

Dendroökologische Analysen der Laubwaldrelikte im Gößgraben (Nationalpark Hohe Tauern)

Von Martin LAGGER

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Studie wurden das Wachstum und die Entwicklung der Laubwaldreliktbestände im Gößgraben (ca. 1.150–1.500 m MH) unter Anwendung dendroökologischer Techniken untersucht. Es handelt sich dabei um inneralpine Vorkommen von Ahorn-, Ulmen- und Buchenbeständen. Aus vier verschiedenen Beständen wurden Bohrkern bei Berg-Ahorn (*Acer pseudoplatanus*), Berg-Ulme (*Ulmus glabra*), Buche (*Fagus sylvatica*) und Fichte (*Picea abies*) entnommen ($n = 140$) und die Jahrringbreite mit einer Auflösung von $1 \mu\text{m}$ vermessen.

Die untersuchten Bestände weisen durchwegs ein hohes durchschnittliches (111–134 Jahre) und maximales (bis zu 552 Jahre bei *Acer pseudoplatanus*) Baumalter auf. 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. Auf Basis der ermittelten Klima-Wachstums-Beziehung wurde festgestellt, dass die Reaktion auf Veränderungen der Klimavariablen Temperatur und Niederschlag artspezifisch erfolgt. 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 cm^2 bei *Picea abies*, 30 cm^2 bei *Fagus sylvatica*, 22 cm^2 bei *Acer pseudoplatanus* und 18 cm^2 bei *Ulmus glabra*. Die von der Holländischen Ulmenwelke befallenen Berg-Ulmen weisen ein abruptes, aber zeitlich versetztes Absterben auf. 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 (1.150–1.500 m SL) were investigated, using dendroecological methods. In this inner Alpine environment a total of 140 cores were taken from maple (*Acer pseudoplatanus*), beech (*Fagus sylvatica*), elm (*Ulmus glabra*) and spruce (*Picea abies*). Ring widths were measured with a resolution of $1 \mu\text{m}$.

The average (111–134 years) and maximum age (e.g. 552 years at *Acer pseudoplatanus*) of the investigated stocks is constantly high. 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 outcome of the climate-growth-relationship is a species-specific reaction on precipitation and temperature. 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 cm^2 for *Picea abies*, 30 cm^2 for *Fagus sylvatica*, 22 cm^2 for *Acer pseudoplatanus* and 18 cm^2 for *Ulmus glabra*. Long-term growth trends show a constant course in the last decades for all spe-

Schlüsselwörter

Laubwaldrelikte, Dendroökologie, Klima-Wachstums-Beziehung, Altersstruktur, Grundflächenzuwachs, Holländische Ulmenwelke

Keywords

Hardwood forest relicts, dendroecology, climate-growth relations, age structure, basal area increment, Dutch elm disease

cies. 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 temperature increase 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.

Einleitung

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). Kann in den klimatischen Verbreitungsgrenzen von Baumarten meist ein spezifischer limitierender Klimafaktor (z. B. Temperatur, Niederschlag) 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 und der Jahrringbreite. Anhand von Klima-Wachstums-Beziehungen lassen sich für ökologische Fragestellungen wichtige Informationen über die Klimasensitivität der Bäume ableiten. Mittels Extremjahrenanalysen 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 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) und Änderungen der Temperatur und Niederschläge, können erhebliche Konsequenzen für die Bergwälder der Europäischen Alpen mit sich bringen (SCHUMACHER & BUGMANN 2006).

Fragestellungen

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

- Welche Klimafaktoren beeinflussen das Wachstum von Laubhölzern an deren inneralpinen Verbreitungsgrenzen?
- Wurde das Wachstum der dominanten Baumarten durch Umweltveränderungen (Wasserableitung im Zuge der Speicherkraftwerkerrichtung Kölnbrein) und/oder die Klimaerwärmung in den letzten Jahrzehnten beeinflusst?
- Lassen sich artspezifische Reaktionen auf Klimaextreme (z. B.: Hitzesommer 2003) nachweisen?
- Mit welcher Geschwindigkeit breitet sich das Ulmensterben innerhalb der Bestände aus?

