogene Nutzungseinflüsse geprägt. Im unmittelbaren Nahbereich finden sich auch mehrere großflächige Schlagfluren. Es liegt nahe, dass in den letzten Jahrhunderten, vor allem die Fichte, durch Plenterung entfernt wurde. Im Bestand 3 kann aufgrund der exponierten Lage des Standortes eine forstwirtschaftliche Nutzung weitgehend ausgeschlossen werden. Durchschnitts- und Maximalalter sind hier wesentlich höher als im Bestand 4.

Die ähnliche Altersklassenverteilung von Berg-Ahorn und Berg-Ulme kann auf den Einfluss von exogenen Faktoren hinweisen. In von Felswänden geschützten Bereichen wird ein hohes Alter erreicht (bis zu 552 Jahre). Dies ist insbesondere in den Beständen in höheren Lagen der Fall. Aufgrund von auftretenden Kernfäulen musste bei den älteren Individuen (v.a. ab 160 Jahre) das Alter mittels Extrapolation abgeschätzt werden. Die beprobten Individuen der beiden Bestände weisen eine recht homogene Verteilung der Brusthöhendurchmesser auf (**Anhang 7.3**). Wie KIRCHMEIR & JUNGMEIER (1999) erwähnt, könnte dies auf regelmäßige Lawinenereignisse zurückzuführen sein, welche im 30 bis 60 Jahresrhythmus auftreten. Lawinen- und Steinschlagereignisse spielen besonders am südseitigen Bestand eine Rolle, da sie eine Ausbreitung eines Fichtenwaldes verhindern.

Die Mehrheit der beprobten Buchen befindet sich vorwiegend in der Altersklasse von 81-160 Jahren (**Abbildung 20**) und somit in der Optimalphase (SCHNELL 2004). Insbesondere in der Altersklasse 121-160 heben sich die Buchen von den Berg-Ahorn-Bäumen und Berg-Ulmen markant ab. Die beprobten Bestände mit Buchen befinden sich in vor Lawinen und Steinschlag geschützten Bereichen. Dies könnte einen Grund für den hohen Anteil der Buche in dieser Altersklasse darstellen. Da bei der Beprobung ausschließlich die dominantesten Individuen ausgewählt wurden, sind sie im Vergleich zu Berg-Ahorn und Berg-Ulme in der Altersklasse 41-80 Jahren nur mäßig vertreten. In diesem Zusammenhang wird auf die teilweise fehlende Buchenverjüngung hingewiesen (KIRCHMEIR & JUNGMEIER 1999). Ein wesentlicher Anteil der Buchen befindet sich in der Zerfallsphase (SCHNELL 2004).

Die Altersklassenverteilung der Fichte verläuft recht homogen, wobei der Anteil an sehr alten Individuen, im Vergleich zu den anderen Baumarten sehr gering ist (**Abbildung 20**). Im Bestand 1 könnte eine mangelnde Regenerationsfähigkeit der Fichte nach Steinschlagereignissen einen Grund darstellen. Den größten Anteil in der Altersklasse über 200 Jahren bildet bei den Fichten der mächtige, unter den Felswänden relativ geschützte, Bestand 3. Für das Fehlen von älteren Exemplaren im Bestand 4 könnte forstwirtschaftliche Nutzung eine Rolle spielen.

4.2.2 Art- und standortspezifische Wachstumsentwicklung

Die Wachstumstrends aller beprobten Baumarten sind zeitlich konstant und zeigen keine größeren Einbrüche (**Abbildung 23**), welche zum Beispiel durch eine Reduzierung der Wassermenge der Göß, im Zuge des Speicherkraftwerksbaues, vermutet wurden (KIRCHMEIR & JUNGMEIER 1999). Die Analyse des Grundflächenzuwachses zeigt, dass die Reduktion der Abflussmenge und die damit vermutete Reduktion der Luftfeuchtigkeit im Talkessel (z.B. durch Rückgang des Sprühnebels der Zwillingsfälle) keine nachhaltige Auswirkung auf das Radialwachstum der Bestände zur Folge hatte.

Im gesamten Untersuchungsgebiet herrscht generell ein sehr gutes Wachstum (**Abbildung 23**). Da keine Vergleichsliteratur der Grundflächenzuwächse in dieser Hinsicht vorliegt, kann der Unterschied durch den Vergleich mit einem inneralpinen Trockenstandort deutlich gemacht werden. Variieren die Grundflächenzuwächse der Fichte am Trockenstandort Tschirgant zwischen 1-8 cm² pro Jahr (SCHUSTER & OBERHUBER 2013), so sind es im Gößgraben zwischen 23-62 cm² pro Jahr. Die jährlichen Zuwachsraten der Fichte im Untersuchungsgebiet überschreiten damit die eines inneralpinen Trockenstandortes um das Drei- bis Achtfache. Dasselbe ist auch für die beprobten Laubbäume anzunehmen. Mit einem durchschnittlichen Jahrringbreitenwachstum von 2,6 (Bestand 3) bzw. 2,0 mm (Bestand 4) erreicht die Buche jährliche Zuwächse, wie sie zum Beispiel auch im Voralpenraum verzeichnet werden (UTSCHIG ET AL. 2004, BECK 2010).

Die langfristige Entwicklung des mittleren Grundflächenzuwachses zeigt bei Fichte und Buche einen homogenen zeitlichen Verlauf (**Abbildung 23**). Beide Baumarten verzeichnen einen ansteigenden Zuwachstrend ab den 1950er Jahren bis in die 1990er Jahre, was sich mit anderen europaweiten Untersuchungen der Wachstumstrends dieser Baumarten an optimalen Standorten und Höhenlagen deckt (KOHNLE 2014, SPIECKER ET AL. 1996, PRETZSCH 1999). Der Grund für den ansteigenden Zuwachstrend könnte die Zunahme der mittleren Temperatur sein, welche eine längere Vegetationsperiode zur Folge hat. Es können aber auch andere Faktoren, wie zum Beispiel die Zunahme des atmosphärischen CO₂-Gehalts oder Stoffeinträge (z.B. Stickstoff), eine Rolle spielen (FRICKE & WALLASCH 1994, SPIECKER 1999). Die Berg-Ulme reagierte auf diesen Einfluss möglicherweise erst ab den 1970er Jahren. Der Zuwachsverlauf der Berg-Ahorn-Bäume ist konstant, was für eine geringe Sensitivität gegenüber klimatischen Faktoren spricht (HARTL-MEIER & ROTHE 2013). Ab den 1990er Jahren weisen Fichte, Buche und Berg-Ahorn einen leicht negativen Trend im Wachstum auf, welcher ebenfalls von KOHNLE (2014) beschrieben wird. Die höheren gegenwärtigen Zuwachsraten können darauf hindeuten, dass sich dieser rückläufige Wachstumstrend möglicherweise in Zukunft wieder abschwächen wird.

Das geringfügig bessere Wachstum der Fichte im Bestand 1 könnte auf Unterschiede in der Exposition zurückzuführen sein (**Abbildung 24**). Auf den schattigen, nordexponierten Hängen wirken eine höhere Temperatur und Niederschlagsdefizite abgeschwächer, als auf sonnigen Südhängen. So ist auch der Wachstumseinbruch der Trockenjahre (z.B. 1976 und 2003) bei den Fichten im Bestand 1

wesentlich geringer, als bei den Fichten in den südseitigen Beständen. Für das Jahr 1976 zeigen die Fichtenbestände in Südexposition eine deutliche Wachstumsreduktion, welche sich noch in den Folgejahren hinweg fortsetzt. Langjährige Zuwachseinbrüche der Fichte nach Trockenjahren sind ebenfalls in anderen Studien belegt (UTSCHIG ET AL. 2004, ZANG ET AL. 2011). Deutlich werden die Zuwachseinbrüche nach dem Hitzesommer 2003. Die Fichten auf den südexponierten Beständen zeigen einen deutlichen Wachstumseinbruch in den Folgejahren, wobei sich anscheinend nur die Fichten im Bestand 4 wieder davon erholen konnten. Hier handelt es sich um einen Mischbestand mit Buche. Da es sich bei den Fichten im Bestand 3 um einen überalterten Reinbestand am Hangrücken handelt, sind sie wahrscheinlich anfälliger gegen extreme Trockenperioden (PRETZSCH 2003, UTSCHIG ET AL. 2004).

Ein Unterschied im Wachstum tritt auch bei Berg-Ahorn und Berg-Ulme deutlich hervor. In den nordexponierten Lagen weist die Berg-Ulme ein um 50 % höheres mittleres Wachstum auf, als in südexponierter Lage (**Abbildung 25, Abbildung 26**). Hier könnten Expositionsunterschiede und edaphische Faktoren eine Rolle spielen. Die Standortansprüche der Berg-Ulme gelten generell als hoch (WALTER 1931). Das etwas höhere Nährstoffangebot (KIRCHMEIR & JUNGMAIR 1999) und das ausgeglichene Klima am Schattenhang könnten Ursachen für das bessere Wachstum sein. Im Vergleich zum südexponierten Bestand, sind die deutlich höheren Schwankungen der jährlichen Zuwächse im nordexponierten Bestand bei beiden Baumarten auffallend. Dies ist ein Widerspruch zum ausgeglichenen Schattenhangklima. Im Gegenzug sind die Zuwachsschwankungen auf der südexponierten Seite bei Berg-Ahorn und Berg-Ulme sehr gering und verlaufen relativ homogen. Eventuell stellt das tief zerklüftete Blockgelände auf der Südseite eine erschwerte Wasserversorgung für Berg-Ahorn und Berg-Ulme dar (LEMOINE ET AL. 2001). Das Steinschlag oder regelmäßige Lawinenereignisse das Wachstum langfristig erniedrigen ist eher auszuschließen. Vielmehr würden solche geomorphologischen Faktoren für höhere Zuwachsschwankungen, wie es zum Beispiel im nordseitigen Bestand der Fall ist, sprechen.

Die jährlichen Zuwachsschwankungen der Buche nehmen ab 1976 deutlich zu (**Abbildung 27**). Einerseits hatte das Trockenjahr 1976 bei den Buchen im Mischbestand (Bestand 4) keine negativen Auswirkungen auf den Zuwachs der folgenden Jahre. Andererseits verzeichnen die Buchen im Reinbestand (Bestand 3) eine Periode von reduzierten Zuwächsen nach dem Trockenjahr 1976. Mischbestände sind in der Regel weniger empfindlich gegenüber Umweltveränderungen bzw. Störungen als Reinbestände (PRETZSCH 2003, UTSCHIG ET AL. 2004). Auch bei den Buchen können extreme Trockenjahre zu einer deutlichen Zuwachsreduktion in den Folgejahren führen (PETERKEN & MOUNTFORD 1996). Die höheren Zuwachsschwankungen ab 1976 bis in die Gegenwart können auf eine erhöhte Sensitivität gegenüber Umweltveränderungen hinweisen.

4.2.3 Datierung des Ulmensterbens

Die beprobten Berg-Ulmen sind nicht synchron abgestorben. Vielmehr wurden Gruppen von Berg-Ulmen nach und nach vom Erreger infiziert, wodurch sich der Welkeprozess einleitete, der das Absterben der jeweiligen Individuen zur Folge hatte. Der Datierung nach starb eine Gruppe von Berg-Ulmen erstmals im Jahr 2007 (**Tabelle 17**). Dies deckt sich mit einer Studie von KIRISITS und FRANZ (2006). Für das Jahr 2006 beschrieben die beiden Autoren die Ulmenstände im Gößgraben als noch nicht von der Ulmenwelke beeinträchtigt. Ein Grund dafür dürfte die isolierte Lage der Bestände darstellen. Erfolgt die Infektion der Berg-Ulmen während der Frühholzbildung (April/Mai), bricht die Krankheit meist noch im gleichen Jahr aus. Bei einer Infektion im Spätsommer sind die äußeren kleineren, im Sommer gebildeten, Gefäße betroffen. Durch die eintretende Herbstfärbung bleiben die Krankheitssymptome vorerst unbemerkt und treten erst im folgenden Frühjahr, meist in den ersten vier Wochen nach dem Austrieb, in Erscheinung (NIERHAUS-WUNDERWALD & ENGESSER 2003). Es wäre also möglich, dass der Schlauchpilz *Ophiostoma sp.*, welcher die Ulmenwelke verursacht, erstmals im Jahr 2006 durch den Ulmensplintkäfer in das Untersuchungsgebiet gelangte. In den folgenden Jahren wurden weitere Gruppen von Ulmen vom Erreger befallen, wobei die Mehrheit der Berg-Ulmen im Zeitraum von 2008 bis 2011 starb. Für das Jahr 2012 und 2013 konnte das Absterben von einzelnen Individuen datiert werden.

Ziel dieser Arbeit war es auch zu untersuchen, ob das Ulmensterben, nach der Infektion mit dem Schlauchpilz *Ophiostoma sp.*, in der aktuellen oder erst nach mehreren Vegetationsperioden erfolgte. Bei den untersuchten Berg-Ulmen war keine Wachstumsreduktion, welche auf eine Infektion mit dem Erreger hinweisen könnte, ersichtlich. Es handelte sich somit bei den abgestorbenen Berg-Ulmen um einen akuten Krankheitsverlauf der Holländischen Ulmenwelke. Je nachdem im welchem Zeitraum die Infektion mit dem Erreger stattfand (Stadium der Frühholzbildung oder Spätholzbildung), erfolgte das Absterben der Berg-Ulmen in derselben oder darauf folgenden Vegetationsperiode. In der Literatur werden auch chronische Krankheitsverläufe beschrieben. Die Krankheit kann sich über mehrere Jahre hinziehen, was sich durch schwache Belaubung und vorzeitigen Laubfall bemerkbar macht (NIERHAUS-WUNDERWALD & ENGESSER 2003). Im Untersuchungsgebiet hatten eine wenige, teils ältere Exemplare, Anzeichen einer chronischen Verlaufsform. Diese wurden jedoch nicht beprobt, um eine weitere Ausbreitung des Erregers im Zuge der Bohrkernentnahme auszuschließen.

KIRISITS & KONRAD (2007) gehen davon aus, dass in Zukunft nicht damit zu rechnen ist, dass die von *Ophiostoma novo-ulmi* verursachte Epidemie an Heftigkeit verlieren wird (KIRISITS & KONRAD 2007). Im Untersuchungsgebiet befinden sich noch einzelne Berg-Ulmen, welche noch keine Anzeichen einer Infektion zeigen. Es ist anzunehmen, dass diese von der Holländischen Ulmenwelke in den nächsten Jahren befallen werden. Verschiedene Ulmenarten prägen zahlreiche seltene Waldgesellschaften, wie sie zum Beispiel im Untersuchungsgebiet anzutreffen sind. Die ökologischen Folgen des Ulmensterbens sind als sehr schwerwiegend zu bewerten (KIRISITS & KONRAD 2007). Die abgestorbenen Berg-Ulmen werden im Untersuchungsgebiet nicht aus dem Bestand entfernt. Als Paradoxon könnte das erhöhte Tothholzangebot in den nächsten Jahren möglicherweise zu einer höheren Biodiversität beitragen.

4.3 Wachstumslimitierende Klimafaktoren

4.3.1 Wachstumsmuster und Klima-Wachstums-Beziehung

Die Wachstumsmuster verschiedener Arten im gleichen Bestand sind unterschiedlich (**Tabelle 4**). Die geringe Übereinstimmung der Jahrringbreiten der verschiedenen Arten innerhalb eines Bestandes, ist dabei durch die artspezifische Wachstumsreaktion auf Umweltveränderungen (v.a. Klima) erklärbar. Laut BECK (2010) spielen dabei unterschiedliche Standorteigenschaften (z.B. Wasserspeicherkapazität der Böden) sowie die unterschiedlich ausgeprägte Standortanpassung und Konkurrenzstärke der Arten eine Rolle. Bei Arten mit einem großen natürlichen geographischen Areal können ebenso genotypische Variationen und deren phänotypische Ausprägungen eine Ursache sein (ROSE ET AL. 2009, ZANG ET AL. 2011). Für das Trockenjahr 1976 konnte zum Beispiel ZANG ET AL. (2011) und PRETZSCH (2012) höhere Zuwachseinbrüche bei der Fichte als bei der Buche nachweisen. Das intensive Herzwurzelsystem der Buche erlaubt bei Trockenheit tiefere Bodenwasservorräte effizienter auszunutzen. Im Trockenjahr selbst zeigt die Buche dadurch nur geringe Zuwachsrückgänge. Durch diese Strategie können aber die Zuwächse im Folgejahr reduziert sein (HARTL-MEIER 2014). Im Vergleich zu Fichte und Buche reagiert der Berg-Ahorn nur sehr schwach auf Trockenjahre (HARTL-MEIER & ROTHE 2013).

Betrachtet man die einzelnen Arten im gesamten Untersuchungsgebiet, werden recht homogene Wachstumsmuster ersichtlich. Innerhalb des Untersuchungsgebietes zeigen die Fichten eine hohe Übereinstimmung der Wachstumsmuster (**Tabelle 4**). Die Ähnlichkeitsbeziehung zwischen dem südexponierten Reinbestand und dem nordexponierten Mischbestand der Fichte weist geringfügig niedrigere Werte auf, was auf ein abweichendes Reaktionsmuster auf Umweltveränderungen schließen lässt. Trockenjahre wirken im nordseitigen Mischbestand auf Zuwachsverluste etwas abgemildert, wobei Reinbestände empfindlicher reagieren (PRETZSCH 2003). Dieser Effekt könnte ebenso bei den Buchen zum Tragen kommen, da auch die beiden südseitigen Buchenbestände geringfügige Unterschiede im Wachstumsmuster aufweisen. Die bereits angesprochenen Wachstumsunterschiede zwischen süd- und nordexponierten Jahrringchronologien von Berg-Ahorn und Berg-Ulme kommen auch bei der Ähnlichkeitsbeziehung zum Ausdruck. Insgesamt unterscheidet sich das Wachstum der Fichte im Vergleich zu Berg-Ahorn und Berg-Ulme signifikant (**Tabelle 4, Tabelle 15**). Neben endogenen Faktoren spielen hier auch Standortbedingungen eine Rolle. Die Fichte kommt im Untersuchungsgebiet meist nur kleinräumig auf Hangrücken vor. Die vor Lawinen und Steinschlag geschützte Lage ermöglicht ein homogeneres Wachstum. Dies wird auch durch die hohe Ähnlichkeitsbeziehung innerhalb der Fichtenbestände deutlich.

Der Klimafaktor Temperatur kommt in den Korrelationen mit der Klimastation Mallnitz (**Tabelle 7, 9**) besser zum Ausdruck. Die beprobten Laubbäume verzeichnen in dieser Hinsicht die gleichen Klimasignale und unterscheiden sich wesentlich zur Fichte. Inwiefern die etwas höheren Niederschlagsverhältnisse in Mallnitz die Bedingungen im Untersuchungsgebiet widerspiegeln, können nur Vermutungen gemacht werden. Prinzipiell sind die Korrelationen mit dem Klimafaktor Niederschlag mit der Station Malta signifikanter.

Die Klima-Wachstums-Beziehungen mit den Klimadaten der Station Malta und Mallnitz (**Tabellen 6-9**) zeigen mehrere deutliche Gemeinsamkeiten. Ein erstes hervorstechendes Klimasignal ist der negative Einfluss der Julitemperatur des Vorjahres auf das Radialwachstum der Laubbäume. Auch bei den Fichten kommt dies im Bestand 3 deutlich zum Ausdruck. Ein zweites Klimasignal ist eine positive

Beziehung zum Niederschlag im Juli des Vorjahres bei den Laubbäumen, wenngleich diese Beziehung nicht für alle Bestände signifikant nachweisbar ist. Der Einfluss der Lufttemperatur auf den Zuwachs ist negativ korreliert, während der Niederschlag positiv mit dem Wachstum korreliert ist (**Tabelle 6 und 7**). Dies lässt auf eine höhere Empfindlichkeit gegenüber Dürreperioden schließen (GRUNDMANN 2009).

Die Klimasignale des Vorjahres treten deutlich hervor. Die Bedingungen des Vorjahres sind besonders wichtig für die Speicherung von Kohlenstoff. Dieser dient als Reserve für die Bildung des Frühholzes im Folgejahr (KAHLE 1994, PIOVESAN ET AL. 2003, PFEIFER & OBERHUBER 2006). Bei den Berg-Ahorn-Bäumen kommt besonders signifikant der positive Einfluss des Niederschlags im Herbst des Vorjahres zum Ausdruck. Laut BRETT (1978) ist der Niederschlag im Herbst des Vorjahres für die Ulmen gleichbedeutend wie der Niederschlag in der aktuellen Vegetationsperiode. Die Jahrringbildung hängt so nicht nur von den aktuellen klimatischen Bedingungen ab, sondern auch von der im Vorjahr gespeicherten Kohlenhydratmenge. Dieser Zusammenhang steht möglicherweise in Beziehung zum Assimilathaushalt, welcher durch die Temperaturabhängigkeit der Photosynthese beeinflusst wird (PFEIFER & OBERHUBER 2006). Bei den Buchen wird zum Beispiel ebenfalls die Blattgröße, die schließlich die Assimilatproduktion bestimmt, durch die Witterungsbedingungen im Vorjahr festgelegt (ROLOFF 1989). Im Juli wird auch die Anlage der Knospen abgeschlossen (ROLOFF 1989). Ebenso wird die Einleitung einer Mast bei der Buche als mögliche Erklärung für den negativen Zusammenhang mit der vorjährigen Julitemperatur diskutiert (GRUNDMANN 2009). Trockene Böden in den Sommermonaten können ebenfalls zum Absterben von Feinwurzeln und Mykorrhiza führen. Die Wasser- und Nährstoffaufnahme der Wurzeln wird dadurch stark herabgesetzt, was sich in geringeren Zuwächsen im Folgejahr auswirken kann (KAHLE 1994).