Material und Methoden

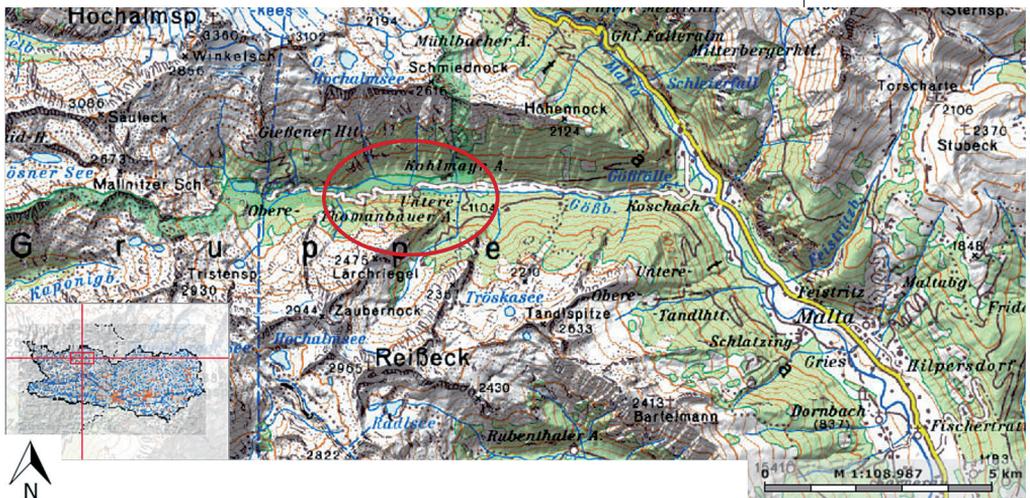
Untersuchungsgebiet

Der Gößgraben (Kärnten: 46° 59' 01'' N, 13° 23' 05'' O) befindet sich in der Gemeinde Malta im Bezirk Spittal an der Drau (siehe Abb. 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. Der Gößgraben wird im Norden von dem Gebirgsstock der Hochalmspitze mit einer maximalen Höhe von 3.360 m eingegrenzt. Im Süden bildet die Reißbeckgruppe die natürliche Grenze, welche Höhen von knapp 3.000 m erreicht. Der Gößbach entwässert Richtung Osten in die Malta, welche wiederum bei Gmünd in die Lieser mündet. Durch die beschriebenen Talstufen tritt 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 Außenzzone des Nationalparks Hohe Tauern.

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 °C 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. Aufgrund der Kessellage sind die Bestände am Grund des Tales und in den unteren Hanglagen gegen den Einfluss von Wind beson-

Abb. 1:
Lage des Untersuchungsgebietes
(Quelle: Land Kärnten – Kagis
[<http://www.kagis.ktn.gv.at>]).



ders geschützt (GLANTSCHNIG 1948). Durch diese Faktoren kommt es im Gößgraben zur Ausprägung eines subozeanisch-getönten Lokalklimas anstatt eines inneralpinen Trockenklimas. 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 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 (KIRCHMEIR & JUNGMEIER 1999).

Die Holländische Ulmenwelke

Seit dem erstmaligen Auftreten der Holländischen Ulmenwelke (auch als Ulmensterben bekannt) in Österreich 1928 sind die einheimischen Ulmenbestände stark gefährdet (KIRISITS & KONRAD 2004). So schrieb KIRCHMEIR & 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 keine Symptome einer Infektion des Erregers aufweisen. Die Holländische Ulmenwelke ist ein klassisches Beispiel einer Baumkrankheit, die von eingeschleppten Krankheitserregern verursacht wird (KIRISITS & KONRAD 2007). Da ein Großteil der Berg-Ulmen-Bestände von der Holländischen Ulmenwelke befallen ist, wurden zur Verhinderung der weiteren Ausbreitung nur abgestorbene *Ulmus glabra* Individuen beprobt.

Standortbeschreibung

Für die Untersuchung wurden insgesamt 140 Bohrkerne von vier verschiedenen Baumarten (Berg-Ahorn, Berg-Ulme, Buche, Fichte) aus vier Beständen entnommen (siehe Abb. 2). Die ausgewählten Bestände konzentrieren sich vorwiegend auf die wärmebeeinflussten, südexponierten Hanglagen, da diese Veränderungen im Wasserhaushalt deutlicher zeigen (SCHWEINGRUBER 1993).