Bei allen Laubbaumarten kommt, vor allem mit der Korrelation mit den Klimadaten der Station Mallnitz, der negative Wachstumseinfluss einer erhöhten Apriltemperatur in der aktuellen Vegetationsperiode zum Ausdruck. Diese Korrelation beruht vermutlich auf der erhöhten Gefahr eines Spätfrostschadens durch frühzeitiges Austreiben der Blätter. Besonders die Buche ist gegenüber Spätfrostergebnissen empfindlich (BIONDI 1993, PIOVESAN ET AL. 2003, DITTMAR & ELLING 2007). Die Ahorn- und Ulmenbestände stocken auf hohlraumreichen Blockstandorten. Die dort häufig entstehenden Kaltluftströme sorgen für eine erhöhte Spätfrostgefahr (SCHMIDT & ROLOFF 2014). Die Fichte zeigt gänzlich keine signifikante Korrelation mit der Apriltemperatur. Dies lässt darauf schließen, dass diese Art eine höhere Resistenz gegenüber Spätfrostergebnissen aufweist oder sich phänologisch von den Laubbaumarten unterscheidet. Die signifikant positive Korrelation des Radialwachstums der Fichten mit März-Temperaturen im Bestand 3 könnte auf eine bessere Wasserverfügbarkeit aufgrund einer früher beginnenden Schneeschmelze hindeuten. In anderen Studien konnte dieser Zusammenhang nicht festgestellt werden (GRUNDMANN 2009, SCHUSTER & OBERHUBER 2013).

Beim Berg-Ahorn spricht der positive Zusammenhang mit der Sommertemperatur in der aktuellen Vegetationsperiode dafür, dass es sich um eine wärmeliebende Baumart handelt. Im Gegensatz zur Fichte, welche vermehrt negativ auf überdurchschnittliche Temperaturen (v.a. Mai/Juni) in der Vegetationsperiode reagiert (GRUNDMANN 2009, MENNEL 2010, SCHUSTER & OBERHUBER 2013, HARTLMEIER & ROTHE 2013), verzeichnet der Berg-Ahorn bei einem erhöhten Wärmeangebot einen Zuwachsanstieg. Die unter Umständen damit verbundene schlechte Verfügbarkeit von Wasser wirkt sich beim Berg-Ahorn daher nicht negativ aus (HARTLMEIER & ROTHE 2013). Vielmehr ist der Berg-Ahorn in der Lage, das hohe Angebot an Nährelementen in Wachstum umzusetzen (SCHMIDT & ROLOFF 2014).

Ein deutlicher wachstumsbeeinflussender Klimafaktor bei der Fichte ist der Niederschlag. Alle beprobten Fichten reagieren hier positiv auf die Juliniederschläge des aktuellen Jahres. Bei der Fichte sind Niederschläge in der Vegetationsperiode maßgeblich für das Wachstum. Steht viel Wasser zur Verfügung, kann ein Baum seinen wasserleitenden Querschnitt vergrößern, um das erhöhte Wasserangebot zu nutzen (GRUNDMANN 2009). Vor allem trockene Sommer führen im Gegenzug zu einer deutlichen Zuwachsreduktion.

Expositionseffekte bei den Klimasignalen ergeben sich nur bei den Fichten im Bestand 1. Diese reagieren auf Juliniederschläge der aktuellen Vegetationsperiode positiv. Die Korrelationskoeffizienten des Niederschlags sind tendenziell auf der Nordseite etwas niedriger, als auf der Südseite (**Tabelle 8**). Dies lässt auf eine abgeschwächte Reaktion auf Klimaveränderungen bei den nordexponierten Fichten schließen. HARTL-MEIER und ROTHE (2013) erwähnen den gleichen Expositionseffekt bei Untersuchungen in den nördlichen Kalkalpen. Zusammenfassend erfolgen im Untersuchungsgebiet vor allem artspezifische Reaktionen auf die Klimafaktoren Temperatur und Niederschlag. Standortsspezifische Reaktionen sind weniger relevant.

4.3.2 Wachstumsextreme und Klima

Die untersuchten Baumarten weisen extreme Wuchsjahre auf, die sich durch deutliche Wachstumseinbrüche bzw. -zunahmen zeigen (**Tabelle 5**). Dabei zeigen die verschiedenen Baumarten teils unterschiedliche Klima-Wachstums-Beziehungen. Die Diskussion der extremen Wuchsjahre erfolgt anhand ausgewählter markanter Jahre. Der Fokus wird auf extreme Wuchsjahre gelegt, in welchen alle Arten eine Wachstumsreaktion zeigen.

Im Jahr **1968** weisen alle beprobten Baumarten in allen Beständen eine extreme Zuwachsreduktion auf (**Tabelle 5**). Laut NEUWIRTH (2004) handelt es sich dabei um ein stark negatives Weiserjahr, vor allem für den Bereich der Südostalpen. Der April war sehr trocken und mit einer Temperatur von mehr als 1.5°C über dem langjährigen Mittel (1961-1990) sehr warm. So könnte die erhöhte Anfälligkeit für Spätfröste in diesem Jahr eine Rolle spielen, da bei höheren Apriltemperaturen ein frühzeitiges Austreiben begünstigt wird (DITTMAR & ELLING 1999). Besonders die Berg-Ulmen heben sich hervor, obwohl diese im Jahr 1967 noch eine extrem positive Zuwachsreaktion zeigen. Dies könnte auf die hohen Sommer- und Herbstniederschläge des Jahres 1966 und einen kühlen Juli in der Vegetationsperiode 1967 zurückzuführen sein. BRETT (1978) bestätigt die Relevanz der Niederschläge des Vorjahres auf das Wachstum der Ulmen im Folgejahr.

Das ausgeprägte Trockenjahr **1976** wird als europaweit negatives Weiserjahr angesehen (DITTMAR & ELLING 1999, UTSCHIG ET AL. 2004, GRUNDMANN 2009). Dieses Jahr war vor allem durch extrem trockene Bedingungen im Frühjahr und Sommer gekennzeichnet. Eine Reaktion auf dieses Trockenjahr zeigt insbesondere die Fichte. Auffallend ist die hohe Zuwachsreduktion bei den Reinbeständen (Bestand 3). Der Wachstumseinbruch der Buchen im Jahr 1976 fällt abgeschwächer aus. Die Ursache für den geringeren Wachstumseinbruch der Buche könnte in physiologischen Mechanismen begründet sein (HARTL-MEIER 2014), welche bereits diskutiert wurden (vgl. 4.2.2).

Im Jahr **1979** gibt es bei allen Arten eine extrem positive Zuwachsreaktion. Im Vorjahr entsprachen die Niederschläge dem langjährigen Mittel, während die Temperaturen in den Sommermonaten um 1,3°C unter dem Durchschnitt lagen. Die Vegetationsperiode verzeichnete überdurchschnittliche

Frühjahrs- und Sommerniederschläge (v.a. April). Auch DITTMAR und ELLING (1999) weisen das positive Wuchsjahr 1979 in Verbindung mit kühler und feuchter Witterung aus.

Überdurchschnittliche Sommertemperaturen in Zusammenhang mit dem Auftreten von Dürreperioden, dürften den Wachstumseinbruch der Fichte im Jahr **1992** verursacht haben. Die Sommertrockenheit hat hier Parallelen zum Jahr 1976, wobei das Frühjahr durchschnittliche Witterungsbedingungen verzeichnete. Die beprobten Laubbaumarten verzeichnen für das Folgejahr 1993 eine stark negative Wachstumsreaktion. Einerseits könnte dies auf eine Folgereaktion auf den warm-trockenen Sommer 1992 hindeuten. Andererseits war die beginnende Vegetationsperiode ebenfalls sehr warm und mit geringen Niederschlägen gekoppelt, ehe im Sommer starke Niederschläge einsetzten. Die intensiven Sommerniederschläge wirkten sich positiv auf das Wachstum der Fichten aus. Die Laubbäume konnten in dieser Hinsicht nicht mehr von den Niederschlägen profitieren.

In den Jahren **1997** und **1998** fällt eine extrem positive Abweichung im Wachstum aller Arten und Bestände auf. Als Initialzündung für diese beiden guten Wachstumsjahre fungierte wahrscheinlich der Herbst 1996, welcher extrem überdurchschnittliche Niederschläge aufwies. Vor allem Berg-Ahorn und Berg-Ulme kommen höhere Herbstniederschläge zugute. Das Frühjahr 1997 verlief ausgesprochen kühl und trocken. Der Sommer verzeichnete wieder überdurchschnittliche Niederschläge. Das folgende Jahr verzeichnete feucht-warme Witterungsverhältnisse mit Niederschlagsmaxima von bis zu 125% über den langjährigen Mittel im Juli. Möglicherweise spielten für diese beiden guten Wachstumsjahre die generell warm-feuchten Bedingungen und hohe Niederschläge eine Rolle. Diese waren besonders in den Sommer- und Herbstmonaten intensiv. Aufgrund der Herbstniederschläge des Vorjahres und der kühlen Bedingungen zu Beginn der Vegetationsperiode 1997, hatte die Frühjahrestrockenheit offensichtlich keinen Einfluss auf das Wachstum.

Unterschiedliche artspezifische Wachstumsreaktionen gibt es im Jahr **2003**, welches in der Literatur als extremes Hitze- bzw. Trockenjahr angesehen wird (BENISTON 2004, PRETZSCH 2012, UTSCHIG ET AL. 2003). Der Berg-Ahorn verzeichnet in diesem Jahr sogar überdurchschnittliches Wachstum. Dies ist ein Beispiel dafür, dass der Berg-Ahorn mit einem Zuwachsanstieg auf das erhöhte Wärmeangebot reagiert (HARTL-MEIER & ROTHE 2013). Das Wachstum der Berg-Ulmen bricht im Jahr 2003 markant ein. Hier könnte nicht nur der heiße Sommer, sondern auch das überdurchschnittlich warme Frühjahr von Bedeutung sein. Bei der Berg-Ulme handelt es sich um eine mesophile Baumart, welche eher kühl-feuchte Bedingungen bevorzugt (WALTER 1931). Das Wachstum der Fichte bricht erst im darauffolgenden Jahr markant ein. Aufgrund der hohen Temperaturen im Jahr 2003 könnte dieser Zuwachseinbruch ein Folgeeffekt sein. Dieser Zusammenhang ist möglicherweise mit einem negativen Kohlenstoffhaushalt erklärbar. Das Jahr 2004 war warm, verlief bei den Niederschlägen aber im Normbereich. Die Buchen zeigen in diesen beiden Jahren keine extremen Abweichungen.

Weist die Analyse des Klimaeinflusses auf das Baumwachstum (**Tabellen 10-13**) in den früheren Zeitfenstern (1954-1983, 1969-1998) ein heterogenes Muster auf (d.h. das Wachstum der Baumarten reagiert ungleichmäßig auf die untersuchten Klimafaktoren), so wird der Klimaeinfluss im aktuellen Zeitfenster (1984-2013) deutlich homogener. Auffallend ist die Zunahme der negativen Korrelationsmuster. So kommt zum Beispiel der negative Einfluss einer erhöhten Apriltemperatur in der aktuellen Vegetationsperiode in den früheren Zeitfenstern nicht zum Ausdruck. Eine mögliche erhöhte Spätfrostanfälligkeit im April hat sich somit erst in den letzten Jahrzehnten bei den untersuchten Laubbäumen entwickelt. Die zunehmenden negativen Korrelationen könnten auf eine Reaktion auf steigende Temperaturen hinweisen. Im globalen Mittel betrug diese im Zeitraum von 1880 bis 2012

0,85°C (IPCC 2013), wobei für den Alpenraum der Temperaturanstieg im 20. Jahrhundert bei 1,2°C lag. Die stärkste Erwärmung fand besonders in den letzten Jahrzehnten statt (AUER ET AL. 2007). Dafür spricht auch die zunehmende Korrelation zwischen Sommertemperatur und Wachstum bei den Berg-Ahorn-Bäumen (**Tabellen 9, 12,13**). Langfristig könnten sich somit höhere Temperaturen, sobald keine Spätfrostgefährdung mehr besteht, positiv auf das Wuchsverhalten des Berg-Ahorns auswirken. Dies bestätigen auch HARTL-MEIER & ROTHE (2013) bei Untersuchungen an Berg-Ahorn in den Nördlichen Kalkalpen. Ebenso kann das, in den Perioden immer stärker werdende, Klimasignal des Herbstniederschlags im Vorjahr auf eine erhöhte Sensitivität des Berg-Ahorns hinweisen. Obwohl die Fichte die höchsten jährlichen Zuwachsschwankungen und auch die höchsten Wachstumseinbrüche in Trockenjahren aufweist (**Abbildung 23**), sind deutliche Trends nicht erkennbar. Die Abhängigkeit von Sommerniederschlägen kommt erst in der Periode 1984-2013 zum Vorschein. Dies könnte auf eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber Trockenperioden in Zukunft hindeuten (GRUNDMANN 2009). Bei Buche und Berg-Ulme ist ebenso kein eindeutiger Trend in den Klimasignalen erkennbar. Der negative Einfluss höherer Temperaturen im Juli des Vorjahres und im April des aktuellen Jahres zeigt sich erst in der letzten Periode. Im Zuge der prognostizierten Erwärmung (IPCC 2013) könnten sich diese negativen Klimasignale verstärken. Es wird im Gegenzug angenommen, dass zukünftige höhere Temperaturen eine Verlängerung der Vegetationsperiode bewirken und so zu einem Wachstumsgewinn in Hochlagen führen werden (GRUNDMANN 2009, LINDNER ET AL. 2010).

4.4 Schlussfolgerungen

4.4.1 Klimaeinfluss und Wachstumstrends

Im Rahmen dieser dendroökologischen Untersuchung wurde festgestellt, dass es bei den untersuchten Baumarten Fichte, Berg-Ahorn, Berg-Ulme und Buche zu artspezifischen Wachstumsreaktionen kommt. Die Fichte zeigt die höchste Anfälligkeit auf Dürreperioden. Im Gegensatz dazu zeigt der Berg-Ahorn in warmen Sommermonaten gesteigerte Zuwächse. Alle Laubhölzer reagieren negativ auf überdurchschnittliche Apriltemperaturen, was auf eine erhöhte Spätfrostanfälligkeit hinweisen kann. Bei Berg-Ahorn und Berg-Ulme kommt der wesentliche Einfluss der Niederschläge des Vorjahres zum Ausdruck. Außer den Fichten im Bestand 1 korrelieren alle untersuchten Baumarten negativ mit einer erhöhten Julitemperatur des Vorjahres. Im Vergleich zu inneralpinen Trockenstandorten wirken sich Dürreperioden in abgeschwächter Form auf das Radialwachstum der untersuchten Baumarten aus. Das hohe Baumalter bringt die Naturnähe und den urwaldartigen Charakter der Bestände zum Ausdruck. Weitgehend konstante Trends im Grundflächenzuwachs aller Baumarten deuten auf intakte Umweltbedingungen hin. Das Wachstum der Bestände wurde im Zuge der Wasserableitungen des Kraftwerksbaues somit nicht negativ beeinflusst.

Für die zukünftige Sicherung der Bestände könnten folgende Maßnahmen von Bedeutung sein.

4.4.2 Bestandsverjüngung

Der Verjüngung der Bestände ist laut KIRCHMEIR & JUNGMEIER (1999) höchste Priorität einzuräumen. Besonders die Buchenbestände sind aufgrund der Überalterung gefährdet, da die Buchenverjüngung durch den hohen Wilddruck unterbunden ist. Langfristig wäre die Reduktion des Wildbestandes auf ein ökologisch verträgliches Maß die nachhaltigste Lösung (SCHERZINGER 1996).

4.4.3 Entwicklung des Ulmensterbens

Nur einzelne Individuen sind bisher im Gößgraben von der Holländischen Ulmenwelke verschont geblieben. Über die zukünftige Entwicklung des Ulmensterbens können nur Vermutungen gemacht werden. Dabei gilt es zu beobachten, ob einzelne Individuen ein höheres Resistenzniveau aufweisen. Diese könnten für zukünftige Züchtungen bedeutsam sein.

4.4.4 Auswirkungen des Klimawandels

Die Klimamodelle prognostizieren einen weiteren Temperaturanstieg (IPCC 2013). In Kombination mit möglichen Niederschlagsreduktionen in manchen Regionen (v.a. in den Ostalpen) wird der Klimawandel eine wichtige Rolle bei der zukünftigen Entwicklung der Bergwaldvegetation spielen (ENGLER ET AL. 2011). Die durchgeführte Klima-Wachstums-Beziehung deutet auf einen zunehmend negativen Einfluss der Temperatur hin. Der Klimaeinfluss hat sich in den letzten Jahren verstärkt auf das Wachstum aller untersuchten Baumarten ausgewirkt. Die Zunahme von Extremereignissen ist wahrscheinlich (IPCC 2013). Zunehmende Trockenperioden können schwerwiegende Konsequenzen für die Vitalität der Bäume mit sich bringen (FUHRER ET AL. 2006). Um zukünftige negative wie positive Auswirkungen des Klimawandels auf die Bestände im Gößgraben beurteilen zu können, sind weitere Untersuchungen notwendig. Als erster Schritt wäre der Aufbau einer Klimastation in unmittelbarer Nähe zu den Beständen sinnvoll, um die kleinklimatischen Verhältnisse zu erfassen. Die art- und/oder standortspezifische intraannuelle Dynamik (Beginn, Maximum, Ende) des Radialwachstums könnte zudem mittels hochauflösender Dendrometer und Mikrobohrkernen analysiert werden.

5. Fachdidaktische Aufarbeitung

5.1 Theoretische Grundlagen

Im Gegensatz zur alten, heute nicht mehr angemessenen oder ausreichend angesehenen, Vorstellungen von Unterricht etabliert sich in der aktuellen didaktischen Forschung vielmehr der Begriff einer neuen Unterrichtskultur (GUDJONS 2006). Im gewöhnlichen Unterricht steht das deklarierte Wissen im Vordergrund. Die Inhalte werden dafür reduziert, zerlegt und vereinfacht. Es handelt sich somit um eine bloße Weitergabe feststehender, strukturierter Wissensbestände (WEBER 2004). Vor allem der im Regelunterricht häufig angewendete Frontalunterricht geht davon aus, dass die Lernenden extrinsisch motivierte Wesen sind, welche Verantwortung abgeben und Wissen nur konsumieren möchten. Es handelt sich dabei meist um gedächtnisorientierten Unterricht, da Daten und Fakten im Kurzzeitgedächtnis gespeichert werden (WEBER 2004). Lernen ist aber vielmehr ein Prozess oder ein Ergebnis einer aktiven Auseinandersetzung des Lernenden mit seiner Umwelt und stellt einen höchst individuellen, konstruktiven Prozess dar (GUDJONS 2006). Das alte Lernverständnis wird dem selbstverantwortlichen, nachhaltigen und transferwirksamen Lernen nach den heutigen kognitionspsychologischen Erkenntnissen nicht mehr gerecht (WEBER 2004). Die didaktische Konsequenz daraus lautet, diesen aktiven Prozess des Lernens bei Schülerinnen und Schülern so intensiv wie möglich zu unterstützen. Schulischer Unterricht muss daher die aktive, selbstorganisierte und eigenständige Rolle der Schülerinnen und Schüler beachten und ausdrücklich fördern (GUDJONS 2006). Im Sinne einer neuen Unterrichtskultur verändert sich somit auch die Rolle der Lehrperson (GUDJONS 2006). Folgend werden zwei didaktische Theorien vorgestellt, an denen sich die, im Rahmen der fachdidaktischen Aufbereitung der Diplomarbeit, erstellten Unterrichtseinheiten orientieren.

5.1.1 Forschendes-problemorientiertes Lernen

Bei forschend-problemorientiertem Lernen handelt es sich um einen Unterricht, welcher nicht nur systematisches und strukturiertes Wissen vermittelt, sondern von Problemsituationen ausgeht und Problemlösungen ermöglicht (BÖNSCH 2000, SCHMIDKUNZ & LINDEMANN 2003). Es wird angenommen das Lernen einen aktiv-konstruktiven, selbstgesteuerten, situativen und sozialen Prozess darstellt (BÖNSCH 2000). Die Problemsituationen sollen authentisch und für den Lernenden relevant sein. Sie sollen neugierig und auch betroffen machen. Die Lernenden müssen den potentiellen Nutzen des erworbenen Wissens für reale Herausforderungen kennen und verstehen (REINMANN-ROTHMEIER & MANDL 2001). PISA definiert problemorientiertes Lernen als „die Fähigkeit einer Person, kognitive Prozesse zu nutzen, um sich mit solchen realen, fächerübergreifenden Problemstellungen auseinanderzusetzen und sie zu lösen, bei denen der Lösungsweg nicht unmittelbar erkennbar ist ...“. Dieses Verständnis des problemorientierten Lernens zielt auf die Förderung der Problemlösungskompetenz (OECD 2003, zit. nach LEUTNER ET AL. 2004). Das Leitkonzept der Problemorientierung stellt dabei eine Brücke zwischen der traditionellen und der konstruktivistischen Lehr-Lernphilosophie dar (MANDL ET AL. 1998).

Nach SCHMIDKUNZ & LINDEMANN (2003) durchlaufen die Schülerinnen und Schüler einen Erkenntnisprozess, welcher in einzelne Stufen gegliedert werden kann:

- Stufe der Problemgewinnung
- Überlegung zur Problemlösung
- Durchführung eines Lösungsvorschlages
- Abstraktion der gewonnenen Erkenntnisse
- Wissenssicherung

Des Weiteren führen REINMANN-ROTHMEIER & MANDL (2001) Leitlinien an, auf welchen der problemorientierte Unterricht basiert:

- Situatives lernen anhand authentischer Probleme (Anwendungsbezug)
- Lernen in/unter multiplen Kontexten und Perspektiven
- Lernen in einem sozialen Kontext
- Lernen mit Hilfe von instruktionaler Unterstützung der Lehrperson

Der Aspekt des Forschenden Lernens fügt dem problemorientierten Lernen eine wissenschaftliche Komponente hinzu. Beim Forschenden Lernen gestalten, erfahren und reflektieren die Schülerinnen und Schüler den Prozess eines Forschungsvorhabens in seinen wesentlichen Phasen. Von der Entwicklung der Fragestellungen und Hypothesen über die Wahl und Ausführung der Methode bis zur Prüfung und Darstellung der Ergebnisse (HUBER 2009).

5.1.2 Konstruktivistische Didaktik

„Ich habe es dir doch erklärt.“ – Besonders in Lehr-Lernprozessen begegnet man dieser Situation häufig. Dabei kommt zwangsläufig die Frage auf: Warum verstehen die Kommunikationspartner die Botschaft nicht? Hinter dieser Frage steht die Vorstellung, dass Wissen wie ein Gut von einer Person zur anderen weitergegeben werden kann (RIEMEIER 2007). Im Gegensatz zu dieser kognitivistischen Auffassung vom Lernen steht die konstruktivistische Sichtweise. Diese geht davon aus, dass Lernende ihr Wissen in einem aktiven und selbstgesteuerten Prozess konstruieren (**Abbildung 34**). Die Anknüpfungspunkte für solche Konstruktionsprozesse bilden die bereits verfügbaren Vorstellungen des Lernenden. Eine reine Weitergabe von Wissen ist hiernach nicht möglich (RIEMEIER 2007).

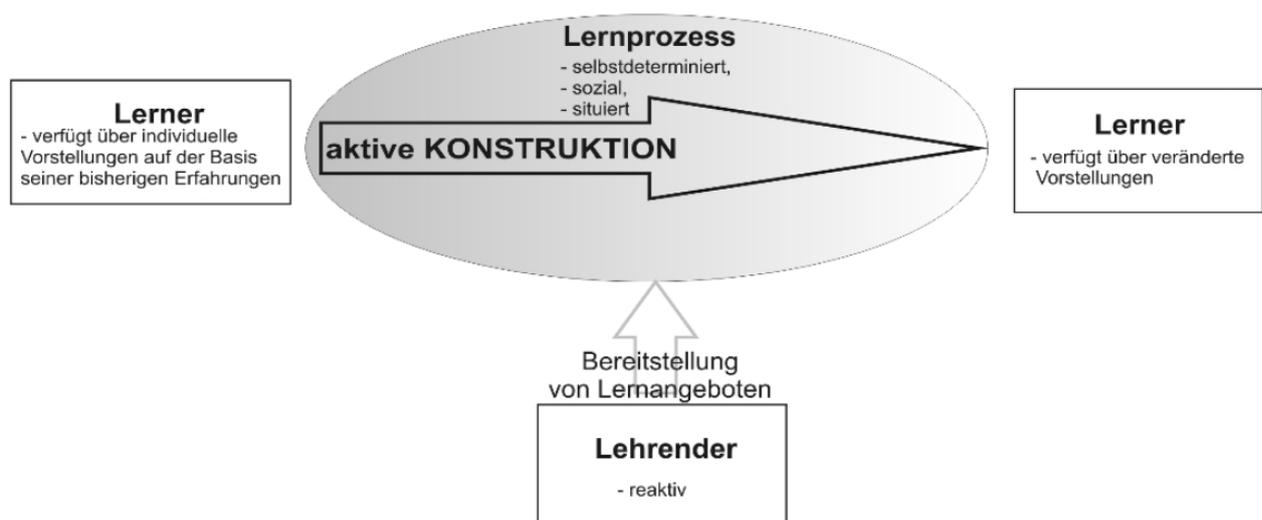


Abbildung 34: Elemente der konstruktivistischen Sichtweise vom Lernen (RIEMEIER 2007).

Von der erkenntnistheoretischen Position des radikalen Konstruktivismus, welcher davon ausgeht, dass alles Wissen über die Realität eine Konstruktion von Menschen ist, wurde schließlich eine Auffassung über das Lernen, nämlich der moderate Konstruktivismus abgeleitet (GLASERFELD 1997, RIEMEIER 2007). Dieser setzte sich im Verlauf der letzten 15 bis 20 Jahre als vorherrschendes Paradigma für die Lehr-Lernforschung durch (DUIT 1995). Im Mittelpunkt steht der Lerner und dessen Lernprozess, der folgendermaßen charakterisiert werden kann (WIDODO 2004, MANDL 2006):

- Lernen ist **konstruktiv**: Als Ausgangspunkt für Lernprozesse dient ein Anknüpfen an die lebensweltlichen Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler.
- Lernen ist **selbstdeterminiert**: Die Umgebung kann den Lernprozess lediglich anregen oder auslösen.
- Lernen ist **individuell**: Lernprozesse sind immer an die individuellen kognitiven Systeme der Lernenden gebunden. Auch emotionale Aspekte (z.B. Motivation) spielen eine Rolle.
- Lernen ist **sozial**: Lernen findet innerhalb einer sozialen Interaktion statt.
- Lernen ist **situier**t: Lernen findet in kontextgebundenen Situationen statt (Wissen ist mit inhaltlichen und sozialen Erfahrungen der Lernsituation verbunden).

Das Lernen stellt einen Prozess dar und wird als eine konstruktivistische Tätigkeit angesehen (WEBER 2004). Das Wissen ist dabei das Produkt eines aktiven und individuellen Konstruktionsprozesses, welcher von Faktoren wie Raum, Zeit, Lernumgebung, etc. abhängig ist (WEBER 2004). Die Aufgabe des Lehrenden besteht darin, solche Lernangebote zu schaffen, in denen ausgehend von den Vorerfahrungen der Lernenden ein Konstruieren und Restrukturieren von Vorstellungen möglich wird (RIEMEIER 2007). Methodenvielfalt im Unterricht kann dabei den individuellen Konstruktionsprozess des Lernenden positiv beeinflussen. Die Merkmale des konstruktivistischen Lernens stehen in enger Beziehung mit dem Erwerb von Kompetenzen (z.B. Personal-, Sozial-, Fach- und Methodenkompetenz) (WEBER 2004).

5.2 Schul- und Unterrichtsrelevanz

Folgender Abschnitt (6.2) beinhaltet Informationen des aktuellen Lehrplans für die AHS- Unterstufe im Fach Biologie und Umweltkunde. Dieser wurde am 11. Mai 2000 im Bundesgesetzblatt kundgemacht (BGBl. II Nr. 133/2000) und kann unter folgendem Link eingesehen werden: [https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs5_779.pdf?4dzgm2, zugegriffen am 20.6. 2015].

Der Unterricht im Fach Biologie und Umweltkunde in der AHS Unterstufe ist so zu konzipieren, dass folgende Unterrichtsziele realisiert werden können. Einen Schwerpunkt bilden dabei, neben Mensch und Gesundheit, die Themenbereiche Tiere und Pflanzen sowie Ökologie und Umwelt.

- Die Schülerinnen und Schüler sollen zentrale biologische Erkenntnisse gewinnen, Prinzipien, Zusammenhänge, Kreisläufe und Abhängigkeiten sehen lernen und Verständnis für biologische bzw. naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen erwerben.
- Die Schülerinnen und Schüler sollen die Abhängigkeit der Menschen von Natur und Umwelt begreifen und Wissen, Fähigkeiten/Fertigkeiten erwerben, die sie für einen umweltbewussten, nachhaltigen Umgang mit unseren Lebensgrundlagen motivieren und befähigen (ökologische Handlungskompetenz).

- Die Schülerinnen und Schüler sollen ein biologisches „Grundverständnis“ erwerben und positive Emotionen für Natur und Umwelt entwickeln.
- Personale und soziale Kompetenzen wie Kommunikationsfähigkeit, Kooperation, Konflikt- und Teamfähigkeit, emotionale Intelligenz sollen erworben bzw. gefördert werden.

Bei der Unterrichtsvorbereitung sollten didaktische Grundsätze berücksichtigt werden. So ist, bei der Auswahl der Inhalte und Methoden als auch durch Anwendung des Wissens, auf den Lebensweltbezug der Schülerinnen und Schüler und auf gesellschaftsrelevante Aspekte zu achten. Die Schülerinnen und Schüler sollten zu selbstständigem Arbeiten und zur Problemlösefähigkeit unter Anwendung bestimmter Arbeitstechniken (Beobachten, Vergleichen, Darstellen,...) angeregt werden. Hierzu sind geeignete Hilfsmittel (z.B. Lupe, Mikroskop, Computer, Fachliteratur) zu verwenden. Es sollten einfache Experimente und Messverfahren durchgeführt werden. Fächerübergreifendes und projektorientiertes Arbeiten ist zu fördern. Durch Exkursionen, Arbeiten im Freiland und pflegenden Umgang mit Tieren und Pflanzen ist Naturbegegnung anzustreben. Lern- und Sozialformen wie etwa Gruppenarbeiten, soziales Lernen, offene Lernformen sollen die soziale wie personale/emotionale Kompetenz der Schülerinnen und Schüler fördern. Bei den Themenbereichen Tiere und Pflanzen bzw. Ökologie und Umwelt ist hervorzuheben, dass den typischen heimischen Arten für die jeweiligen Ökosysteme Vorrang zu geben ist. Des Weiteren sind auch solche Arten zu berücksichtigen, die besondere Bedeutung für den Menschen haben. Die Schülerinnen und Schüler sollen einen Einblick in die Vielfalt der Organismen erhalten und deren wesentliche Charakteristika kennen lernen. Das Kennenlernen von Organismen und ihr Zusammenwirken, die Einsicht in die Zusammenhänge zwischen belebter und unbelebter Natur, sowie Umweltprobleme und Schutzmaßnahmen stehen im Mittelpunkt. Ziel ist eine solide Basis für umweltfreundliches Handeln und Verhalten.

Die Themengebiete Dendrochronologie und Vergleich von Ökosystem bzw. die Ökologie naturnaher Wälder lassen sich in den Lehrstoff der 1. und 2. Klasse einfügen. Konkret beinhaltet der Lehrplan für die 1. und 2. Klasse der AHS Unterstufe im Themenbereich Tiere und Pflanzen folgendes:

- An Beispielen ausgewählter einheimischer Vertreter aus dem Tier- und Pflanzenreich sind Bau und Funktion sowie Zusammenhänge zwischen Bau, Lebensweise und Umwelt zu erarbeiten. Bei der Auswahl sollen jene Organismen im Vordergrund stehen, die für das Ökosystem Wald von Bedeutung sind oder den Erlebnisbereich der Schülerin oder des Schülers bilden.

Der Themenbereich Ökologie und Umwelt beinhaltet in der 1. und 2. Klasse der AHS Unterstufe folgendes:

- Anhand der Ökosysteme Wald und heimisches Gewässer sind ökologische Grundbegriffe zu erarbeiten und zu vertiefen.
- Positive wie negative Folgen menschlichen Wirkens sollen thematisiert und hinterfragt werden. Umweltprobleme, deren Ursachen und Lösungsvorschläge, sind zu bearbeiten. Umwelt-, Natur- und Biotopschutz sollen an konkreten Beispielen demonstriert werden.

Folgend werden an den Lehrplan der AHS Unterstufe angelehnte Unterrichtseinheiten vorgestellt, die den Bedürfnissen von Schülerinnen und Schüler der 1. und 2. Klasse angepasst wurden. Die erste Unterrichtseinheit behandelt dabei das Themengebiet Dendrochronologie anhand des Leitsatzes „Was der Jahrring alles kann“ und beinhaltet die Theorie des forschend-problemorientierten Unterrichtes. Bei der zweiten Unterrichtseinheit handelt es sich um eine Exkursion, welche auf konstruktivi-

vistisch didaktischen Prinzipien aufgebaut wurde und einen Vergleich zweier Waldökosysteme (Naher Wald und Wirtschaftswald) thematisiert. Für die Unterrichtseinheit „Was der Jahrring alles kann“ ist eine Doppelstunde vorgesehen. Für den intensiven Vergleich zweier Waldökosysteme wird eine ganztägige Exkursion eingeplant.

5.3 Unterrichtseinheit „Was der Jahrring alles kann“

5.3.1 Rahmenbedingungen und Lernziele

Diese Unterrichtseinheit berücksichtigt die Theorie des forschenden und problemorientierten Lernens. Das selbstständige Lösen von Problemen soll durch diese Doppelseinheit gefördert werden. Durch die geschaffene Problemsituation sind die Schülerinnen und Schüler aktiv tätig und handeln eigenständig. Durch die Gruppensituation wird die soziale Kompetenz gefördert. Ebenso wird auf die Aneignung von persönlichen Kompetenzen (z.B. Kurzpräsentationen) geachtet. Die Lehrperson fungiert dabei nur als Moderator und bietet den Schülerinnen und Schülern Hilfestellungen an. Neben dem Erwerb von Fachwissen werden auch naturwissenschaftliches Arbeiten und Denken (Hypothesen aufstellen, Skizzen zeichnen) geübt.

Für die Durchführung werden Baumscheiben benötigt. Da keine sehr hohe Anzahl an Jahrringen auf den Baumscheiben benötigt wird, sollten Bäume im Jugendstadium bevorzugt werden. Diese sollen alle vom gleichen Baum stammen, um die Gruppenarbeiten besser vergleichbar zu machen. Die Baumscheiben sollten weiters von Standorten mit guten Wachstumsbedingungen stammen, da die Jahrringe hier deutlicher zu erkennen sind. Im Rahmen eines **fächerübergreifenden Unterrichtes** können die Baumscheiben auch im z.B. Werkunterricht von den Schülerinnen und Schülern selbstständig geschnitten und geschliffen werden.

Diese Unterrichtseinheit beinhaltet mehrere Lernziele. Es soll die Struktur eines Jahrringes, sowie der Einfluss des Klimas auf die Jahrringbreite erkannt werden. Durch das Erkennen der Jahrringstruktur werden Rückschlüsse über das Wachstum von Bäumen gezogen. Mit dem Konzept des forschenden Lernens wird ein Berührungspunkt mit wissenschaftlichem Arbeiten geschaffen.

Zeit	Inhalte	Methoden	Ziel	Material
1-5	Begrüßung, Klassenregister, Überblick über heutige Doppelseite		Organisatorisches erledigen	
5	Stundenwiederholung In der letzten Einheit wurde idealerweise das Baumwachstum besprochen.	Lehrer-Schüler Gespräch	Stoffwiederholung, Kontrolle und Festigung	
15	Concept Cartoon Jahrringe Die SuS sollen sich für eine richtige Aussage entscheiden und diese Hypothese auch begründen!	Gruppenarbeit	Aufstellung von Hypothesen, Aufgreifen und Anknüpfen an Schülervorstellungen	Arbeitsblatt Concept Cartoon (Anhang 7.4)
10	Präsentation und Sammlung der Hypothesen Die Gruppen präsentieren ihre Hypothesen. Die LP sammelt wesentliche Aspekte an der Tafel.	Kurzpräsentation	Informationsaustausch	Tafel / Flipchart
30	Analyse von Baumscheiben Die Gruppen bekommen Baumscheiben ausgeteilt. Sie sollten dabei folgende Forschungsfragen mithilfe Mikroskop/Lupe/Lineal beantworten: Forschungsfrage 1: Woran erkennt man das Alter eines Baumes? Forschungsfrage 2: Ermittle das Alter des gefällten Baumes? Forschungsfrage 3: Sind die Jahrringe immer gleich breit? Begründe? Forschungsfrage 4: Beschreibe die Struktur eines Jahrringes.	Gruppenarbeit	problemorientiertes-forschendes Lernen	Baumscheiben gutwachsender Bäume wie z.B. Fichte/Lärche, Durchmesser ungefähr 20 cm (Jugendstadium), Lineal, Bleistift, Mikroskop oder Lupe, ev. Kreide (Kontrastverstärkung), Tafel
10	Besprechung der Forschungsfragen Vervollständigen von Wissen über Jahrringe und Baumwachstum	Lehrer-Schüler Gespräch	Zusammenhänge verstehen, Beseitigen von Unklarheiten, Zwischensicherung	Schülerheft
10	Baumscheibe ins Heft skizzieren Die SuS zeichnen eine Skizze der Baumscheibe (Querschnitt) und eine Detailzeichnung eines Jahrringes ins Heft (ca. ½ Seite).	Einzelarbeit	Übung von naturwissenschaftlichen Zeichnen	Schülerheft
5	Beschriften der Skizzen Benennen der verschiedenen Strukturen eines Jahrringes bzw. einer Baumscheibe	Lehrer-Schüler Gespräch	Festigung / Sicherung	Schülerheft, ev. Tafel
10	Überprüfung der erstellten Hypothesen, Übertragung eines Merksatzes: <i>„Der Jahrring stellt eine jährliche Zuwachsschicht dar, die im Holz oder Bast entstanden ist. Er ist die Folge der unterschiedlichen Struktur des im Früh- und Spätsommer gebildeten Früh- bzw. Spätholzes. Deutliche Jahrringgrenzen ergeben sich aus dem winterlichen Wachstumsstilstand. Der jährliche Zuwachs ist von der Baumart und den Wachstumsbedingungen (v.a. Temperatur und Niederschlag) abhängig.“</i>	Lehrer-Schüler Gespräch, Einzelarbeit	Festigung / Sicherung	Arbeitsblatt Concept Cartoon (Anhang 7.4), Schülerheft, ev. Tafel

5.3.2 Stundenplanung

5.4 Exkursion „Vergleich von Waldökosystemen“

5.4.1 Rahmenbedingungen und Lernziele

Die folgende ganztägige geplante Exkursion ist auf Prinzipien des moderaten Konstruktivismus aufgebaut. Dabei wird die reine Reproduktion von Wissen gezielt vermieden. Die Schülerinnen und Schüler sollen bewusst Verantwortung übernehmen und eigenständig handeln. Ein besonderes Augenmerk liegt auf den Erwerb von Kompetenzen. Die Selbstständigkeit und Lösung von Aufgaben und Problemen sollen gefördert werden. Die Lehrperson ist dabei nur als Moderator tätig und bietet den Schülerinnen und Schülern Hilfestellungen an. Auf der geplanten Exkursion wird die Möglichkeit geboten, im Sinne einer konstruktivistischen Didaktik Wissen selbst zu konstruieren.

Für die Durchführung der Exkursion werden zusätzliche Materialien benötigt. Die Forschungsarbeiten werden in vier Gruppen ausgeführt. Jede Gruppe stellt ein gewisses Themengebiet dar (Biodiversität, Boden, Vegetation, Zoologie). Die Materialien sind für die einzelnen Gruppen sortiert bereitzustellen. Neben den aufgelisteten Materialien (**Tabelle 18**), welche die Lehrperson bereitstellt, sollten die Schülerinnen und Schüler einen Notizblock und Stifte mitbringen. Im Rahmen der Exkursionsvorbereitung sollte der Hinweis auf angepasste Kleidung und Schuhwerk, sowie ausreichender Jause gegeben werden. Die Schülerinnen und Schüler werden ebenso darauf hingewiesen ihre Forschungsarbeiten anhand von Fotos (Smartphone, Kamera) zu dokumentieren. Die Fotos können später für die Gruppenposter verwendet werden.

Tabelle 18: Materialbedarf der einzelnen Gruppen.

Gruppe	Biodiversität	Boden	Vegetation	Zoologie
Material	30 m Maßband	2 m Maßstab	30 m Maßband	30 m Maßband
	Bestimmungsbücher (botanische u. zoologische)	Verschiedene Plastikbehälter	Botanisches Bestimmungsbuch	Zoologisches Bestimmungsbuch
	Insektengläser	Gläser	Bestimmungsbücher für Vegetation	Weißer Tücher
	Insekten Streifnetz	Lupen	Baumhöhenmesser	Insekten Streifnetz
	Lupen	Handschuhe		Insektengläser
	Fernglas			Lupen

Diese Exkursion beinhaltet mehrere Lernziele. Anhand konstruktivistischer Prinzipien sollten die Schülerinnen und Schüler selbstständig verschiedene Waldökosysteme vergleichen. Von den jeweiligen Gruppen werden Hypothesen aufgestellt. Diese Hypothesen sollten anschließend selbstständig verifiziert bzw. falsifiziert werden. Neben der direkten Naturerfahrung weist diese Exkursion Berührungspunkte mit wissenschaftlichen Arbeiten, Bestimmungsübungen und Feldforschung auf. Positive wie negative Folgen menschlichen Wirkens sollen hinterfragt werden. Um die erwähnten Lernziele zu erreichen, sind ein Exkursionstag und eine weitere Unterrichtseinheit geplant. In den Unterrichtsstunden zuvor sollten ökologische Grundbegriffe erarbeitet und Stoffkreisläufe diskutiert werden, um die Exkursion in einem logischen Unterrichtsrahmen einzubetten.