Um Expositionseffekte analysieren zu können, wurde ein Bestand auf der nordexponierten Talseite ausgewählt. Hier handelt es sich um den typischen Ahorn-Ulmen-Wald. 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-Ulmen-Wald in Erscheinung tritt. Hier findet man größtenteils einen sogenannten Klufthumusboden vor (KIRCHMEIR & JUNGMEIER 1999). Die Bestände 1 und 2 zeichnen sich durch die geschützte Kessellage aus, wobei der Einfluss von Lawinen im Bestand 2 eine we-



Bestand 1



Bestand 2



Bestand 3 (A/B)



Bestand 4

sentlich größere Rolle spielt. Weiters weisen beide Bestände einen hohen Totholzanteil (v. a. liegendes) auf. Der dritte Bestand befindet sich 500 m östlich der Ulmen-Ahorn-Bestände 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 steht ungefähr 500 m weiter östlich oberhalb der unteren Kohlmayeralm. Hier befinden sich teils sehr mächtige Buchen, welche in engem Kontakt zum Fichtenwald stehen. Der Boden besteht aus podsolierter Braunerde (KIRCHMEIR & JUNGMEIER 1999).

Dendrochronologische Techniken

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-Ahornen und Fichten jeweils nur ein Radius pro Baum entnommen. Bei den abgestorbenen Berg-Ulmen wurden zwei Radien, jeweils von den gegenüberliegenden Seiten, entnommen. Die Messung der Jahrringzuwächse erfolgte mittels des Computerprogramms TSAPWin Scientific, Version 0.53 (RINN 1996). Bei den Berg-Ulmen wird nach der Erfassung der Jahrringbreiten von beiden Radien eines Baumes mit dem Computerprogramm eine Baummittelkurve errechnet und gespeichert.

Abb. 2:
Die unterschiedlichen Bestände im Untersuchungsgebiet.
Foto: M. Lagger

Datierung

Um eine korrekte Datierung und die Richtigkeit der Messungen der Jahrringkurven sicherzustellen, werden diese untereinander und mit absolut datierten Jahrringreihen, also Referenzkurven 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. Aufgrund der extremen Standort- bzw. Umweltbedingungen im Untersuchungsgebiet waren einige Bohrkerne nicht messbar bzw. konnten nicht datiert werden.

**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.

Mit dem Computerprogramm COFECHA wird dazu eine sogenannte Masterchronologie aus allen Baummittelkurven erstellt. 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. Aufgrund der exogenen Faktoren und Standortbedingungen mussten 60 der 140 beprobten Bäume aussortiert werden. 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 (SCHWEINGRUBER 1993).

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

Modellierung der Klima-Wachstums-Beziehung

Um die statistische Beziehung zwischen den Wachstumsraten der Berg-Ahorne, 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 Jahringbreiten durchgeführt. Zusätzlich wurde der Zusammenhang der mittleren Temperaturverhältnisse bzw. Niederschlagssummen des Vorjahres (monatlich, saisonal) untersucht. Aufgrund der Umweltbedingungen im Untersuchungsgebiet wurde eine monotone Korrelationsanalyse gewählt.

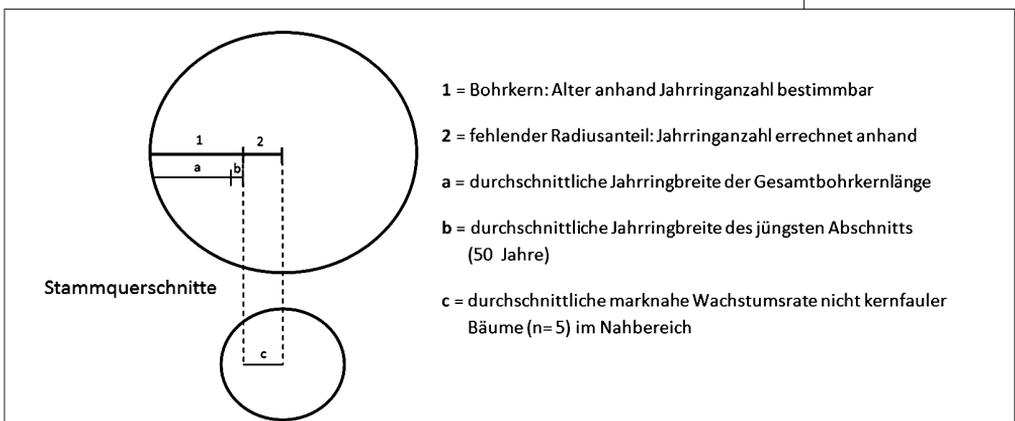
Bestimmung der Altersstruktur der dominanten Baumarten