Klasse: 1.-2. AHS (Unterstufe) Thema: Vergleich von Waldökosystemen - EXKURSION

Zeit (ca.)	Inhalte	Methoden	Ziel	Material
~	Anfahrt , Einführung in die Exkursionsgebiete	Lehrervortrag	Orientierung, Überblick	
10	Arbeitsanweisungen für SuS Die LP verschafft den SuS einen Überblick über den bevorstehenden Exkursionstag und teilt den Arbeitsauftrag mit.	Lehrervortrag	Orientierung	
5	Bildung von Gruppen nach Alter. Es werden vier Gruppen benötigt. SuS stellen sich der Reihe vom Jüngsten bis zum Ältesten auf. Abwechselnd kommen je nach Anzahl der SuS immer ein/e ältere/r und jüngere/r in die jeweiligen Gruppen.	Gruppenbildung nach Alter	Trennen von „Zwillingen“, aktive Gruppenbildung	
5	Ausfassen des Forschungsmaterials Die SuS wählen, je nach ihren Interessen, die Materialien aus. Die Materialien sind je nach Themengebiet in Päckchen sortiert (Biodiversität, Boden, Vegetation, Zoologie)		Arbeitsfähigkeit herstellen	Sortiertes Material für: 1. Biodiversität 2. Boden 3. Vegetation 4. Zoologische Analysen
15	Gemeinsame Begehung des ersten Exkursionsstandpunktes (Wirtschaftswald, z.B. Fichtenmonokultur)	Führung	Eingrenzen des Forschungsgebietes und Überblick verschaffen, auf mögliche Gefahren andeuten	
75-135	Durchführung der Forschungsarbeit in Gruppen Die LP versucht dabei alle Gruppen „im Auge“ zu behalten, gegebenenfalls Hilfestellung zu bieten und Forschungstipps zu geben, die LP übernimmt die Funktion eines Coaches	Gruppenarbeit	Konstruktivistisches Erarbeiten der einzelnen Themengebiete	
30-60	Mittagspause u. eventuelle Anfahrt zum zweiten Exkursionsstandpunkt			
15	Gemeinsame Begehung des zweiten Exkursionsstandpunktes (Naturwald, z.B. Laubmischwald)	Führung	Erholung, Informationsaustausch	
90-155	Durchführung der Forschungsarbeit in Gruppen Die LP versucht dabei alle Gruppen „im Auge“ zu behalten, gegebenenfalls Hilfestellung zu bieten und Forschungstipps zu geben, die LP übernimmt die Funktion eines Coaches	Gruppenarbeit	Eingrenzen des Forschungsgebietes und Überblick verschaffen, auf mögliche Gefahren aufmerksam machen	
10	Gemeinsame Abschlussbesprechung Die einzelnen Gruppen präsentieren kurz ihre Tagesarbeit; ev. Anregungen von LP, Hinweis auf Fertigstellung der Poster in der nächsten Einheit	Plenumsbesprechung	Konstruktivistisches Erarbeiten der einzelnen Themengebiete	
~	Rückfahrt		Informationsaustausch, ev. Lenkung der LP	

5.4.2 Stundenplanung (Exkursion und Unterrichtseinheit)

5.4.3 Arbeitsauftrag

Die SuS erforschen in vier Gruppen mit den vorhandenen Materialien die beiden Exkursionsstandpunkte. Nach der Gruppenbildung überlegen sich die SuS zur ihren jeweiligen Themengebieten Hypothesen. Diese versuchen sie nun mit Hilfe der Forschungsmaterialien zu belegen. Die SuS werden aufgefordert Notizen zu machen und ihre Forschung mit Fotos zu dokumentieren. In der nächsten Unterrichtseinheit muss jede Gruppe ein Poster über ihr Thema gestalten und es den anderen Gruppen präsentieren. Je nach vorhandenen Zeitrahmen könnte diese Unterrichtseinheit auch als Doppelstunde geführt werden. Bei einer Einzelstunde sollte für das Poster auch schon eine gewisse Heimarbeit geleistet werden (z.B. Fotos ausdrucken). Zum Ende der Unterrichtseinheit sollte jede Gruppe nochmals ihre Hypothesen aufgreifen und diese selbständig beantworten. Nach der Vorstellung der Poster werden im Plenum die Hypothesen gesammelt und von allen Gruppen ins Heft übertragen.

5.4.4 Zusätzliche Informationen

Diese Exkursion findet auf zwei verschiedenen Exkursionsstandpunkten statt. Auf der einen Seite handelt es sich um einem Wirtschaftswald (z.B. Fichtenmonokultur), auf der anderen Seite um einen naturnahen Wald (z.B. Laubmischwald). Naturnahe Wälder zählen dabei zu den stark gefährdeten Lebensräumen. Nur 3% der Waldfläche von Österreich wird als urwaldartiger Waldtyp eingestuft (GRABHERR ET AL. 1998). Um den Unterschied der einzelnen Waldökosysteme zu verdeutlichen, wird man daher nicht immer gleich die Möglichkeit haben einen komplett naturbelassenen Wald mit der Klasse aufzusuchen. Trotzdem finden sich auch im sub-urbanen Gebiet Möglichkeiten diese Exkursion durchzuführen. Am Beispiel von Innsbruck findet man zum Beispiel beide Exkursionsstandpunkte bei einer Wanderung von der Pfarrkirche Hötting Richtung Gramartboden. Vor der Planung der Exkursion sollte unbedingt die Zustimmung des jeweiligen Grundstücksbesitzers eingeholt werden.

Klasse: 1.-2 AHS (Unterstufe) Thema: Vergleich von Waldökosystemen				
Zeit (ca.)	Inhalte	Methoden	Ziel	Material
1-5	Begrüßung, Klassenregister, Überblick über heutige Einheit		Organisatorisches erledigen, Unterrichts-atmosphäre herstellen	ev. Tafel
15	Fertigstellung der Poster Die SuS erstellen Poster zu den jeweiligen Themen indem sie ihre Forschungsarbeit von der Exkursion zusammenfassen.	Gruppenarbeit	Soziales Lernen, Zusammenfassung der Ergebnisse der Exkursion	Stifte, Fotos, Flip-Chart Plakate, Kleber bzw. Klebeband,...
15	Vorstellung der Poster Die erstellten Poster werden gegenseitig kurz präsentiert (ungefähr 3 Minuten pro Gruppe). Die LP macht Fotos von den erstellten Poster und stellt diese als Ausdrücke den SuS in der nächsten Einheit zur Verfügung (wird ins Heft geklebt).	Gruppenpräsentation	Austausch der Ergebnisse, Sicherung, Erwerb von Redekompetenz	Poster, Kamera
15	Beantwortung der zu Beginn gestellten Hypothesen Die SuS sollten auf ihre zu Beginn erstellten Hypothesen aufgreifen und diese versuchen anhand ihrer Forschung selbstständig zu beantworten. Die LP fungiert als Moderator. Anschließend werden die jeweiligen Hypothesen auf der Tafel von LP gesammelt, gemeinsam besprochen und ins Heft übertragen.	Gruppen-/ Einzelarbeit Lehrer- Schüler Gespräch	Ergebnissicherung, Selbstständiges erkennen der Problematik zwischen ökologischen und wirtschaftlichen Interessen und der Bedeutung von Artenvielfalt	Tafel, Schülerheft

5.5. Schlussbetrachtung des didaktischen Teiles

Im Rahmen des fachdidaktischen Teiles wurden an Anlehnung an die fachwissenschaftliche Forschungsarbeit zwei Unterrichtskonzepte erstellt, welche sich an unterschiedlichen, aber nahestehenden, didaktischen Theorien orientieren. Dabei wurden je nach Unterrichtskonzept die verschiedenen Leitelemente der didaktischen Theorien erfüllt.

Anhand der Unterrichtseinheit „Was der Jahrring alles kann“:

- Lernen anhand **authentischer Probleme**: Die Altersbestimmung von Bäumen anhand von Jahrringen stellt ein Problem dar, mit welchen die Schülerinnen und Schüler im Alltag (z.B. bei Wanderungen) konfrontiert werden.
- Lernen in/unter **multiplen Kontexten und Perspektiven**: Anhand des Concept Cartoons und der darauf folgenden praktischen Untersuchung der Baumscheiben.
- Lernen in einem **sozialen Kontext**: Die Gruppenarbeit unterstützt Lernprozesse und fördert die Problemlösung.
- Lernen mit Hilfe von **instruktorischer Unterstützung**: Die Lehrperson übernimmt die Funktion eines Coaches bzw. Moderators.

Anhand der Exkursion „Vergleich von Waldökosystemen“:

- Lernen ist **konstruktiv**: Der Wald ist ein Ort der ersten Kindheitserfahrungen und bildet sowohl als Ökosystem, Erholungsraum oder auch Rohstoffquelle einen ständigen Berührungspunkt.
- Lernen ist **selbstdeterminiert**: Das Ökosystem Wald und die Arbeit in der Natur schafft eine Vielzahl an Reizen, welche Lernprozesse anregen oder auslösen.
- Lernen ist **individuell**: Der gemeinsame Ausflug und das selbstständige Erforschen sorgen für die Förderungen emotionaler und persönlicher Aspekte. Jede/r kann sich anhand seiner Fähigkeiten im Rahmen der Exkursion entfalten bzw. einbringen.
- Lernen ist **sozial**: Durch Forschungsarbeiten in Gruppen findet soziale Interaktion statt, welche eine wichtige Grundlage für Lernprozesse darstellt.
- Lernen ist **situiert**: Das Ökosystem Wald bildet einen Bezugspunkt zur Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler. Sie nehmen verschieden Lebensräume bewusster wahr und stellen persönliche Bezüge zu ihrer Arbeit her.

6. Literaturverzeichnis

- AUER I., BÖHM R., JURKOVIC A., LIPA W., ORLIK A., POTZMANN R., ... & NIEPLOVA E. (2007): HISTALP—historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. In: *International Journal of Climatology* 27/1, S. 17-46.
- BACH H. (1968): Das Maltatal, das Tal der stürzenden Wasser – Ein 25jähriger Kampf. Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Alpenpflanzen und –Tiere. Band 33. München.
- BÄRTELS A. (1996): Gehölzvermehrung. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- BARTELS H. (1993): Gehölzkunde - Einführung in die Dendrologie. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- BECK W. (2010): Auswirkungen von Trockenheit und Hitze auf den Waldzustand in Deutschland—waldwachstumskundliche Ergebnisse der Studie im Auftrag des BMELV. DVFFA-Sektion Ertragskunde. Jahrestagung.
- BECKER B. & GLASER R. (1991): Baumringsignaturen und Witterungsanomalien. In: *Forstwissenschaftliches Zentralblatt* 110, S. 66-83.
- BENISTON M. (2004): The 2003 heat-wave in Europe: a shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. In: *Geophysical Research Letters* 31, S. 2022–2026.
- BIONDI F. (1993): Climatic signals in tree rings of *Fagus sylvatica* L. from Central Apennines -Italy. In: *Acta Oecologica* 14/1, S. 57–71.
- BÖNSCH M. (2000): Unterrichtsmethoden konstruieren Lernwege. In: SEIBERT N. (Hrsg.). *Unterrichtsmethoden kontrovers*. Bad Heilbrunn. S. 23-68.
- BRÄKER U. O. (1981): Der Alterstrend bei Jahrringdichten und Jahrringbreiten von Nadelhölzern und sein Ausgleich. *Mitteilung der forstlichen Bundesversuchsanstalt* 142, S. 75-102.
- BRAND F. (1991): *Ektomykorrhizen an Fagus sylvatica*. IHW-Verlag, Eching.
- BRETT D.W. (1978): Dendroclimatology of elm in London. In: *Tree-ring bulletin* 38, S. 35-44.
- BUCHER A. S. & CORNELISSEN B. J. C. (2000): *Dutch elm disease: An Interactive Approach*. Biomedica, Amsterdam (CD-ROM).
- BÜNTGEN U., ESPER J. & FRANK D. (2008): Wie regieren Bäume auf Klimaveränderung? – Ergebnisse dendroklimatologischer Untersuchungen. In: *Jahrbuch der Baumpflege*, S. 26 – 39.
- COOK E.R. & BRIFFA K.R. (1990): A comparison of some tree-ring standardization methods. In: Cook E.R. & KAIRIUKSTIS L.A. (Hrsg): *Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. S. 153-162.
- COOK E.R. (1987): The decomposition of tree-ring series for environmental studies. In: *Tree-ring bulletin* 47, S. 7-59.
- DENGLER A. (1990): *Waldbau auf ökologischer Grundlage*. Band 2. Parey Verlag, Berlin.
- DENGLER R. (2004): *Baumdaten*. Band 1 (Loseblattsammlung). Lauf.
- DITTMAR C. & ELLING W. (1999): Jahrringbreite von Fichte und Buche in Abhängigkeit von Witterung und Höhenlage. In: *Forstwirtschaftliches Zentralblatt* 118, S. 251-270.

- DITTMAR C. & ELLING W. (2007): Dendroecological investigation of the vitality of Common Beech (*Fagus sylvatica* L.) in mixed mountain forests of the Northern Alps (South Bavaria). In: *Dendrochronologia* 25, S. 37–56.
- DITTMAR C., ZECH W. & ELLING W. (2003): Growth variations of common beech (*Fagus sylvatica* L.) under different climatic and environmental conditions in Europe—a dendroecological study. In: *Forest Ecology and Management* 173/1, S. 63–78.
- DUIT R. (1995): Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der natur-wissenschaftsdidaktischen Lehr-Lernforschung. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 41/6, S. 905–926.
- DURST J. (1959): *Handbuch der Nutzhölzer*. Fachbuchverlag Leipzig.
- EEA (2012): *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012 - An indicatorbased report*. Copenhagen.
- ENDTMANN J. (1967): *Beiträge zur Nomenklatur, Taxonomie und Verbreitung der Gattung Ulmus in Europa*. Dissertation. Eberswalde.
- ENGLER R., RANDIN C. F., THUILLER W., DULLINGER S., ... & ZIMMERMANN N.E. (2011): 21st century climate change threatens mountain flora unequally across Europe. *Global Change Biology* 17/7, S. 2330–2341.
- ESPER J., FRANK D. C., BÜNTGEN U., VERSTEGE A., LUTERBACHER J. & XOPLAKI E. (2007): Long-term drought severity changes in Morocco, Northwestern Africa. In: *Geophysical Research Letters* 34/17, S. 1-5.
- FAHRMEIR L., KÜNSTLER R., PIGEOT I. & TUTZ G. (2007): *Statistik*. München.
- FELBERMEIER B. & MOSANDL R. (2014): *Fagus sylvatica*. *Enzyklopädie der Holzgewächse: Handbuch und Atlas der Dendrologie*. München.
- FELBERMEIER B. (1993): *Der Einfluss von Klimaänderungen auf die Areale von Baumarten: Methodenstudie und regionale Abschätzung für die Rotbuche (Fagus sylvatica L.) in Bayern*. *Forstliche Forschungsberichte München* 134. München.
- FRANK D. & ESPER J. (2005): Characterization and climate response patterns of a high elevation, multi species tree-ring network for the European Alps. In: *Dendrochronologia* 22, S. 107–121.
- FRICKE W. & WALLASCH M. (1994): Atmosphere CO₂ records from sites in the UBA air sampling network. In: BODEN T. A., KASIER D. P., SPANSKI R. J. (Hrsg): *Trends '93: A compendium of data on global change*. Oakridge. S. 135-147.
- FRIEDRICH D.A., BÜNTGEN U., FRANK D.C., ESPER J., NEUWIRTH B. & LÖFFLER J. (2008): Complex climate controls on 20th century oak growth in Central-West Germany. In: *Tree Physiology* 29/1, S. 39–51.
- FRITTS H.C. (1976): *Tree rings and climate*. Academic press, London.
- FUHRER J., BENISTON M., FISCHLIN A., FREI C., GOYETTE S., JASPER K. & PFISTER C. (2006): Climate risks and their impact on agriculture and forests in Switzerland. In: *Climate Change* 79/1-2, S. 79–102.
- GAMS H. (1925): *Aceraceae*. In: HEGI G. (Hrsg.): *Illustrierte Flora von Mitteleuropa*. Band. 5/1, S. 262–280.
- GEHU J. M. & JULVE P. (1989): *Die atlantischen Wälder mit Buche: Struktur, Pflanzengeographie, Ökologie, Dynamik und Syntaxonomie*. *Berichte der Reinhold Tüxen-Gesellschaft*. Hannover.

- GLANTSCHNIG T. (1948): Der Ahorn-Mischwald (Acereto - Ulmetum) im Gößgraben in Kärnten. In: Carinthia II 137/57, S. 51-81.
- GLASERSFELD E. (1997): Radikaler Konstruktivismus. Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- GROSSER D. & TEETZ W. (1984): Buche. Kontor für Grafik und Design, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V.: Informationsdienst Holz. Gauting.
- GROSSER D. (1977): Die Hölzer Mitteleuropas - Ein mikrophotographischer Lehratlas. Springer Verlag, Berlin.
- GRUNDMANN B. (2009): Dendroklimatologische und dendroökologische Untersuchungen des Zuwachsverhaltens von Buche und Fichte in naturnahen Mischwäldern. Dissertation. Dresden.
- GUDJONS H. (2006): Neue Unterrichtskultur- veränderte Lehrerrolle. Julius Klinkhardt, Bad Heilbrunn.
- HARTIG T. (1877): Luft-, Boden- und Pflanzenkunde in ihrer Anwendung auf Forstwirtschaft und Gartenbau. Verlag der Cotta'schen Buchhandlung, Stuttgart.
- HARTL-MEIER C. & ROTHE A. (2013): Dendrochronologische Untersuchungen zur Reaktion der Baumart Berg-Ahorn auf klimatische Veränderungen in den Nördlichen Kalkalpen. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt ST 296 des Kuratoriums für forstliche Forschung. Freising.
- HARTL-MEIER C. (2014): Dendroökologische Untersuchungen zum Einfluss der Klimaänderung auf Bergwälder der Nördlichen Kalkalpen. Dissertation. München.
- HEISELMAYER P. (1976): Inneralpine Laubwälder in Kärnten, der Steiermark und Salzburg. In: Carinthia II 166/86, S. 309-328.
- HOFFMANN E. (1960): Der Ahorn. Wald-, Park- und Straßenbaum. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Leipzig.
- HOLMES R. L. (1994): Dendrochronology program library user's manual. Laboratory of Tree-Ring Research. The University of Arizona. Tucson.
- HUBER L. (2009): Warum forschendes Lernen möglich und nötig ist. [http://134.169.92.196/tu-braunschweig/download/Vortrag_Huber.pdf, zugegriffen am 01.06.2015].
- IPCC (2013): Climate Change 2013: the physical science basis. Working group I: contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press. Cambridge.
- KAHLE H.-P. (1994): Modellierung der Zusammenhänge zwischen der Variation von klimatischen Elementen des Wasserhaushalts und dem Radialzuwachs von Fichten (*Picea abies* (L.) Karst.) aus Hochlagen des Südschwarzwalds. Dissertation. Universität Freiburg.
- KEUSCH C., KIRCHMEIR H. & JUNGMEIER M. (2011): Maßnahmen zur langfristigen Sicherung der Naturverjüngung von Laubwaldbeständen im Gößgraben - Erfolgsnachweis mit Hilfe eines Monitorings. Abschlussbericht. Klagenfurt.
- KILIAN W., MÜLLER F. & STARLINGER F. (1994): Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. FBVA Berichte 82. Wien.
- KIRCHMEIR H. & JUNGMEIER M. (1999): Die Laubwaldrelikte im Gößgraben (Nationalpark Hohe Tauern). E.C.O. Institut für Ökologie, Klagenfurt.
- KIRCHMEIR H. & REITER K. (1998): Methodik des Stichprobenverfahrens. In: GRABHERR G., KIRCHMEIR H., KOCH G. & REITER K. (Hrsg.): Hemerobie österreichischer Waldökosysteme. Band 17. Wien.
- KIRISITS T. & KONRAD H. (2004): Dutch elm disease in Austria. In: Forest Systems 13/1, S. 81-92.

- KIRISITS T. & KONRAD H. (2007): Die Holländische Ulmenwelke in Österreich. In: Forstschutz aktuell 38, S. 20-23.
- KIRISITS T. & FRANZ W. R. (2006): Zwei Hopfenbuchen-Bergulmen-Bestände in Südkärnten, die bisher noch nicht von der Holländischen Ulmenwelke betroffen sind. In: Forstschutz aktuell 37, S. 21-23.
- KOHNLE U., ALBRECHT A., LENK E., OHNEMUS K. & YUE C. (2014): Zuwachstrends im Spiegel langfristiger Versuchsflächen in Südwestdeutschland. In: Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 185. Band 5/6, S.97-117.
- KREINER K. (2005): Geologie - Wissenschaftliche Schriften des Nationalparks Hohe Tauern. Universitätsverlag Carinthia, Klagenfurt.
- LEMOINE D., PELTIER J.P. & MARIGO G. (2001): Comparative studies of the water relations and the hydraulic characteristics in *Fraxinus excelsior*, *Acer pseudoplatanus* and *A. opalus* trees under soil water contrasted conditions. In: Annals for Forest Science 58. Band 7, S. 723–731.
- LEUTNER D., KLIEME E., MEYER K. & WIRTH J. (2004): Problemlösen. In: PISA-Konsortium Deutschland (Hrsg.): PISA 2003. Münster/New York/ München/ Berlin. S. 147-175.
- LINDNER M., MAROSCHEK M., NETHERER S., KREMER A., BARBATI A., GARCIA-GONZALO J., SEIDL R., DELZON S., CORONA P., KOLSTRÖM M., LEXER M. J., MARCHETTI M. (2010): Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. In: Forest Ecology and Management 259/4, S. 698–709.
- LÖSCH B. (2004): Einfluss von Klima und Lärchenwicklerbefall auf das radiale Wachstum von Lärchen (*Larix decidua* Mill.) an der Waldgrenze in Ulten und Altersbestimmung der "Ultner Urlärchen". Diplomarbeit. Innsbruck.
- LUCKMAN B. H. (2007): Dendroclimatology. In: ELIAS S. A. (Hrsg.): Encyclopedia of quaternary science. Amsterdam. S. 465–476.
- MACKENTHUN G. (1997): Zur Kenntnis der einheimischen Ulmen-Arten. In: Mitteilungen der deutschen dendrologischen Gesellschaft 62, S. 38–49.
- MACKENTHUN G. (2014): *Ulmus glabra*. Enzyklopädie der Holzgewächse: Handbuch und Atlas der Dendrologie. München.
- MANDL H. & REINMANN-ROTHMEIER G. (2001): Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In: KRAPP A. & WEIDENMANN B. (Hrsg.): Pädagogische Psychologie. S. 601-646.
- MANDL H. (2006): Wissensaufbau aktiv gestalten. In: BECKER G., BEHNKEN I., GROPENGLIEßER H., NEUß N. (Hrsg.): Lernen. S. 28–30.
- MANDL H., REINMANN-ROTHMEIER G. & GRÄSEL C. (1998): Gutachten zur Vorbereitung des Programms "Systematische Einbeziehung von Medien, Informations- und Kommunikationstechnologien in Lehr- und Lernprozesse" (Materialien zur Bildungsplanung und Forschungsförderung, Heft 66) Bonn.
- MENNEL J. (2010): Radiale Wachstumsreaktion im Alpenraum verbreiteter Koniferen auf Trockenstress. Masterarbeit. Innsbruck.
- MITCHELL A. (1979): Die Wald- und Parkbäume Europas: Ein Bestimmungsbuch für Dendrologen und Naturfreunde. Parey Verlag, Berlin.
- NAGEL J., SPELLMANN H. & PRETZSCH H. (2012): Zum Informationspotenzial langfristiger forstlicher Versuchsflächen und periodischer Waldinventuren für die waldwachstumskundliche Forschung. In: Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 183. Band 5/6, S. 111–116.

- NEUMANN M. (2006): Wie reagieren die Bäume auf Temperatur und Niederschlag. In: BFW-Praxisinformation 10, S. 21-24.
- NEUWIRTH B. (2004): Interannuelle Klima/Wachstums-Beziehungen zentraleuropäischer Bäume von AD1901 bis 1971 Eine dendroklimatologische Netzwerkanalyse. Dissertation. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- NIERHAUS-WUNDERWALD D. & ENGESSER R. (2003): Ulmenwelke – Biologie, Vorbeugung und Gegenmaßnahmen. In: WSL Merkblatt für die Praxis 20. Birmensdorf.
- PESTAL G., REITNER J. M., & SCHUSTER R. (2006): Erläuterungen zu Blatt 182 Spittal an der Drau. Wien.
- PETERKEN G.F. & MOUNTFORD E.P. (1996): Effects of drought on beech in Lady Park Wood, an unmanaged mixed deciduous woodland. In: *Forestry* 69, S. 125–136.
- PFEIFER K. & OBERHUBER W. (2006): Dendroklimatologische Rekonstruktion der mittleren Sommertemperatur am Tannberg im Zeitraum von 1250 bis 1900. In: *Vorarlberger Naturschau* 19, S. 183-206.
- PIETZARKA U. (2008): Grundlagen eines fachgerechten Gehölzschnittes. In: ROLOFF A. (Hrsg.): *Baumpflege*. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- PILCHER J.R. (1990): Sample preparation, cross-dating and measurement. In: COOK E.R. & KAIRIUKSTIS L.A. (Hrsg.): *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. S. 40-51.
- PIOVESAN G., BERNABEI M., DI FILIPPO A., ROMAGNOLI M. & SCHIRONE B. (2003): A long-term tree ring beech chronology from a high-elevation old-growth forest of Central Italy. In: *Dendrochronologia* 21/1, S. 13–22.
- PRENTICE C. I. & HELMISAARI H. (1991): Silvics of north European trees: Compilation, comparisons and implications for forest succession modelling. In: *Forest Ecology and Management* 42, S. 79–93.
- PRETZSCH H. (1999): Waldwachstum im Wandel. In: *European Journal of Forest Research* 118, S. 228-250.
- PRETZSCH H. (2003): Diversität und Produktivität von Wäldern. In: *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 174, S. 89-96.
- PRETZSCH H. (2012): Zuwachsreaktionen auf Trockenstress in Mischbeständen im Vergleich zu Reinbeständen. In: NAGEL J. (Hrsg.): *Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten Sektion Ertragskunde Jahrestagung 2012*. Ottenstein.
- RADULESCU V. (1934): Wuchs-Leistung, Nutzung und Verjüngung der urwüchsigen Buchenbestände in den Karpaten. Dissertation. München.
- RAMISCH H. (1999): Artidentifizierung reiner Ulmenarten und deren Hybriden anhand qualitativ zu beurteilender Merkmale. In: *Mitteilungen der deutsche dendrologischen Gesellschaft* 84, S. 109–122.
- RENDENBACH A. (o.J): Bestimmung des Baumalters - Gegenüberstellung verschiedener Bestimmungsmethoden der Praxis. [[http://www.dasgruen.de/tl_files/Downloads/Beitraege/\(5\) Baumbiologie Rendenbach, Baumalterbestimmung.pdf](http://www.dasgruen.de/tl_files/Downloads/Beitraege/(5)_Baumbiologie_Rendenbach_Baumalterbestimmung.pdf), zugegriffen am 12.03.2015].
- RIEMEIER T. (2007): Moderater Konstruktivismus. In: KRÜGER D. & VOGT H. (Hrsg.): *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* Springer Berlin Heidelberg. S. 69-80.
- RINN F. (1996): *TSAP-Reference manual. Time series analysis and presentation*. Heidelberg.
- RÖHRIG E. (1996): Die Ulmen in Europa – Ökologie und epidemische Erkrankung. In: *Forstarchiv* 67, S. 179–198.

- RÖHRIG E., BARTELS H., GUSSONE H. A. & ULRICH B. (1978): Untersuchungen zur natürlichen Verjüngung der Buche (*Fagus sylvatica*). In: Forstwissenschaftliches Zentralblatt 97, S. 121–131.
- ROLOFF A. & BÄRTELS A. (2006): Flora der Gehölze. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- ROLOFF A. (1989): Kronenentwicklung und Vitalitätsbeurteilung ausgewählter Baumarten der gemäßigten Breiten. Frankfurt.
- ROSE L., LEUSCHNER C., KÖCKEMANN B. & BUSCHMANN H. (2009): Are marginal beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances a source for drought tolerant ecotypes? In: European Journal of Forest Research 128, S. 335–343.
- SAUBERER N. & GRABHERR G. (1995): Fachliche Grundlagen zur Umsetzung der FFH-Richtlinie in Österreich. UBA-Reports 95/115. Wien.
- SCHERZINGER W. (1996): Naturschutz im Wald: Qualitätsziele einer dynamischen Waldentwicklung. Ulmer Stuttgart.
- SCHMIDKUNZ H. & LINDEMANN H. (2003): Das Forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren. Problemlösen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Band 2. Hohenwarsleben.
- SCHMIDT O. & ROLOFF A. (2014): *Acer pseudoplatanus*. Enzyklopädie der Holzgewächse: Handbuch und Atlas der Dendrologie. München.
- SCHNELL A. (2004): Die Mär vom strukturarmen Buchenurwald. In: LWF aktuell 47, S. 32-34.
- SCHUMACHER S. & BUGMANN H. (2006): The relative importance of climatic effects, wildfires and management for future forest landscape dynamics in the Swiss Alps. In: Global Change Biology 12/8, S. 1435–1450.
- SCHUSTER R. & OBERHUBER W. (2013): Drought sensitivity of three co-occurring conifers within a dry inner Alpine environment. In: Trees 27/1, S. 61-69.
- SCHÜTT P., SCHUCK H. J. & STIMM B. (1992): Lexikon der Forstbotanik. Morphologie, Pathologie, Ökologie, und Systematik wichtiger Baum- und Straucharten. Ecomed-Verlag, Landsberg.
- SCHWEINGRUBER F. H. (1983): Der Jahrring: Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie. Haupt Verlag, Bern.
- SCHWEINGRUBER F.H. (1993): Jahrringe und Umwelt. Dendroökologie. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf.
- SCHWEINGRUBER F. H. (1996): Tree rings and environment - Dendroecology. Haupt Verlag, Bern.
- SCHWEINGRUBER F.H. (2001): Dendroökologische Holzanatomie. Anatomische Grundlagen der Dendrochronologie. Haupt Verlag, Bern.
- SPIECKER H. (1999): Overview of recent growth trends in European forests. In: Water, Air, and Soil Pollution 116, S. 33-46.
- SPIECKER H., KÖHL M., MIELEKÄINEN K. & SKOVSGAARD J.P. (1996): Growth trends in European Forests. Springer-Verlag, Berlin.
- STINGLWAGNER G.K.F., HASEDER I.E. & ERLBECK R. (2009): Das Kosmos Wald- und Forstlexikon. Franckh-Kosmos Verlag, Stuttgart.
- TSCHERMAK L. (1929): Die Verbreitung der Buche in Österreich. Wien.

- UTSCHIG H., BACHMANN M. & PRETZSCH P. (2004): Das Trockenjahr 1976 bescherte langjährige Zuwachseinbrüche. In: LWF aktuell 43, S. 17-18.
- WAGENFÜHR R. (2007): Holzatlas. Fachbuchverlag, Leipzig.
- WAGENITZ G. (2003): Wörterbuch der Botanik. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin.
- WALENTOWSKI H., EWALD W., FISCHER A., KÖLLING C. & TÜRK W. (2004): Handbuch der natürlichen Waldgesellschaften Bayerns. Verlag Geobotanica, Freising.
- WALLNÖFER S., MUCINA L. & GRASS V. (1993): Quercu-Fagetea. In: MUCINA L., WALLNÖFER S., GRABHERR G. & ELLMAUER T. (Hrsg): Die Pflanzengesellschaften Österreichs. Band 3. Wälder und Gebüsche. Fischer Verlag.
- WALTER H. (1931): Ulmaceae. In: KIRCHNER O. V., LOEW E. & SCHRÖTER C. (Hrsg.): Lebensgeschichte der Blütenpflanzen Mitteleuropas. Band 2/1, S. 639–719.
- WEBER A. (2004): State of the Art Pädagogik, aus „Problem-Based Learning. Ein Handbuch für die Ausbildung auf der Sekundarstufe II und Tertiärstufe. Bern.
- WENDT F. W. (1922): Starke *Ulmus montana*. In: Mitteilung der deutschen dendrologischen Gesellschaft 34.
- WESTERKAMP C. & DEMMELMEYER H. (1997): Blattoberflächen mitteleuropäischer Laubgehölze. Gebrüder Bornträger, Berlin.
- WIDODO A. (2004): Constructivist oriented lessons. Frankfurt am Main.
- WIGLEY T. M., BRIFFA K.R. & JONES P.D. (1984): On the average value of correlated time series with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. In: J. Climatol. Appl. Meteor. 23, S. 201-213.
- ZANG C., ROTHE A., WEIS W. & PRETZSCH H. (2011): Zur Baumarteneignung bei Klimawandel: Ableitung der Trockenstress-Anfälligkeit wichtiger Waldbaumarten aus Jahrringbreiten. In: Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 182. Band 5/6, S. 98-112.
- ZINGG A. & BÜRGI A. (2008): Trockenperioden seit 1900 und Waldwachstum: eine Analyse langfristiger Datenreihen. In: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 159/10, S. 352-361.

7. Anhang

7.1 Ergebnisse der Klimakorrelationen

Die Ergebnisse der Klimakorrelationen (Spearman-Rangkorrelationskoeffizient) zwischen Residualchronologien (Jahringbreiten) und den Klimavariablen Niederschlag (monatlich, saisonal, jährlich) und Temperatur (monatlich, saisonal, jährlich) im Zeitraum 1953-2013 (Klimastation Malta) und im Zeitraum 1981-2013 (Klimastation Mallnitz) für Fichte, Berg-Ahorn, Berg-Ulme und Buche sind in den folgenden Seiten angeführt.

Rot markierte Korrelationen sind signifikant $p < 0,05$.

Jan = Jänner, Feb = Februar, Mär = März, Apr = April, Jun = Juni, Jul = Juli, Aug = August, Sep = September, Okt = Oktober, Nov = November, Dez = Dezember;

Jah = Jahres, AMJ = April-Juni, MJ = Mai-Juni, Frü = Frühjahr (März-Mai), Som = Sommer (Juni-August), Her = Herbst (September-November), Win = Winter (Dezember Vorjahr, Jänner, Februar);

NS = Niederschlagssumme, NSV = Niederschlagssumme im Vorjahr, T = Temperaturmittel, TV = Temperaturmittel im Vorjahr, J = Jänner, F = Februar, M = März, A = April, Ma = Mai, Au = August, S = September, JMT = Jahresmitteltemperatur;

Fichte 1, Ahorn 1, Ulme 1 = Bestand 1; Ahorn 2, Ulme 2 = Bestand 2; Fichte 3, Buche 3 = Bestand 3; Fichte 4, Buche 4 = Bestand 4;

	Fichte 1		Fichte 3		Fichte 4		Ahorn 1		Ahorn 2		Ulme 1		Ulme 2		Buche 3		Buche 4															
	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value														
JahresNSV	30	0.167	30	0.123	30	0.516	30	0.000	30	0.245	28	-0.060	26	-0.048	30	0.103	30	0.103	30	0.588	30	-0.010	0.958									
AMJNSV	30	0.386	30	0.157	30	0.409	30	0.309	30	-0.063	30	-0.022	28	-0.267	30	0.150	30	0.150	30	0.429	30	-0.080	0.675									
MJNSV	30	0.260	30	0.050	30	0.792	30	0.183	30	0.062	30	0.071	28	-0.107	26	-0.113	30	0.146	30	0.441	30	0.005	0.980									
FrdhNSV	30	0.211	30	-0.080	30	0.675	30	0.211	30	-0.475	28	-0.268	26	-0.230	30	0.108	30	0.167	30	0.570	30	-0.258	0.169									
SomNSV	30	0.297	30	0.295	30	0.113	30	0.214	30	0.257	28	0.021	26	0.045	30	0.167	30	0.167	30	0.377	30	0.073	0.702									
HehtNSV	30	0.015	30	0.098	30	0.605	30	-0.191	30	0.312	28	-0.085	26	0.009	30	0.009	30	0.964	30	0.964	30	0.080	0.675									
WinNSV	28	-0.082	28	-0.181	28	0.356	28	-0.059	28	0.766	26	-0.104	24	0.151	28	-0.172	28	0.382	28	0.382	28	0.044	0.823									
JahNSV	30	0.091	30	0.121	30	0.524	30	0.125	30	0.509	30	0.054	28	0.778	28	0.026	26	0.895	26	-0.121	30	0.555	30	0.229	0.224	30	-0.005	0.979				
FebNSV	30	0.000	30	-0.253	30	0.177	30	-0.085	30	0.733	30	-0.302	30	0.105	30	-0.349	28	0.059	28	0.005	30	-0.164	30	0.385	30	0.085	0.656					
MaiNSV	30	-0.288	30	-0.288	30	0.123	30	-0.002	30	0.992	30	-0.074	30	0.696	30	-0.100	28	0.599	28	-0.122	30	0.552	30	-0.001	0.997	30	-0.128	0.501				
AprNSV	30	0.122	30	0.203	30	0.281	30	0.127	30	0.504	30	0.087	30	0.647	28	0.463	26	0.013	26	0.241	30	0.235	30	0.343	30	0.063	0.334	0.072				
MaiNSV	30	-0.173	30	-0.276	30	0.140	30	-0.134	30	0.481	30	-0.242	30	0.198	30	-0.255	28	0.174	28	-0.338	26	-0.287	30	-0.291	30	0.119	0.092					
JuniNSV	30	-0.088	30	-0.029	30	0.878	30	0.149	30	0.432	30	0.047	30	0.804	30	0.088	28	0.643	28	0.109	30	0.433	30	-0.037	30	0.847	30	0.058	0.761			
JuliNSV	30	0.417	30	0.446	30	0.013	30	0.470	30	0.009	30	-0.134	30	0.481	30	0.072	28	0.705	28	-0.021	30	0.918	30	0.105	0.580	30	0.015	0.939				
AugNSV	30	0.031	30	-0.006	30	0.976	30	0.061	30	0.749	30	-0.179	30	0.344	30	-0.057	28	0.767	28	-0.284	30	0.159	30	-0.011	0.953	30	-0.224	0.233				
SepNSV	30	-0.047	30	0.045	30	0.814	30	0.083	30	0.663	30	0.086	30	0.650	30	-0.239	28	0.203	26	-0.085	26	0.754	30	-0.453	30	0.012	30	-0.135	0.477			
JahNS	30	-0.151	30	0.107	30	0.574	30	0.251	30	0.180	30	-0.259	30	0.167	30	-0.277	28	0.139	28	-0.276	26	0.155	26	-0.235	30	0.248	30	-0.290	0.120	30	-0.218	0.247
AMJNS	30	-0.017	30	-0.055	30	0.773	30	0.180	30	0.397	30	0.024	30	0.898	30	0.010	28	0.956	28	0.134	26	0.495	26	0.155	30	0.450	30	-0.028	0.885	30	0.018	0.923
MJNS	30	-0.037	30	-0.022	30	0.907	30	0.176	30	0.351	30	-0.016	30	0.931	30	-0.005	28	0.980	28	-0.038	26	0.848	26	0.035	30	0.867	30	-0.118	0.534	30	-0.082	0.667
FrdNS	30	-0.149	30	-0.184	30	0.330	30	0.026	30	0.893	30	-0.119	30	0.531	30	-0.164	28	0.388	28	-0.068	26	0.731	26	-0.186	30	0.362	30	-0.017	0.930	30	-0.170	0.389
SomNS	30	0.154	30	0.254	30	0.175	30	0.447	30	0.013	30	-0.135	30	0.477	30	-0.052	28	0.785	28	0.002	26	0.991	26	-0.100	30	0.626	30	-0.063	0.739	30	-0.135	0.478
HehtNS	30	-0.137	30	0.157	30	0.408	30	0.116	30	0.540	30	-0.200	30	0.289	30	-0.298	28	0.110	28	-0.348	26	0.070	26	-0.180	30	0.378	30	-0.345	0.062	30	-0.115	0.543
WinNS	29	-0.036	29	-0.127	29	0.510	29	-0.047	29	0.809	29	-0.162	29	0.400	29	-0.324	27	0.086	27	-0.072	25	0.722	25	-0.075	29	0.721	29	-0.148	0.442	29	-0.238	0.215
JuniNSV	30	0.270	30	0.149	30	0.267	30	0.214	30	0.257	30	0.201	30	0.286	30	0.120	28	0.526	28	-0.030	26	0.878	26	-0.076	30	0.711	30	0.132	0.486	30	0.065	0.734
JuliNSV	30	0.005	30	0.980	30	0.039	30	0.839	30	-0.219	30	0.393	30	0.032	30	0.187	28	0.445	28	0.018	26	0.382	26	-0.156	30	0.446	30	0.232	0.218	30	-0.273	0.145
AugNSV	30	0.209	30	0.268	30	-0.043	30	0.822	30	0.274	30	-0.262	30	0.162	30	-0.013	28	0.944	28	-0.172	26	0.382	26	-0.128	30	0.249	30	-0.291	0.118	30	-0.111	0.557
SepNSV	30	-0.121	30	0.525	30	0.858	30	-0.019	30	0.922	30	-0.024	30	0.902	30	-0.149	28	0.432	28	-0.333	26	0.083	26	-0.234	30	0.249	30	0.039	0.838	30	0.000	0.998
OkNSV	30	0.060	30	0.752	30	0.053	30	-0.152	30	0.424	30	0.107	30	0.574	30	0.144	28	0.446	28	0.074	26	0.707	26	-0.128	30	0.532	30	0.039	0.838	30	0.000	0.998
NovNSV	30	-0.048	30	0.803	30	0.000	30	-0.236	30	0.210	30	0.466	30	0.009	30	0.386	28	0.121	28	0.121	26	0.540	26	0.401	30	0.147	30	0.439	30	0.238	0.206	
DezNSV	30	-0.297	30	0.111	30	0.020	30	-0.372	30	0.043	30	0.014	30	0.940	30	-0.286	28	0.126	28	-0.229	26	0.241	26	-0.041	30	0.842	30	-0.212	0.260	30	-0.221	0.240