Um das Alter der beprobten, aber kernfaulen Bäume annäherungsweise zu ermitteln, wurden verschiedene Berechnungsvarianten angewandt (siehe Abb. 3). Als Grundlage zur Ermittlung der Jahringanzahl vom nicht vorhandenen Zuwachsteil am Gesamtradius diente die durchschnittliche Jahringbreite des entnommenen Bohrkernes (a), der ersten 50 vermessenen Jahre (b) und das durchschnittliche Jugendwachstum im Nahbereich stehender Bäume (c). Bei den Verfahren b und c wurde 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.

Grundflächenzuwachs (GFZ)

Um das langfristige Wachstum bzw. die Produktivität der einzelnen Baumarten und topografische Unterschiede analysieren zu können, wurde für jede Baumart in den verschiedenen Beständen der jährliche Grundflächenzuwachs (cm^2) in Brusthöhe errechnet. Anhand der aufgenommenen Brusthöhendurchmesser (BHD) wurde der Radius der einzelnen Individuen bestimmt. Die jährlichen Zuwachsraten wurden mittels der mathematischen Formel zur Kreisflächenberechnung $A = r^2 * \pi$ ermittelt. Bei der Darstellung des Grundflächenzuwachses wurden alle 140 Bäume berücksichtigt.

Abb. 3: Veranschaulichung der drei verschiedenen Berechnungsverfahren für die Altersbestimmung kernfauler Bäume (Quelle: LÖSCH 2004).



	n	Alter MW und SD	MinA (Jahre)	MaxA (Jahre)	Jahringbreite (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

Tab. 1:
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 = Bestandsignal aus Residualchronologie).

ERGEBNISSE

Chronologiecharakteristika

Nach der Datierungskontrolle mit COFECHA (Tab. 1) liegt die Stichprobenanzahl zwischen 7 und 11 Individuen pro Art im jeweiligen Bestand. Bei den Korrelationen der einzelnen Chronologien mit der Masterchronologie liegen nur einzelne Baumarten über dem Wert von 0,5. Die Autokorrelation ist bei den Fichten im Bestand 3 mit 0,72 und im Bestand 4 mit 0,71 am höchsten. Der Einfluss des Vorjahres auf das Radialwachstum im Folgejahre gestaltet sich je nach Baumart und Bestand unterschiedlich.

Die Laubbäume reagieren, mit bis zu 25 % bei den Berg-Ahorn-Bäumen, sensitiver auf die von Jahr zu Jahr wechselnden Umweltbedingungen als die Fichten (10–14 %). Generell ist die mittlere Sensitivität mit einem Höchstwert von 25 % mäßig.

Alle vier Bestände weisen ein geringes Signal/Rausch-Verhältnis auf. Je höher das Verhältnis, desto stärker ist das Klimasignal in den einzelnen Jahringchronologien. Der Schwellenwert des Bestandessignales (EPS) von 0,85 wird nur bei den Buchen im Bestand 3 erreicht. Die restlichen Chronologien haben EPS-Werte im Bereich von 0,69 bis 0,82. Mit den indexierten Fichten-, Ahorn-, Ulmen- und Buchenchronologien wurde eine Extremjahranalyse durchgeführt (Tab. 3).

Synchronisierung der lokalen Bestandeschronologien

Die Jahringbreitenchronologien der Bäume aller Bestände wurden mittels der Parameter Anzahl überlappender Jahrringe, Gleichläufigkeit, Signifikanzniveau und t-Wert untersucht und zueinander in Beziehung gesetzt (Tab. 2).

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

	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

zwischen den drei verschiedenen Fichtenbeständen weist durchwegs t-Werte über 6,2 ($p < 0,001$) auf. Eine Ausnahme sind die Fichten im Bestand 1.

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 den 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).