Malta 1984-2013

	Fichte 1		Fichte 3		Fichte 4		Ahorn 1		Ahorn 2		Ulme 1		Ulme 2		Buche 3		Buche 4	
	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value
JT	30	0,128	30	0,006	30	0,056	30	-0,037	30	0,111	28	0,025	26	0,121	30	0,257	30	0,170
FT	30	-0,147	30	-0,010	30	0,157	30	0,004	30	-0,027	28	-0,021	26	0,089	30	0,088	30	0,644
MT	30	0,335	30	0,438	30	0,234	30	0,149	30	0,433	28	-0,005	26	0,091	30	0,128	30	0,502
AT	30	-0,230	30	-0,287	30	0,025	30	-0,331	30	0,074	28	-0,404	26	-0,609	30	-0,337	30	0,069
MaT	30	0,113	30	0,072	30	0,118	30	-0,173	30	0,361	28	-0,112	26	-0,282	30	0,320	30	0,085
JuMiT	30	-0,065	30	0,032	30	-0,099	30	-0,320	30	0,085	28	-0,221	26	-0,255	30	0,133	30	0,485
JuJiT	30	-0,132	30	-0,168	30	-0,388	30	0,349	30	0,059	28	0,024	26	0,050	30	0,066	30	0,728
AuT	30	-0,149	30	0,046	30	-0,117	30	0,302	30	0,105	28	0,007	26	0,043	30	0,088	30	0,643
ST	30	0,136	30	0,250	30	0,178	30	0,204	30	0,279	28	0,071	26	-0,065	30	-0,209	30	0,269
JMiT	30	-0,063	30	0,022	30	-0,025	30	-0,051	30	0,135	28	-0,090	26	-0,134	30	0,216	30	0,251
AMiJT	30	-0,027	30	-0,065	30	0,024	30	-0,381	30	0,038	28	-0,372	26	-0,478	30	0,056	30	0,768
MiJT	30	0,014	30	0,059	30	0,030	30	-0,305	30	0,101	28	-0,203	26	-0,333	30	0,229	30	0,223
FrüT	30	0,203	30	0,201	30	0,259	30	-0,158	30	0,404	28	-0,279	26	-0,376	30	0,128	30	0,501
SoMiT	30	-0,169	30	-0,025	30	-0,250	30	0,119	30	0,533	28	-0,115	26	-0,139	30	0,056	30	0,768
HerT	30	-0,219	30	0,063	30	-0,099	30	0,039	30	0,840	28	0,171	26	-0,192	30	-0,088	30	0,643
WiMiT	29	0,015	29	-0,030	29	0,066	29	-0,038	29	0,046	27	0,054	25	0,169	29	0,272	29	0,154
JuMiTV	30	-0,194	30	-0,278	30	-0,306	30	-0,062	30	0,138	28	-0,172	26	-0,183	30	0,262	30	0,163
JuJiTV	30	-0,353	30	-0,760	30	-0,377	30	-0,521	30	-0,485	28	-0,514	26	-0,428	30	-0,264	30	0,159
AuTV	30	-0,231	30	-0,193	30	-0,248	30	0,020	30	0,916	28	-0,182	26	-0,329	30	-0,302	30	0,105
STV	30	0,176	30	-0,070	30	0,081	30	0,005	30	-0,065	28	-0,173	26	-0,052	30	0,159	30	0,402
OTV	30	0,157	30	0,152	30	0,061	30	-0,285	30	0,127	28	0,241	26	-0,078	30	0,212	30	0,261
NTV	30	-0,118	30	-0,250	30	-0,192	30	-0,108	30	0,572	28	-0,328	26	-0,217	30	0,155	30	0,413
DTV	30	0,396	30	0,085	30	0,153	30	0,072	30	0,705	28	0,245	26	0,153	30	0,409	30	0,025
JMiTV	30	-0,158	30	-0,101	30	-0,198	30	-0,157	30	0,406	28	-0,257	26	-0,324	30	0,098	30	0,606
AMiTV	30	-0,131	30	-0,099	30	-0,140	30	-0,123	30	0,519	28	-0,130	26	-0,123	30	0,207	30	0,271
MiTV	30	-0,216	30	-0,177	30	-0,216	30	-0,068	30	0,099	28	-0,057	26	-0,161	30	0,195	30	0,301
FrüTV	30	-0,267	30	-0,006	30	-0,237	30	0,018	30	-0,041	28	-0,115	26	0,015	30	-0,030	30	0,877
SoMiTV	30	-0,352	30	-0,576	30	-0,419	30	-0,283	30	-0,177	28	-0,447	26	-0,490	30	-0,141	30	0,456
HerTV	30	0,062	30	-0,068	30	-0,052	30	-0,141	30	0,154	28	-0,213	26	-0,271	30	0,236	30	0,209
WiMiTV	28	-0,104	28	0,264	28	-0,034	28	-0,063	28	-0,030	26	0,108	24	-0,060	28	-0,156	28	0,427

Malta 1954-1983

	Fichte 1		Fichte 3		Fichte 4		Ahorn 1		Ahorn 2		Ulme 1		Ulme 2		Buche 3		Buche 4	
	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value
JannS	30	0.010	30	-0.125	30	-0.385	30	-0.213	30	0.030	30	-0.247	30	-0.111	30	-0.242	30	-0.111
FebNS	30	-0.180	30	0.236	30	-0.068	30	-0.292	30	-0.036	30	-0.097	30	-0.086	30	-0.170	30	-0.086
MartNS	30	0.344	30	-0.011	30	0.012	30	-0.106	30	-0.104	30	0.487	30	-0.017	30	-0.013	30	-0.017
AprNS	30	-0.175	30	-0.017	30	-0.385	30	-0.284	30	-0.245	30	0.139	30	-0.110	30	0.124	30	-0.110
MaNS	30	0.050	30	0.123	30	0.124	30	-0.232	30	-0.125	30	-0.077	30	-0.382	30	-0.438	30	-0.382
JunNS	30	-0.243	30	-0.158	30	-0.248	30	0.040	30	-0.143	30	-0.196	30	-0.184	30	0.060	30	-0.184
JuNS	30	-0.227	30	-0.196	30	-0.444	30	-0.185	30	-0.035	30	-0.072	30	-0.084	30	-0.117	30	-0.084
AugNS	30	-0.032	30	-0.122	30	0.083	30	0.152	30	0.257	30	0.103	30	0.158	30	0.199	30	0.158
SepNS	30	-0.059	30	-0.051	30	0.023	30	-0.267	30	-0.205	30	-0.279	30	-0.210	30	-0.061	30	-0.210
JannS	30	-0.095	30	-0.048	30	-0.074	30	-0.124	30	-0.091	30	-0.150	30	0.014	30	0.031	30	0.014
AMJNS	30	-0.100	30	0.068	30	-0.115	30	-0.203	30	-0.176	30	-0.057	30	-0.332	30	-0.108	30	-0.332
MJNS	30	-0.056	30	0.076	30	0.050	30	-0.090	30	-0.134	30	-0.114	30	-0.318	30	-0.207	30	-0.318
FrNS	30	0.056	30	0.083	30	-0.087	30	-0.349	30	-0.165	30	0.162	30	-0.295	30	-0.174	30	-0.295
SomNS	30	-0.341	30	-0.192	30	-0.276	30	-0.002	30	0.017	30	-0.076	30	-0.083	30	0.065	30	-0.083
HerNS	30	0.038	30	0.044	30	0.316	30	0.218	30	0.049	30	-0.259	30	0.235	30	0.058	30	0.235
WinNS	29	0.276	29	0.102	29	0.063	29	0.035	29	0.290	29	-0.109	29	0.176	29	-0.083	29	0.176
JunNSV	30	-0.313	30	-0.195	30	-0.018	30	0.122	30	-0.243	30	-0.211	30	-0.135	30	-0.038	30	-0.135
JuNSV	30	-0.158	30	0.088	30	-0.010	30	0.171	30	0.217	30	-0.142	30	0.082	30	0.016	30	0.082
AugNSV	30	0.045	30	0.042	30	0.189	30	0.237	30	0.071	30	0.304	30	0.424	30	0.234	30	0.424
SepNSV	30	0.057	30	0.189	30	0.159	30	0.327	30	0.215	30	0.189	30	0.144	30	0.032	30	0.144
OkNSV	30	0.245	30	0.063	30	0.253	30	-0.187	30	0.217	30	-0.234	30	-0.046	30	-0.349	30	-0.046
NovNSV	30	-0.079	30	-0.237	30	0.066	30	0.183	30	-0.188	30	0.128	30	0.207	30	-0.205	30	0.207
DezNSV	30	0.334	30	0.095	30	0.382	30	0.396	30	0.331	30	0.101	30	0.306	30	-0.012	30	0.306
JannresSV	30	-0.136	30	-0.044	30	0.135	30	0.455	30	0.043	30	0.041	30	0.129	30	-0.102	30	0.129
AMJNSV	30	-0.318	30	-0.154	30	-0.074	30	0.252	30	-0.081	30	-0.213	30	-0.157	30	0.091	30	-0.157
MJNSV	30	-0.185	30	0.033	30	0.112	30	0.148	30	-0.181	30	-0.228	30	-0.085	30	0.096	30	-0.085
FrNSV	30	-0.221	30	0.026	30	-0.047	30	0.208	30	0.056	30	-0.223	30	-0.190	30	0.049	30	-0.190
SomNSV	30	-0.221	30	-0.109	30	0.018	30	0.358	30	-0.047	30	0.114	30	0.254	30	0.243	30	0.254
HerNSV	30	0.019	30	-0.006	30	0.213	30	0.215	30	0.066	30	0.132	30	0.079	30	-0.306	30	0.079
WinNSV	28	0.179	28	0.089	28	0.209	28	0.220	28	-0.006	28	-0.048	28	0.203	28	-0.118	28	0.203

Malta 1954-1983

	Fichte 1		Fichte 3		Fichte 4		Ahorn 1		Ahorn 2		Ulme 1		Ulme 2		Buche 3		Buche 4				
	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value			
JT	30	0,140	0,461	30	0,007	0,971	30	-0,186	0,326	30	-0,101	0,597	30	0,090	0,635	30	-0,316	0,089	30	-0,316	0,089
FT	30	-0,573	0,001	30	-0,231	0,219	30	0,173	0,361	30	0,028	0,882	30	0,074	0,699	30	0,043	0,820	30	-0,087	0,648
MT	30	0,218	0,247	30	0,112	0,554	30	-0,212	0,260	30	-0,237	0,207	30	0,185	0,328	30	-0,294	0,115	30	0,108	0,568
AT	30	-0,052	0,795	30	0,032	0,868	30	-0,018	0,926	30	-0,076	0,691	30	-0,077	0,684	30	-0,330	0,075	30	-0,035	0,853
MaT	30	-0,002	0,991	30	0,141	0,458	30	0,147	0,438	30	-0,050	0,794	30	0,089	0,641	30	0,400	0,029	30	0,291	0,119
JuniT	30	-0,044	0,817	30	0,267	0,154	30	-0,242	0,199	30	-0,087	0,647	30	0,013	0,944	30	0,004	0,983	30	0,272	0,146
JuliT	30	0,209	0,268	30	0,128	0,501	30	0,161	0,396	30	-0,025	0,896	30	0,188	0,321	30	0,131	0,489	30	0,183	0,334
AugT	30	-0,043	0,820	30	-0,092	0,628	30	0,156	0,412	30	-0,076	0,691	30	-0,047	0,806	30	0,171	0,367	30	0,171	0,367
ST	30	0,273	0,145	30	0,352	0,056	30	0,212	0,262	30	0,095	0,617	30	-0,060	0,753	30	0,125	0,509	30	0,320	0,085
JMT	30	0,002	0,992	30	0,181	0,339	30	0,071	0,711	30	0,089	0,639	30	0,177	0,350	30	0,018	0,923	30	0,235	0,211
AMJT	30	0,013	0,944	30	0,204	0,280	30	-0,041	0,829	30	-0,088	0,645	30	-0,048	0,801	30	0,016	0,932	30	0,333	0,073
MJT	30	0,009	0,964	30	0,262	0,162	30	0,006	0,976	30	-0,055	0,774	30	0,044	0,817	30	0,285	0,126	30	0,439	0,015
FrüT	30	0,155	0,413	30	0,216	0,252	30	-0,057	0,764	30	-0,232	0,218	30	0,213	0,259	30	-0,149	0,433	30	0,266	0,156
SomT	30	0,057	0,766	30	0,103	0,587	30	0,082	0,668	30	-0,217	0,250	30	0,125	0,509	30	0,236	0,209	30	0,165	0,385
HerT	30	0,020	0,916	30	0,192	0,309	30	0,108	0,571	30	-0,007	0,972	30	0,004	0,982	30	0,334	0,071	30	0,026	0,891
WinT	29	-0,233	0,224	29	-0,250	0,192	29	-0,246	0,199	29	-0,148	0,443	29	-0,174	0,366	29	-0,260	0,173	29	-0,262	0,139
JuniTV	30	0,108	0,568	30	-0,041	0,829	30	0,389	0,033	30	0,477	0,008	30	0,130	0,493	30	0,248	0,186	30	0,248	0,186
JuliTV	30	0,133	0,485	30	-0,162	0,392	30	-0,468	0,009	30	-0,343	0,064	30	0,121	0,523	30	-0,121	0,525	30	0,022	0,907
AugTV	30	-0,037	0,848	30	-0,113	0,553	30	-0,261	0,164	30	-0,458	0,011	30	-0,220	0,243	30	-0,399	0,029	30	-0,399	0,029
STV	30	-0,108	0,568	30	-0,118	0,534	30	-0,067	0,727	30	0,047	0,805	30	0,019	0,920	30	-0,059	0,758	30	-0,107	0,573
OTV	30	0,231	0,220	30	-0,012	0,952	30	0,022	0,907	30	-0,045	0,814	30	0,234	0,214	30	0,418	0,022	30	0,000	0,999
NTV	30	0,216	0,251	30	0,069	0,718	30	0,110	0,561	30	0,122	0,521	30	0,163	0,388	30	0,287	0,125	30	0,210	0,264
DTV	30	0,041	0,830	30	-0,079	0,680	30	-0,345	0,062	30	0,106	0,576	30	-0,367	0,046	30	-0,071	0,710	30	-0,233	0,215
JMTV	30	0,161	0,396	30	-0,297	0,111	30	-0,239	0,203	30	-0,150	0,429	30	-0,143	0,449	30	0,001	0,997	30	-0,201	0,287
AMJTV	30	0,347	0,060	30	0,042	0,825	30	0,184	0,330	30	0,090	0,636	30	0,211	0,264	30	0,383	0,037	30	0,193	0,306
MJTV	30	0,244	0,195	30	-0,156	0,410	30	0,235	0,211	30	0,076	0,690	30	0,344	0,063	30	0,315	0,090	30	0,011	0,954
FrüTV	30	0,146	0,441	30	-0,138	0,468	30	-0,051	0,790	30	-0,106	0,578	30	-0,136	0,474	30	0,113	0,551	30	0,159	0,402
SomTV	30	0,123	0,516	30	-0,190	0,315	30	-0,157	0,407	30	-0,195	0,302	30	0,101	0,594	30	-0,097	0,611	30	-0,042	0,824
HerTV	30	0,161	0,396	30	-0,115	0,545	30	0,089	0,641	30	0,072	0,704	30	0,220	0,244	30	0,355	0,054	30	0,071	0,709
WinTV	28	0,024	0,902	28	-0,078	0,692	28	-0,383	0,044	28	-0,333	0,084	28	-0,304	0,115	28	-0,234	0,232	28	-0,241	0,217

Malta 1969-1998

	Fichte 1		Fichte 3		Fichte 4		Ahorn 1		Ahorn 2		Ulme 1		Ulme 2		Buche 3		Buche 4	
	N	Spearmann p-value	N	Spearmann p-value	N	Spearmann p-value	N	Spearmann p-value	N	Spearmann p-value	N	Spearmann p-value	N	Spearmann p-value	N	Spearmann p-value	N	Spearmann p-value
JahNSV	30	0.203 0.283	30	0.023 0.905	30	-0.047 0.805	30	-0.135 0.476	30	0.187 0.321	30	-0.026 0.889	30	-0.104 0.585	30	-0.067 0.725	30	-0.104 0.585
FebNSV	30	0.127 0.503	30	0.174 0.357	30	0.134 0.479	30	-0.384 0.036	30	-0.363 0.049	30	-0.010 0.958	30	-0.029 0.878	30	0.058 0.762	30	-0.029 0.878
MaiNSV	30	0.116 0.542	30	-0.080 0.674	30	0.036 0.851	30	-0.025 0.895	30	0.039 0.839	30	-0.146 0.441	30	-0.170 0.368	30	0.050 0.795	30	-0.170 0.368
AprNSV	30	0.008 0.966	30	-0.018 0.924	30	-0.020 0.915	30	-0.199 0.291	30	-0.325 0.079	30	0.169 0.372	30	-0.194 0.305	30	0.114 0.550	30	-0.194 0.305
MaNSV	30	0.026 0.892	30	-0.012 0.952	30	0.045 0.812	30	-0.528 0.003	30	-0.292 0.117	30	-0.247 0.189	30	-0.231 0.220	30	-0.401 0.028	30	-0.231 0.220
JuniNSV	30	-0.156 0.409	30	0.159 0.402	30	0.059 0.756	30	0.291 0.119	30	0.113 0.553	30	0.107 0.574	30	0.110 0.561	30	0.287 0.124	30	0.110 0.561
JuliNSV	30	0.080 0.673	30	0.150 0.428	30	0.049 0.795	30	0.004 0.983	30	-0.054 0.776	30	-0.007 0.972	30	0.032 0.868	30	-0.215 0.254	30	0.032 0.868
AugNSV	30	0.175 0.355	30	0.021 0.914	30	0.225 0.231	30	0.032 0.867	30	0.356 0.053	30	0.492 0.006	30	0.139 0.463	30	0.386 0.035	30	0.139 0.463
SeptNSV	30	-0.174 0.357	30	0.103 0.587	30	0.018 0.927	30	-0.035 0.854	30	-0.285 0.127	30	-0.079 0.679	30	0.034 0.858	30	-0.254 0.176	30	0.034 0.858
JahNSV	30	0.009 0.964	30	0.212 0.260	30	0.122 0.522	30	-0.201 0.287	30	-0.182 0.337	30	-0.164 0.388	30	-0.076 0.690	30	-0.130 0.494	30	-0.076 0.690
AMJNSV	30	-0.052 0.786	30	0.150 0.428	30	0.137 0.469	30	-0.073 0.701	30	-0.139 0.464	30	0.086 0.651	30	-0.041 0.832	30	0.092 0.630	30	-0.041 0.832
MJNSV	30	-0.059 0.755	30	0.242 0.197	30	0.226 0.229	30	-0.069 0.718	30	-0.036 0.852	30	-0.032 0.868	30	0.005 0.980	30	0.052 0.785	30	0.005 0.980
FrdNSV	30	0.035 0.853	30	-0.031 0.870	30	0.095 0.618	30	-0.416 0.022	30	-0.317 0.088	30	0.036 0.849	30	-0.251 0.180	30	-0.087 0.647	30	-0.251 0.180
SomNSV	30	-0.057 0.767	30	0.210 0.265	30	0.203 0.281	30	0.132 0.486	30	0.151 0.427	30	0.204 0.278	30	0.141 0.459	30	0.214 0.257	30	0.141 0.459
HerNSV	30	-0.181 0.339	30	0.148 0.435	30	0.028 0.882	30	-0.026 0.893	30	-0.199 0.291	30	-0.393 0.032	30	0.099 0.603	30	-0.210 0.265	30	0.099 0.603
WiNSV	30	0.228 0.226	30	0.177 0.350	30	0.177 0.750	30	-0.244 0.195	30	-0.062 0.746	30	-0.175 0.354	30	-0.028 0.881	30	0.034 0.860	30	-0.028 0.881
JuniNSV	30	-0.209 0.268	30	-0.054 0.778	30	0.005 0.978	30	0.257 0.170	30	0.044 0.819	30	0.063 0.740	30	0.082 0.666	30	0.204 0.279	30	0.082 0.666
JuliNSV	30	0.034 0.857	30	0.080 0.675	30	-0.103 0.590	30	0.317 0.088	30	0.195 0.301	30	0.174 0.357	30	0.184 0.330	30	-0.029 0.878	30	0.184 0.330
AugNSV	30	0.334 0.072	30	-0.013 0.946	30	0.331 0.074	30	-0.050 0.793	30	0.064 0.737	30	0.196 0.300	30	0.175 0.354	30	0.259 0.166	30	0.175 0.354
SeptNSV	30	-0.131 0.491	30	-0.174 0.358	30	-0.194 0.304	30	0.195 0.303	30	0.188 0.319	30	-0.023 0.904	30	-0.103 0.586	30	-0.020 0.914	30	-0.103 0.586
OkNSV	30	0.049 0.795	30	0.151 0.426	30	0.165 0.382	30	-0.028 0.884	30	0.307 0.099	30	-0.114 0.547	30	0.024 0.902	30	-0.266 0.156	30	0.024 0.902
NovNSV	30	0.012 0.950	30	-0.028 0.883	30	-0.100 0.598	30	0.440 0.015	30	0.247 0.189	30	0.095 0.616	30	0.349 0.059	30	-0.034 0.860	30	0.349 0.059
DezNSV	30	-0.160 0.398	30	-0.103 0.589	30	-0.234 0.214	30	0.043 0.944	30	0.034 0.880	30	-0.226 0.231	30	0.055 0.773	30	-0.173 0.361	30	0.055 0.773
JahresNSV	30	-0.053 0.783	30	-0.091 0.632	30	-0.148 0.436	30	0.396 0.030	30	0.267 0.154	30	0.055 0.774	30	0.161 0.396	30	0.098 0.605	30	0.161 0.396
AMJNSV	30	-0.097 0.611	30	-0.052 0.786	30	-0.037 0.847	30	0.206 0.274	30	0.053 0.783	30	-0.043 0.821	30	0.058 0.760	30	0.354 0.055	30	0.058 0.760
MJNSV	30	-0.069 0.718	30	0.001 0.994	30	0.047 0.806	30	0.171 0.366	30	0.064 0.738	30	-0.010 0.959	30	0.131 0.490	30	0.376 0.040	30	0.131 0.490
FrdNSV	30	0.002 0.991	30	-0.108 0.571	30	-0.055 0.774	30	-0.047 0.805	30	-0.029 0.880	30	-0.289 0.151	30	-0.157 0.408	30	0.249 0.185	30	-0.157 0.408
SomNSV	30	-0.038 0.840	30	0.006 0.977	30	-0.003 0.989	30	0.405 0.027	30	0.171 0.367	30	0.246 0.190	30	0.233 0.215	30	0.277 0.139	30	0.233 0.215
HerNSV	30	-0.019 0.919	30	-0.081 0.669	30	-0.077 0.867	30	0.375 0.041	30	0.375 0.041	30	0.008 0.967	30	0.177 0.350	30	-0.187 0.323	30	0.177 0.350
WiNSV	30	0.108 0.570	30	-0.036 0.850	30	-0.003 0.987	30	-0.097 0.611	30	0.124 0.515	30	-0.006 0.976	30	0.022 0.909	30	-0.008 0.966	30	0.022 0.909

Malta 1969-1998

	Fichte 1		Fichte 3		Fichte 4		Ahorn 1		Ahorn 2		Ulme 1		Ulme 2		Buche 3		Buche 4	
	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value
JT	30	0,029 0,878	30	-0,075 0,895	30	-0,095 0,618	30	-0,001 0,994	30	0,018 0,923	30	0,008 0,966	30	-0,104 0,583	30	-0,099 0,601	30	-0,104 0,583
FT	30	-0,156 0,412	30	-0,157 0,406	30	-0,150 0,430	30	0,350 0,058	30	0,206 0,275	30	0,048 0,801	30	-0,084 0,658	30	0,115 0,545	30	-0,084 0,658
MT	30	0,292 0,117	30	0,277 0,138	30	0,025 0,894	30	0,214 0,256	30	0,124 0,512	30	0,084 0,658	30	0,278 0,138	30	-0,127 0,504	30	0,278 0,138
AT	30	-0,133 0,484	30	-0,155 0,413	30	0,094 0,623	30	-0,288 0,123	30	-0,084 0,661	30	-0,117 0,540	30	-0,149 0,431	30	-0,308 0,098	30	-0,149 0,431
MaT	30	0,070 0,713	30	0,121 0,526	30	0,120 0,529	30	0,323 0,082	30	0,283 0,129	30	-0,019 0,923	30	0,105 0,579	30	0,396 0,030	30	0,105 0,579
JuunT	30	-0,103 0,587	30	0,213 0,259	30	0,034 0,859	30	-0,226 0,229	30	-0,074 0,696	30	-0,013 0,947	30	0,043 0,823	30	-0,105 0,580	30	0,043 0,823
JuulT	30	0,065 0,732	30	0,128 0,500	30	0,087 0,649	30	0,321 0,084	30	0,323 0,082	30	-0,085 0,655	30	0,284 0,129	30	0,060 0,753	30	0,284 0,129
AuT	30	-0,135 0,479	30	0,033 0,861	30	0,012 0,949	30	0,403 0,027	30	0,284 0,129	30	0,011 0,955	30	0,236 0,210	30	0,096 0,612	30	0,236 0,210
ST	30	0,283 0,130	30	0,398 0,029	30	0,374 0,042	30	0,285 0,127	30	0,273 0,144	30	-0,023 0,904	30	0,218 0,246	30	0,050 0,794	30	0,218 0,246
JiunT	30	0,143 0,451	30	0,195 0,303	30	0,208 0,271	30	0,281 0,133	30	0,413 0,023	30	0,014 0,943	30	0,165 0,383	30	0,091 0,634	30	0,165 0,383
AuJiunT	30	-0,014 0,942	30	0,116 0,543	30	0,150 0,428	30	-0,099 0,602	30	0,106 0,577	30	-0,055 0,771	30	0,040 0,835	30	-0,018 0,924	30	0,040 0,835
MaiT	30	-0,006 0,973	30	0,205 0,278	30	0,113 0,553	30	0,032 0,867	30	0,144 0,446	30	0,003 0,988	30	0,073 0,701	30	0,168 0,375	30	0,073 0,701
FruT	30	0,276 0,140	30	0,239 0,204	30	0,203 0,283	30	0,112 0,554	30	0,168 0,375	30	0,134 0,481	30	0,212 0,262	30	-0,038 0,842	30	0,212 0,262
SomT	30	-0,115 0,545	30	0,116 0,542	30	0,067 0,727	30	0,103 0,589	30	0,182 0,336	30	-0,170 0,368	30	0,164 0,386	30	-0,040 0,833	30	0,164 0,386
HerT	30	0,079 0,680	30	0,209 0,267	30	0,185 0,328	30	0,098 0,606	30	0,091 0,631	30	0,081 0,669	30	0,117 0,538	30	-0,020 0,915	30	0,117 0,538
WiinT	30	-0,059 0,759	30	-0,047 0,806	30	-0,027 0,889	30	0,291 0,119	30	0,313 0,092	30	0,067 0,723	30	-0,059 0,758	30	0,096 0,615	30	-0,059 0,758
JuunTV	30	-0,004 0,984	30	-0,044 0,817	30	-0,052 0,786	30	0,237 0,208	30	0,396 0,030	30	-0,012 0,952	30	-0,028 0,882	30	0,003 0,989	30	-0,028 0,882
JuulTV	30	-0,091 0,634	30	-0,409 0,025	30	-0,264 0,159	30	-0,383 0,032	30	-0,370 0,044	30	-0,145 0,443	30	-0,122 0,519	30	-0,335 0,071	30	-0,122 0,519
AuTV	30	-0,192 0,309	30	-0,137 0,469	30	-0,100 0,600	30	-0,012 0,952	30	-0,235 0,211	30	-0,300 0,107	30	-0,287 0,125	30	-0,190 0,315	30	-0,287 0,125
STV	30	-0,046 0,809	30	-0,189 0,317	30	0,101 0,596	30	-0,035 0,853	30	0,163 0,390	30	-0,139 0,463	30	-0,013 0,946	30	-0,116 0,541	30	-0,013 0,946
OTV	30	0,504 0,005	30	0,205 0,277	30	0,216 0,251	30	-0,114 0,549	30	0,088 0,720	30	0,347 0,060	30	0,489 0,006	30	-0,023 0,902	30	0,489 0,006
NTV	30	0,088 0,645	30	0,102 0,590	30	0,119 0,532	30	0,054 0,776	30	0,346 0,061	30	-0,108 0,572	30	-0,080 0,673	30	0,060 0,753	30	-0,080 0,673
DTV	30	0,162 0,393	30	-0,125 0,511	30	0,106 0,579	30	-0,113 0,551	30	0,051 0,790	30	-0,143 0,452	30	0,055 0,775	30	-0,192 0,310	30	0,055 0,775
JiunTV	30	0,104 0,585	30	-0,059 0,757	30	-0,128 0,499	30	-0,073 0,701	30	-0,161 0,396	30	-0,192 0,308	30	0,081 0,671	30	-0,369 0,045	30	0,081 0,671
AuJiunTV	30	0,107 0,573	30	0,118 0,536	30	0,031 0,872	30	-0,037 0,845	30	-0,088 0,645	30	0,062 0,746	30	0,051 0,788	30	-0,061 0,749	30	0,051 0,788
MaiTV	30	-0,045 0,814	30	-0,032 0,866	30	-0,052 0,785	30	0,083 0,662	30	0,045 0,812	30	0,091 0,633	30	-0,036 0,851	30	-0,156 0,410	30	-0,036 0,851
FruTV	30	0,045 0,814	30	0,135 0,477	30	-0,144 0,449	30	0,193 0,307	30	-0,270 0,148	30	-0,171 0,366	30	0,133 0,482	30	-0,098 0,606	30	0,133 0,482
SomTV	30	-0,144 0,448	30	-0,308 0,098	30	-0,211 0,263	30	-0,121 0,524	30	-0,029 0,878	30	-0,132 0,487	30	-0,211 0,264	30	-0,208 0,270	30	-0,211 0,264
HerTV	30	0,230 0,222	30	0,031 0,871	30	0,216 0,252	30	-0,010 0,957	30	0,359 0,051	30	-0,028 0,881	30	0,155 0,414	30	-0,046 0,811	30	0,155 0,414
WiinTV	30	-0,027 0,887	30	-0,186 0,324	30	-0,269 0,150	30	-0,131 0,490	30	0,000 0,19	30	-0,196 0,299	30	-0,092 0,629	30	-0,434 0,017	30	-0,092 0,629

Mallnitz 1981-2013

	Fiche 1		Fiche 3		Fiche 4		Ahorn 1		Ahorn 2		Ulme 1		Ulme 2		Buche 3		Buche 4	
	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value								
JahNSV	33	0,210	33	0,127	33	0,179	33	-0,019	33	0,179	31	0,117	29	0,057	33	0,282	33	0,208
FebNSV	33	0,059	33	-0,174	33	-0,013	33	-0,087	33	-0,107	31	0,186	29	0,029	33	-0,016	33	0,079
MärNSV	33	-0,188	33	-0,134	33	-0,014	33	0,044	33	0,122	31	-0,034	29	-0,067	33	0,092	33	-0,058
AprNSV	33	-0,042	33	-0,005	33	-0,062	33	0,285	33	0,242	31	0,516	29	0,200	33	0,129	33	0,313
MaiNSV	33	-0,105	33	-0,014	33	-0,016	33	-0,071	33	-0,110	31	-0,025	29	-0,138	33	-0,375	33	-0,117
JuniNSV	33	-0,142	33	-0,265	33	-0,156	33	0,397	33	0,262	31	0,100	29	0,159	33	0,154	33	0,163
JuliNSV	33	0,326	33	0,245	33	0,328	33	-0,235	33	-0,061	31	-0,152	29	-0,167	33	0,027	33	-0,059
AugNSV	33	0,030	33	-0,117	33	-0,027	33	-0,016	33	-0,177	31	-0,102	29	-0,222	33	0,017	33	-0,195
SepNSV	33	-0,048	33	0,006	33	0,040	33	0,043	33	-0,221	31	-0,154	29	-0,105	33	-0,300	33	-0,126
JahNS	33	-0,112	33	-0,049	33	0,022	33	-0,216	33	-0,300	31	-0,192	29	-0,276	33	-0,196	33	-0,169
AMJNS	33	-0,215	33	-0,279	33	-0,138	33	0,280	33	0,072	31	0,330	29	0,118	33	-0,160	33	0,112
MJNS	33	-0,219	33	-0,266	33	-0,147	33	0,216	33	0,035	31	0,034	29	0,040	33	-0,173	33	-0,025
JJNS	33	-0,170	33	-0,166	33	0,010	33	0,013	33	-0,104	31	0,281	29	-0,094	33	-0,194	33	-0,046
SomNS	33	0,159	33	-0,045	33	0,165	33	-0,029	33	-0,073	31	-0,174	29	-0,154	33	-0,007	33	-0,171
HerNS	33	-0,233	33	0,070	33	-0,084	33	-0,213	33	-0,219	31	-0,236	29	-0,252	33	-0,194	33	-0,130
WinNS	32	0,186	32	0,077	32	0,226	32	-0,078	32	-0,021	30	0,092	28	0,189	32	-0,080	32	0,106
JunNSV	32	0,180	32	0,085	32	0,036	32	0,149	32	-0,139	30	-0,098	28	0,145	32	-0,045	32	0,142
JuliNSV	32	0,005	32	0,115	32	-0,127	32	0,510	32	0,283	30	0,493	28	0,397	32	0,260	32	0,442
AugNSV	32	-0,110	32	-0,276	32	0,006	32	-0,111	32	-0,075	30	0,083	28	0,008	32	0,046	32	-0,025
SepNSV	32	-0,160	32	-0,009	32	0,012	32	-0,047	32	-0,191	30	-0,245	28	-0,149	32	-0,271	32	-0,116
OkNSV	32	0,170	32	0,074	32	-0,046	32	0,166	32	0,279	30	0,100	28	-0,042	32	0,109	32	0,065
NovNSV	32	-0,130	32	-0,128	32	-0,272	32	0,349	32	0,330	30	0,108	28	0,235	32	0,139	32	0,151
DezNSV	32	-0,048	32	-0,263	32	-0,214	32	0,089	32	-0,205	30	-0,172	28	0,056	32	-0,196	32	-0,096
JahresNSV	32	-0,016	32	-0,132	32	-0,228	32	0,501	32	0,361	30	0,184	28	0,255	32	0,206	32	0,157
AMJNSV	32	0,229	32	0,030	32	0,206	32	0,090	32	-0,141	30	-0,166	28	-0,145	32	0,049	32	-0,191
MJNSV	32	0,124	32	-0,101	32	0,037	32	0,137	32	-0,049	30	-0,146	28	-0,007	32	0,061	32	-0,054
JJNSV	32	0,115	32	-0,044	32	0,165	32	-0,104	32	-0,081	30	-0,126	28	-0,201	32	0,098	32	-0,354
SomNSV	32	0,044	32	-0,102	32	-0,059	32	0,316	32	0,053	30	0,317	28	0,352	32	0,174	32	0,316
HerNSV	32	-0,050	32	0,014	32	-0,276	32	0,408	32	0,414	30	-0,033	28	0,025	32	0,066	32	0,053
WinNSV	31	0,211	31	-0,081	31	0,077	31	0,006	31	-0,092	29	0,127	27	0,029	31	0,161	31	-0,048

Mallnitz 1981-2013

	Fichte 1		Fichte 3		Fichte 4		Ahorn 1		Ahorn 2		Ulme 1		Ulme 2		Buche 3		Buche 4	
	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value	N	Spearman p-value
JT	33	0,183	33	0,027	33	0,881	33	-0,033	33	0,058	31	-0,115	29	0,170	33	0,182	33	0,262
FT	33	-0,280	33	-0,098	33	0,588	33	0,038	33	-0,066	31	0,029	29	0,032	33	0,011	33	-0,062
MT	33	0,331	33	0,420	33	0,015	33	0,161	33	0,097	31	0,029	29	0,150	33	0,038	33	0,131
AT	33	-0,221	33	-0,225	33	0,208	33	-0,365	33	-0,464	31	-0,398	29	-0,476	33	-0,473	33	-0,403
MaT	33	-0,039	33	-0,032	33	0,861	33	-0,071	33	0,097	31	-0,086	29	-0,314	33	0,232	33	-0,288
JuniT	33	-0,032	33	0,129	33	0,475	33	-0,014	33	-0,046	31	-0,256	29	-0,151	33	0,080	33	-0,148
JuliT	33	0,023	33	-0,051	33	0,779	33	0,223	33	0,383	31	0,038	29	0,302	33	0,053	33	0,259
AuT	33	-0,003	33	0,182	33	0,310	33	-0,036	33	0,385	31	-0,002	29	0,158	33	0,080	33	0,209
ST	33	0,203	33	0,343	33	0,051	33	0,315	33	0,137	31	0,082	29	0,056	33	-0,191	33	0,010
JMT	33	0,101	33	0,216	33	0,227	33	0,231	33	0,167	31	-0,107	29	0,109	33	0,155	33	0,135
AMJT	33	-0,126	33	-0,072	33	0,690	33	-0,316	33	-0,164	31	-0,347	29	-0,460	33	-0,055	33	-0,423
MJT	33	-0,054	33	0,029	33	0,873	33	-0,024	33	0,024	31	-0,190	29	-0,314	33	0,206	33	-0,253
FrüT	33	0,139	33	0,199	33	0,268	33	0,182	33	-0,088	31	-0,188	29	-0,291	33	-0,003	33	-0,231
SomT	33	0,110	33	0,045	33	0,804	33	-0,135	33	0,335	31	-0,172	29	0,297	33	0,149	33	0,255
HerT	33	-0,088	33	-0,002	33	0,990	33	-0,070	33	0,172	31	0,385	29	0,054	33	-0,058	33	0,131
WinT	32	0,020	32	-0,029	32	0,876	32	0,141	32	0,057	30	0,039	28	0,149	32	0,145	32	0,156
JuniTV	32	-0,193	32	-0,133	32	0,469	32	0,116	32	0,215	30	-0,187	28	-0,122	32	0,117	32	-0,015
JuliTV	32	-0,297	32	-0,619	32	0,000	32	-0,256	32	-0,540	30	-0,532	28	-0,390	32	-0,414	32	-0,433
AuTV	32	-0,312	32	-0,152	32	0,405	32	-0,181	32	-0,254	30	-0,032	28	-0,255	32	-0,475	32	-0,141
STV	32	0,267	32	0,079	32	0,666	32	0,235	32	-0,061	30	-0,163	28	0,019	32	0,038	32	0,079
OTV	32	0,130	32	0,197	32	0,279	32	0,158	32	-0,141	30	0,230	28	-0,096	32	0,095	32	-0,038
NTV	32	0,078	32	-0,091	32	0,620	32	-0,096	32	0,208	30	-0,437	28	-0,198	32	0,139	32	-0,188
DTV	32	0,337	32	0,127	32	0,490	32	0,237	32	0,194	30	0,251	28	0,156	32	0,238	32	0,230
JMTV	32	-0,226	32	0,021	32	0,910	32	-0,071	32	-0,145	30	-0,039	28	-0,113	32	-0,178	32	0,035
AMJTV	32	-0,189	32	0,018	32	0,924	32	-0,102	32	0,056	30	-0,035	28	-0,175	32	0,109	32	-0,042
MJTV	32	-0,266	32	-0,053	32	0,775	32	-0,168	32	0,129	30	0,035	28	-0,105	32	0,037	32	-0,028
FrüTV	32	-0,309	32	0,040	32	0,829	32	-0,221	32	-0,049	30	-0,087	28	-0,065	32	-0,059	32	0,081
SomTV	32	-0,488	32	-0,441	32	0,011	32	-0,220	32	-0,448	30	-0,327	28	-0,367	32	-0,619	32	-0,285
HerTV	32	0,262	32	0,105	32	0,569	32	0,244	32	-0,049	30	-0,471	28	-0,347	32	-0,019	32	-0,230
WinTV	31	-0,103	31	0,223	31	0,228	31	-0,020	31	-0,130	29	0,065	27	-0,128	31	-0,214	31	-0,053