Tab. 2:
Ähnlichkeitsbeziehung zwischen der Gesamtjahresbreite 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 (Glk) in % / Signifikanzniveau (* = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$, * = $p < 0,001$) / t-Wert (nach BAILLIE & PILCHER 1973).**

Klima-Wachstums-Beziehung

Im Vergleich der Korrelationen der Jahrringbreiten der Bestandeschronologien mit den Daten der zwei Klimastationen Malta (Tab. 4) und Mallnitz (Tab. 5) kommt es, vor allem beim Einfluss der Temperatur, zu Gemeinsamkeiten. Beide Datensätze zeigen signifikant negative Korrelationen mit der Juli-Temperatur des Vorjahres und der April-Temperatur des aktuellen Jahres an. Der Einfluss der Sommertemperatur auf das Wachstum der Berg-Ahorne 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.

Jahr	Fichte	Ahorn	Ulme	Buche
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		+		++

Tab. 3:
Extremjahre der
indexierten Fich-
ten-, Ahorn-, Ul-
men- und Buchen-
chronologien, die
über 100 % (+/-)
bzw. 200 % (++/- -)
der Standard-
abweichung vom
langjährigen Mittel
(1) positiv (+) oder
negativ (-) abwei-
chen.

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	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Fichte 1																																					
Fichte 3																																					
Fichte 4																																					
Ahorn 1																																					
Ahorn 2																																					
Ulme 1																																					
Ulme 2																																					
Buche 3																																					
Buche 4																																					

Tab. 4: Spearman-Korrelation der Jahrringbreiten der indexierten Chronologien mit Temperaturmittelwerten und Niederschlagssummen der Klimastation Malta für den Zeitraum 1984–2013 in den verschiedenen Beständen (Anfangsbuchstaben stehen für die Temperaturmittelwerte bzw. Niederschlagssummen der jeweiligen Monate, +/- = positive/negative Korrelation bei $p < 0,05$).

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	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Fichte 1																																					
Fichte 3																																					
Fichte 4																																					
Ahorn 1																																					
Ahorn 2																																					
Ulme 1																																					
Ulme 2																																					
Buche 3																																					
Buche 4																																					

Tab. 5: Spearman-Korrelation der Jahrringbreiten der indexierten Chronologien mit Temperaturmittelwerten und Niederschlagssummen der Klimastation Mallnitz für den Zeitraum 1981–2013.

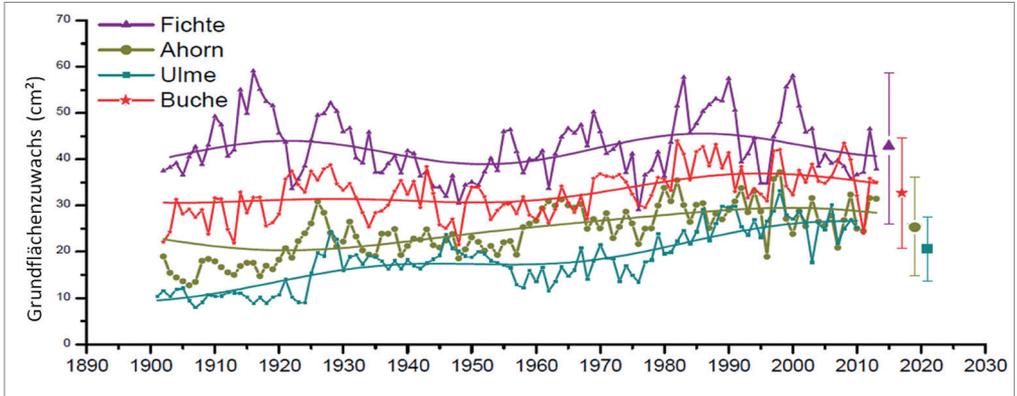
Variabilität der Klimafaktoren von 1954 bis 2013

Im Vergleich der Korrelationen in den Zeiträumen von 1954–1983 (Tab. 6) und 1969–1998 (Tab. 7) gibt es meist heterogene Veränderungen. Parallelen lassen sich bei der Juli- und August-Temperatur des Vorjahres erkennen (negative Korrelation). Deutliche Parallelen zeigt der Einfluss der Oktober-Temperatur des Vorjahres auf das Wachstum bei den Berg-Ulmen und Buchen (positive Korrelation). Bei der Wechselbeziehung mit den Niederschlagswerten ergibt sich ein differenziertes Bild.