7.2 Klimadaten der Station Malta 1901-2013 (830m)

A.) Monatsmitteltemperaturen

Jahr	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1903	-5,5	1,4	3,9	4	11,2	14,3	16	16,1	12,4	8,4	2,3	-2,5	1960	-2,6	-2	3,4	7,2	12,4	15,3	14,8	14,6	11,2	7,6	3,1	-1,8
1904	-4,6	0,5	2,2	7,2	11,6	15,6	16,9	16,2	11,2	7,5	1,6	-2,3	1961	-5,4	0,8	4,4	10,2	10,6	15,8	14,9	15,5	14,7	8,4	2,2	-2,4
1905	-5,5	-2,1	2,2	6,1	10,5	14,5	17,5	15,9	13,5	3	1,4	-1,6	1962	-2,3	-1,1	-0,3	6,7	9,8	12,8	14,6	16,4	11,5	6,8	1,5	-5,2
1906	-3,7	-2,3	1,8	5,6	10,7	13,9	16,4	16,1	10,5	7,3	2,6	-3,4	1963	-6,9	-6,3	1,3	8,3	10,9	14,8	16,9	15,6	13,4	8	5	-5,2
1907	-3,6	-2,1	0,9	4,6	10,8	14,6	15	15,7	12,3	10,3	1,6	-1,5	1964	-7,4	0,5	1,7	8,2	12,6	16	16,7	15	12,5	5,9	4	-2,4
1908	-4,4	-0,1	0,9	4,2	14	15,7	16,2	14,8	10,9	6,7	-0,8	-3,1	1965	-2,1	-3,5	1,7	6,7	10,3	15	15,1	14,1	11,1	6,9	1,5	-2,5
1909	-6,9	-3,4	-0,1	7,4	10,8	12,6	14,3	15,3	11,4	9,5	1,1	0	1966	-5,2	2,7	2,7	8,4	11,9	15,9	15,2	13,9	12,8	10,4	1	-1,2
1910	-1,3	0,4	2,2	5,7	9,8	14,1	14,4	14,8	10,9	8,4	0,6	0,2	1967	-1,4	-0,6	4,1	5,9	11,7	13,8	17,3	15,1	12,4	8,4	3,1	-1,5
1911	-3	-0,2	2,2	6,6	11,1	13,7	17,1	16,9	14,3	7,9	3,6	0,2	1968	-3	0,2	3	8,4	11,2	14,2	16,1	14,1	12,1	7,8	2,6	-5,3
1912	-1,9	1,1	4,5	5,5	11,7	14,7	16,3	13,5	7,4	5,3	-1,3	-1,5	1969	-3,4	-2,8	1,5	6,2	13,2	13,4	17,3	14,2	13,1	7,6	2,7	-4,6
1913	-3,7	-2,1	4,2	6,5	12	15,4	14	15	12,2	8	3,9	-0,6	1970	-1,7	-1,3	0,4	5,1	9,8	15,7	15,8	15,7	12,7	6,4	3,8	-2,9
1914	-6	-0,1	3,1	7,8	9,9	13	16	16,3	11,5	7,1	1,9	-0,2	1971	-3,2	-0,4	-0,2	8,3	12,2	13,2	17,5	16,5	10,6	7	2,3	0,4
1915	-2,6	-2,2	1,8	6,2	11,9	16,6	15,3	13,2	11,2	6	-0,5	1,2	1972	-4,3	0,8	4,3	7,2	10,4	14	15,6	16	9,2	5,8	2,2	-2,8
1916	1,4	-1,4	3,4	6,5	10,9	12,2	16,3	15,5	9,2	8	3	1,9	1973	-1,8	-1,4	2,7	4,8	12,4	15,2	15,8	16,7	12,9	6,1	1,7	-1,9
1917	-4	-5,9	1	3,5	11,5	16,6	17,3	16,5	14,7	9	0,6	-5,9	1974	0,1	2,1	4	6,5	11	13,4	16	16,9	12	3,7	2,3	1,6
1918	-3	-0,9	3,6	7,4	12,3	13,4	15,2	16,7	13,5	7	1,2	-0,5	1975	1,4	0,3	2,7	6,4	11,8	13	16,7	15,7	14,4	6,4	0,9	-1,3
1919	-1,2	-1,4	4,4	6,2	10,1	16	15,1	17,7	13,5	3,2	-1	-3,6	1976	0,5	-0,9	1,6	6,9	11,7	16,2	17,7	13,6	11,1	8,9	4,1	-2,9
1920	0,2	-0,5	5	5,9	13,9	13,9	16,8	14,6	13	6,8	-0,7	-1,4	1977	-1,3	1	6	6,3	11,2	14,9	16,1	14,6	10,8	9,2	2,2	-2,1
1921	1,3	0	4	5,4	12,7	15,3	18,1	16,6	13,5	10,5	0,4	-2,3	1978	-2,9	-2,1	3,5	5,3	10,3	13,5	14,8	14	12,3	7,1	0,9	-3,1
1922	-3,6	-1,5	4,8	5,4	12,9	15,6	16,7	16,6	11,5	5,6	1	0	1979	-4,2	-1	3,4	5,8	11,5	15,4	15,4	14,1	12,6	8	1,9	1
1923	-1,5	0,7	3,7	6,5	12,1	11,8	17,6	17	12,2	9,4	2,7	-2,2	1980	-4,6	0	3,5	5,4	10	13,4	15,1	16,9	13,4	7,1	0,8	-1,3
1924	-3,5	-1,8	2,2	7,2	10,1	14,7	17,5	13,3	13	6,8	2,2	-0,5	1981	-3,3	-2,2	5,1	7,8	11,2	15,2	15,4	16	13,3	7,9	3,2	-1,7
1925	-1	1,9	0,3	5,8	11,6	15	16,3	15,5	10,1	7,1	1,4	-4,1	1982	-2,2	-2,1	2	5,8	11,5	15,6	17,7	15,7	14,4	8,2	3,9	0,5
1926	-3,8	2,2	3,1	7,5	10,1	12,9	15,4	15	14,1	7,8	5,3	-0,4	1983	1	-3	4,1	8,2	11,5	15,1	19,4	16,3	12,8	8,1	0	-1,4
1927	-2	-2,8	3,3	7	11,4	15,4	16,4	16,1	12,9	7,1	1,6	-3,6	1984	-2,6	-1,7	1,4	6,2	9,3	13,9	15,9	15,3	11,5	8,6	2,1	-0,5
1928	-3,6	-0,3	0,9	7,3	9	14	18	16,2	11,6	7,5	3,3	-4	1985	-6,1	-0,7	2,3	6,7	11,3	13,2	17,7	16,1	13,3	8,1	0,1	1,5
1929	-8	-8,9	2,2	4	12,1	15,8	17,3	16,3	13,3	7,3	2,2	0,5	1986	-3,3	-4,5	1,5	6,8	13,9	14,7	16,3	15,8	12,4	8,3	2,8	-2
1930	-1,6	-2,7	4,3	7,2	10,5	16,3	15,4	15,2	12,4	6,3	3,9	-2,2	1987	-4,7	-0,8	-1	8	9,8	14,3	17,3	15,6	14,5	8,9	3,6	1
1931	-3,6	-1,7	-0,4	5	12,8	14,6	15,9	14,5	8,8	6,3	2,4	-2,8	1988	-0,2	-0,4	2,8	7,6	12,1	14,2	17	15,9	12,5	9,5	0,1	1,5
1932	-1,6	-4,7	-0,6	5,3	11,6	13,7	16,6	18,5	16,1	7,2	2,6	-0,8	1989	-0,4	2,1	5,7	7,6	11,3	12,7	16,3	15,9	12,7	8,2	1	-1
1933	-4,4	-1,5	2,7	6,8	10,1	12,6	17,1	16,1	12,9	7	0,2	-5,4	1990	-2,1	3	6,1	6,2	12,1	14,1	16,1	15,8	11,4	8,8	1,6	-2,6
1934	-3,5	-0,7	3,4	8	12,6	14,3	17,4	15	13,6	7,1	1,4	1,4	1991	-3,7	-3,5	5,5	6	8,8	13,8	17,6	17,1	14,1	6,8	1,1	-1,9
1935	-4,2	-2,1	0,5	6,1	9,8	16,7	17,8	15,2	11,9	9,2	2,7	-2,2	1992	-0,8	1,9	3,9	6,9	12,6	14,6	17,7	19	13	6,3	4,2	-1,3
1936	0,5	-0,4	4,4	7,1	11,6	14,5	16,6	15	12,5	4,3	0,7	-2,6	1993	-0,8	-0,5	3,2	8,3	12,9	15,3	15,6	16,4	11,7	8,1	1,2	-1,1
1937	-4,4	0,6	2,1	6,3	13	16	17	15,4	11,7	7,4	1,7	-3,8	1994	0,7	0	7,2	6,9	12,1	16	18,9	18	13,6	6,8	6,4	0,4
1938	-2,3	-2,8	5,8	4,1	10,1	16	16,2	15,4	11,6	8	2,9	-3,9	1995	-2,4	2,7	2,2	8,6	11,7	13,5	18	14,9	10,9	9	2,4	-1,5
1939	-1,9	-0,1	-0,2	9,1	9,5	15,3	15,5	15,6	11,6	6	2,6	-4,6	1996	-1,8	-2,4	1,1	8	12	15,9	15,2	15,4	9,7	7,6	4,2	-2,7
1940	-8	-3,5	2,1	7,3	11	14,8	15	14	12,7	6,7	3,3	-6,5	1997	-1,6	1,1	4,9	5,6	12,4	14,3	15,8	16,5	13,3	7,2	3,2	0,3
1941	-5,4	-1,7	3,2	6,3	8,9	15	17,3	15,3	10,8	6	0	-2,7	1998	-0,2	3,1	3,3	7,7	12,1	15,5	16,7	17,2	11,8	8,1	0,6	-1,7
1942	-7,8	-3,5	3,1	6,8	12	14,8	16,1	15,7	14,7	8,1	0,6	-1,9	1999	-1,6	0	4,8	8,4	13	15	17	15,7	14,1	8,5	2,1	-1,6
1943	-6,4	-1,2	3,7	9,1	11,7	13,7	16,5	17,9	13,7	8,1	0,5	-2,6	2000	-2,3	2,1	4,6	9,1	13,4	17,1	15,7	17,4	13,4	9,7	4,3	0,9
1944	-6,7	-0,5	5,6	8	12,9	14,9	17	15,8	12,2	5,4	1	-3,3	2001	-0,7	1,3	5,9	6,3	14	15,1	18,1	18,3	10,7	10,6	2,1	-3,3
1945	-5,4	1	4,3	8,5	13,1	14,6	17,3	16,3	13,3	5,6	1,2	-5,8	2002	-1,3	2,5	5,3	7,2	13,4	17,9	17,8	16,9	11,5	8,2	6,1	0
1946	-8,2	-2,7	2,4	9,2	12,7	15,8	17,2	16,8	14,5	6,5	4,4	-1,6	2003	-1,8	-2,3	5,6	6,9	13,9	19,1	18,2	19,8	12,3	5,4	4,1	-0,2
1947	0,1	-1,5	5,2	8	12,2	13,5	13,4	15,5	12,5	7,7	3,9	-3,1	2004	-2,5	1,1	3,2	8,2	10,9	15,6	16,8	17,4	12,9	9,5	3,4	-1
1948	-1,1	-0,3	0,6	9,9	10,6	13,9	15,4	14,9	13,4	8,5	2,2	-1,9	2005	-1,7	-2,3	3	7,7	13,5	17,2	17,4	15,3	13,5	8,6	2,3	-3,4
1949	-3,3	0,2	4,1	5,9	12,2	15,9	17,8	16	12,8	6,3	1,9	-2,3	2006	-5,1	-1,3	1,1	8	12,2	16,4	19,8	14,4	14,9	10,1	4,5	0,2
1950	-2,1	-0,7	0,6	5,3	10,1	14,1	16,2	16,9	14,2	6,1	4,5	-0,2	2007	1,8	2,6	4,5	11,1	13,9	16,2	17,3	15,9	11,2	7,7	1,8	-1,1
1951	-3,4	-1,9	2,2	8,6	11,3	14,8	17,4	16,2	10,2	6,3	0	-3	2008	0,7	1,9	2,9	6,9	13,4	16	16,9	16,6	11,1	8,7	2,6	-1,2
1952	-3,7	-1,1	3,1	8,2	11,6	13,9	15,8	14,5	12,9	9,5	1,4	-1,3	2009	-3,6	-0,4	3,7	8,7	13,9	15	18	18,1	13,3	7,4	3,3	-2,3
1953	-5,7	-4,5	2,5	6,1	10,4	14,7	14	14,3	13	6,6	1,4	1,1	2010	-4,3	-1,2	3	8,1	11,8	16,7	19,7	16,3	11,6	6,6	3,4	-2,8
1954	-2,8	-2	1	8,5	9,9	13,8	15,8	14,1	11,7	6,9	0,9	0,7	2011	-1,6	0,6	4,1	10,5	13,6	15,5	16,9	17,6	15	7	1,9	0
1955	-2,7	-9,1	0,7	5,2	11,1	12,9	16,1	15,5	12,9	6,1	-0,1	-1,7	2012	-1,2	-2,4	7,1	7,8	12,9	16,9	16,9	17,9	12,9	8,1	4,2	-1,3
1956	-2,7	-9,1	0,7	5,2	11,1	12,9	16,1	15,5	12,9	6,1	-0,1	-1,7	2013	-0,2	-1,8	1,4	8,8	10,9	15,7	20,2	18,1	13	8,9	3,1	0,5
1957	-1,9	1,4	5,2	6,6	8,6	15,4	16	14,6	11,2	6,5	3,7	-1													

B.) Monatliche Niederschlagssummen (mm)

Jahr	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1901	8	61	92	70	60	143	81	68	142	64	86	139	1964	0	10	35	58	49	97	110	112	35	326	117	97
1902	56	105	39	29	89	84	93	89	51	84	13	105	1965	41	1	51	44	133	114	191	152	239	0	101	58
1903	64	8	7	27	42	40	100	138	222	100	127	108	1966	14	26	12	44	64	83	132	290	54	113	132	74
1904	3	66	49	53	85	107	73	75	121	32	150	59	1967	6	23	36	70	110	100	93	111	175	52	131	15
1905	38	63	0	13	101	73	58	131	79	34	176	8	1968	65	49	31	45	138	149	89	133	82	30	131	29
1906	7	32	67	56	41	84	46	75	39	71	165	43	1969	30	47	38	18	53	89	110	120	62	6	110	16
1907	16	13	19	69	106	95	121	117	58	182	18	51	1970	16	51	70	89	34	117	96	201	70	50	58	42
1908	1	25	23	104	32	105	50	154	64	47	10	36	1971	35	17	38	33	71	81	54	194	25	18	57	44
1909	6	47	104	14	40	108	97	176	122	48	42	87	1972	39	40	63	94	151	185	166	54	49	33	19	21
1910	60	72	7	37	143	152	142	163	39	17	98	58	1973	25	47	6	123	55	189	105	76	239	37	27	73
1911	9	14	99	37	43	132	160	65	103	139	99	65	1974	22	27	71	33	24	95	121	86	95	33	29	33
1912	22	39	29	48	86	80	142	168	102	116	53	18	1975	49	4	213	171	156	148	94	86	39	57	114	17
1913	35	5	43	70	60	110	132	72	141	62	132	45	1976	38	35	3	50	58	29	116	46	138	103	60	38
1914	16	27	82	30	169	61	150	89	43	70	46	83	1977	100	91	48	56	85	52	139	142	43	3	53	40
1915	60	166	21	28	76	74	108	40	70	80	83	32	1978	126	24	56	90	72	93	143	83	56	61	19	50
1916	21	96	102	38	70	144	99	78	137	46	192	209	1979	42	42	78	101	66	185	151	111	78	59	129	61
1917	171	4	77	123	37	63	119	95	31	338	41	22	1980	48	12	34	5	44	127	158	94	47	168	84	31
1918	5	11	36	113	59	80	110	79	165	122	10	95	1981	26	25	49	45	146	51	133	83	106	70	4	62
1919	165	17	65	116	15	109	105	78	66	64	126	44	1982	38	31	32	6	52	99	71	123	59	149	59	94
1921	37	10	3	129	72	26	71	106	11	9	18	1	1983	63	29	27	21	104	48	39	85	127	85	11	51
1922	49	13	103	164	47	90	104	47	99	85	12	31	1984	27	95	14	42	104	64	73	101	147	83	21	23
1923	50	25	12	137	72	99	77	107	99	115	157	75	1985	40	29	66	23	101	155	132	172	38	26	107	45
1924	24	21	10	38	124	161	97	154	191	58	1	51	1986	72	29	33	54	55	74	54	155	73	35	34	20
1925	1	115	50	141	88	83	116	163	108	72	95	48	1987	35	72	51	42	133	114	173	133	92	85	104	5
1926	28	66	57	114	86	116	155	40	49	199	237	6	1988	23	41	26	38	67	52	136	134	91	77	10	20
1927	61	5	103	156	74	110	69	126	129	42	219	11	1989	0	20	42	115	65	109	108	120	84	5	107	39
1928	30	32	63	57	74	105	101	107	80	195	88	46	1990	9	54	40	59	37	84	184	85	53	87	208	50
1929	52	32	9	54	78	74	80	149	41	147	90	33	1991	5	39	22	10	93	139	189	40	155	55	157	64
1930	3	9	42	109	52	56	171	77	141	89	33	18	1992	3	5	93	77	53	58	66	95	60	169	59	99
1931	24	73	45	86	40	181	212	145	95	104	95	21	1993	9	8	30	28	45	74	221	68	99	283	106	41
1932	23	15	25	50	78	52	44	61	24	188	118	21	1994	63	1	2	36	46	29	73	126	150	57	25	25
1933	8	32	25	61	77	106	132	91	115	210	114	55	1995	29	18	30	27	76	140	109	80	109	5	12	50
1946	24	27	27	5	64	190	208	153	33	26	32	36	1996	11	41	11	40	88	115	104	132	56	131	234	16
1947	12	81	104	13	69	91	131	28	19	10	137	70	1997	20	3	18	42	45	191	128	94	53	32	104	43
1948	88	41	24	52	31	110	155	124	9	105	14	20	1998	3	0	10	71	29	209	262	60	206	135	47	11
1949	84	0	10	38	73	66	104	104	50	62	166	46	1999	18	28	29	70	98	88	107	223	94	72	31	37
1950	31	58	2	115	23	69	129	90	75	39	117	134	2000	40	3	89	42	68	67	157	123	77	185	262	25
1951	149	151	68	86	49	41	86	48	90	19	106	5	2001	103	27	63	102	38	89	109	137	100	26	14	15
1952	21	59	20	54	38	58	111	119	179	178	53	38	2002	2	35	46	47	84	165	105	243	84	72	214	33
1953	19	21	8	56	25	126	271	102	82	88	35	35	2003	12	1	0	37	144	92	135	104	32	150	124	44
1954	67	17	72	78	103	170	145	162	103	37	33	158	2004	16	29	38	64	86	152	122	123	58	194	51	39
1955	11	94	37	15	134	65	61	50	87	96	31	24	2005	23	13	9	54	65	49	195	150	87	95	67	68
1956	33	8	83	83	38	96	67	133	42	159	43	5	2006	9	21	49	91	112	86	74	180	57	83	10	57
1957	9	46	26	82	80	124	170	104	64	22	44	17	2007	111	30	82	6	78	109	170	130	85	49	60	7
1958	52	60	25	90	18	101	141	153	89	121	64	131	2008	25	9	38	49	92	131	133	111	47	160	99	157
1959	1	4	40	56	59	112	91	78	14	72	81	87	2009	40	13	63	40	80	149	128	199	130	60	70	81
1960	15	48	56	21	22	91	152	157	189	135	93	248	2010	36	21	44	24	182	103	86	205	143	78	160	105
1961	63	22	0	30	57	64	130	79	19	126	102	98	2011	17	23	41	22	123	212	131	118	206	127	5	33
1962	49	20	26	26	164	119	113	100	88	62	56	61	2012	52	14	13	83	65	194	286	125	174	133	200	30
1963	40	23	39	26	72	117	66	174	70	19	215	34	2013	33	34	82	40	112	42	13	173	54	152	122	40

7.3 Altersbestimmung der kernfaulen Bäume

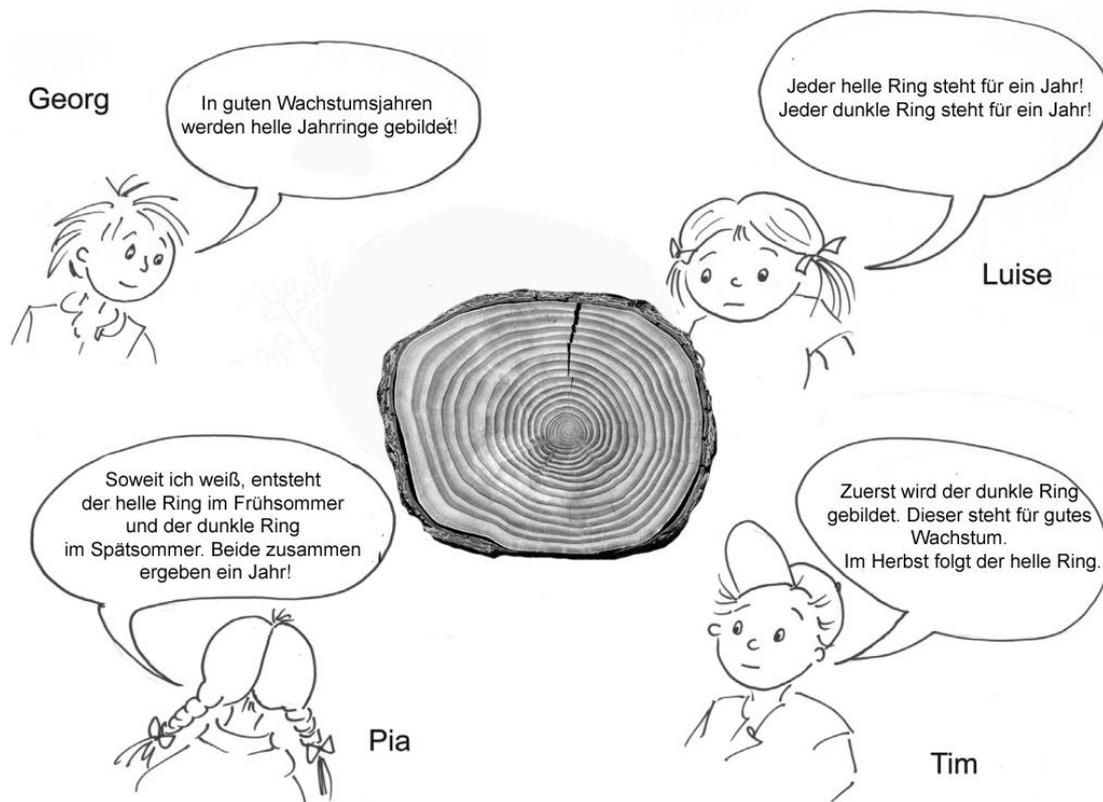
Alter der kernfaulen Bäume anhand verschiedener Berechnungsmethoden (Nr. = fortlaufende Art-Nummer am jeweiligen Standort, BHD = Brusthöhendurchmesser, Berechnung des fehlenden Zuwachsteiles anhand (a) durchschnittlicher Jahrringbreite aller Bäume im Nahbereich, (b) nur der ersten 50 vermessenen Jahre und (c) durchschnittliches Jugendwachstum im Nahbereich stehender Bäume, Wahrscheinliches Alter = \emptyset a, b, c).

Bestand	Art	Nr.	BHD	a	b	c	Wahrscheinliches Alter
1	Fichte	9	84	145	146	96	129
1	Fichte	8	78	180	153	164	166
1	Fichte	7	81	160	151	163	158
1	Fichte	5	120	210	167	231	203
1	Fichte	1	69	97	96	107	100
3	Fichte	11	117	284	275	186	248
3	Fichte	4	96	228	200	173	200
4	Fichte	12	40	112	143	81	112
1	Ulme	9	56	134	124	129	129
1	Ulme	1	86	293	549	187	343
1	Ulme	10	64	202	213	159	202
2	Ulme	4	70	232	256	199	229
2	Ulme	5	56	193	174	184	184
2	Ulme	18	116	392	281	311	328
1	Ahorn	8	69	115	111	117	114
1	Ahorn	12	125	356	395	314	355
1	Ahorn	14	61	107	105	109	107
2	Ahorn	10	74	159	186	164	169
2	Ahorn	13	78	169	149	160	159
2	Ahorn	14	73	219	248	208	225
2	Ahorn	19	100	508	470	451	476
2	Ahorn	21	92	569	695	393	552
2	Ahorn	26	58	168	156	164	163
2	Ahorn	4	71	407	366	268	347
2	Ahorn	6	69	170	159	170	166
3	Buche	10	61	79	75	102	85
3	Buche	2	56	79	79	86	81
3	Buche	4	80	247	178	226	217
3	Buche	6	82	158	131	180	156
3	Buche	9	79	101	99	121	107
4	Buche	1	110	345	361	317	341
4	Buche	2	98	220	195	241	219
4	Buche	7	47	116	114	133	121
4	Buche	8	58	143	138	194	158

7.4 Arbeitsblatt Concept Cartoon

Wie ermittelt man das Alter eines Baumes?

Welche der vier Antworten könnte richtig sein? Begründe deine Antwort!



Richtig ist die Antwort von _____, weil _____