Betrachtet man den Zeitraum 1969–1998 (Tab. 7) und 1984–2013 (Tab. 4), gibt es Parallelen mit der Juli-Temperatur des Vorjahres, wobei

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	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Fichte 1																																					
Fichte 3																																					
Fichte 4																																					
Ahorn 1																																					
Ahorn 2																																					
Ulme 1																																					
Ulme 2																																					
Buche 3																																					
Buche 4																																					

Tab. 6: Spearman-Korrelation der Jahrringbreiten der indexierten Chronologien mit Temperaturmittelwerten und Niederschlagssummen der Klimastation Malta für den Zeitraum 1954–1983.



Entwicklung des Grundflächenzuwachses

Grundsätzlich zeigen die Fichten das beste Wachstum mit mittleren Zuwachsraten um 40 cm^2 pro Jahr (siehe Abb. 4). Die Buchen verzeichnen mittlere Zuwachsraten von mehr als 30 cm^2 pro Jahr. Die Berg-

Abb. 4: Entwicklung des Grundflächenzuwachses anhand der Mittelkurven und einer 30-jährigen geglätteten Kurve der jeweiligen Baumarten im Untersuchungsgebiet.

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

Tab. 9: Datierung der Chronologie der abgestorbenen Berg-Ulmen im Untersuchungsgebiet (OVL = Überlappungslänge, Glk = Gleichläufigkeit, GSL = statistische Signifikanz, TVBP = t-Wert nach BAILLIE & PILCHER (1973), DateL = Beginn der Chronologie, DateR = Ende der Chronologie).

Ahorn-Bäume und Berg-Ulmen bewegen sich in einem Bereich von 20 cm². Bei allen vier Mittelkurven ist kein 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.

Untersuchungen zur Holländischen Ulmenwelke

Laut der durchgeführten Datierung ist erstmals eine Gruppe von Berg-Ulmen im Jahr 2007 abgestorben (Tab. 9). In den folgenden Jahren starben weitere Gruppen von Ulmen, wobei die Mehrheit im Zeitraum von 2009 bis 2011 abgestorben ist.

DISKUSSION

Materialeignung und Methodenbetrachtung

Bei den Laubwaldbeständen im Gößgraben handelt es sich aus dendroökologischer Sichtweise um keinen Extremstandort. Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich von etwa 1.150 m bis auf 1.500 m Meereshöhe, es liegt also im Bereich der montanen Vegetationsstufe. Im Vergleich zu Waldgrenzstandorten treten limitierende Klimafaktoren auf dieser Höhenstufe nicht stark in Erscheinung (SCHWEINGRUBER 1996). Die beprobten Bäume wurden so ausgewählt, dass sie möglichst wenigen exogenen Störfaktoren ausgesetzt waren. Dies gestaltete sich im Untersuchungsgebiet jedoch schwierig, da die Laubwaldbestände regelmäßigen Lawinen- und Steinschlagereignissen ausgesetzt waren. Die Fichten und Buchen sind seit langer Zeit Bestandteil dendroökologischer Untersuchungen (SCHWEINGRUBER 1993, DITTMAR et al. 2003, GRUNDMANN 2009). 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 Chronologie-Bildung 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 (Tab. 1). Auch die weiteren statistischen Parameter wie mittlere Sensitivität, Korrelation mit Master und das Signal/Rausch-Verhältnis sind niedrig, wodurch die Gegebenheiten des Standortes (montane Vegetationsstufe) widerspiegelt werden.

WACHSTUMSENTWICKLUNG UND ALTERSSTRUKTUR

Altersstruktur der dominanten Baumarten

Die dominanten Baumarten der einzelnen Bestände weisen durchwegs ein hohes Alter auf (Tab. 8), 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 Regenerationspotenzial auf (KIRCHMEIR & JUNGMEIR 1999, WALENTOWSKI et al. 2004). Einzelne Berg-Ahorn-Individuen erreichen für diesen Standort das angegebene Höchstalter von 400 bis 500 Jahren (SCHMIDT & ROLLOFF 2014). Auch bei den nordexponierten Beständen befinden sich die ältesten Individuen (bis 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 (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 weist eine deutliche Differenz zu Berg-Ulme und Berg-Ahorn auf. Besonders im Bestand 4, oberhalb der Kohlmayeralm, wird dieser Unterschied deutlich. Dieses Gebiet ist, aufgrund der Zugänglichkeit, stärker durch anthropogene Nutzungseinflüsse geprägt. 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.

Vergleich der Wachstumsmuster

Die Wachstumsmuster verschiedener Arten im gleichen Bestand sind unterschiedlich (siehe Tab. 2). 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 (ZANG et al. 2011). Für das Trockenjahr 1976 konnten 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 (Tab. 2). 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 Tra-

gen kommen, da auch die beiden südseitigen Buchenbestände geringfügige Unterschiede im Wachstumsmuster aufweisen. Die 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 (Tab. 2). 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.

Wachstumslimitierende Klimafaktoren

Der Klimafaktor Temperatur kommt in den Korrelationen mit der Klimastation Mallnitz (Tab. 5) besser zum Ausdruck. Die beprobten Laubbäume verzeichnen in dieser Hinsicht die gleichen Klimasignale und unterscheiden sich wesentlich zur Fichte. Es können nur Vermutungen gemacht werden, inwiefern die etwas höheren Niederschlagsverhältnisse in Mallnitz die Bedingungen im Untersuchungsgebiet widerspiegeln. Prinzipiell sind die Korrelationen mit dem Klimafaktor Niederschlag mit der Station Malta signifikanter.

Die Klima-Wachstums-Beziehungen, die aus den Klimadaten der Stationen Malta und Mallnitz hervorgehen (Tab. 4 und 5), zeigen mehrere deutliche Gemeinsamkeiten. Ein erstes hervorstechendes Klimasignal ist der negative Einfluss der Juli-Temperatur 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. 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 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). Trockene Böden in den Sommermonaten können ebenfalls zum Absterben von Feinwurzeln und Mykorrhiza führen. Die Wasser- und Nährstoffaufnahme der Wur-

zeln wird dadurch stark herabgesetzt, was sich in geringeren Zuwächsen im Folgejahr auswirken kann (KAHLE 1994).

Bei allen Laubbaumarten kommt der negative Wachstumseinfluss einer erhöhten April-Temperatur 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 Spätfrostereignissen 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 April-Temperatur. Dies lässt darauf schließen, dass diese Art eine höhere Resistenz gegenüber Spätfrostereignissen aufweist oder sich phänologisch von den Laubbaumarten unterscheidet. Die signifikant positive Korrelation der Fichten mit den 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, HARTL-MEIER & 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 (HARTL-MEIER & 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 Juli-Niederschläge 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. Zusammenfassend erfolgen im Untersuchungsgebiet vor allem artspezifische Reaktionen auf die Klimafaktoren Temperatur und Niederschlag. Standortspezifische Reaktionen sind weniger relevant.

Artspezifische Wachstumsentwicklung

Die Wachstumstrends aller beprobten Baumarten sind zeitlich konstant und zeigen keine größeren Einbrüche (siehe Abb. 4), welche zum Beispiel durch eine Reduzierung der Wassermenge der Göß, im Zuge des Kraftwerksbaues, 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 Zwillingfälle) keine langfristige Auswirkung auf das Radialwachstum der Bestände zur Folge hatte.

Die langfristige Entwicklung des mittleren Grundflächenzuwachses zeigt bei Fichte und Buche einen homogenen zeitlichen Verlauf. Beide Baumarten verzeichnen einen ansteigenden Wachstumstrend ab den 1950er Jahren bis in die 1990er Jahre, was sich mit anderen europaweiten Untersuchungen dieser Baumarten an optimalen Standorten und Höhenlagen deckt (SPIECKER et al. 1996, PRETZSCH 1999, KOHNLE et al. 2014). Der Grund dafür könnte die Zunahme der mittleren Temperatur sein, welche eine längere Vegetationsperiode zur Folge induziert. 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. Ab den 1990er Jahren weisen Fichte, Buche und Berg-Ahorn einen leicht negativen Trend im Wachstum auf, welcher ebenfalls von KOHNLE et al. (2014) beschrieben wird.

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 (Tab. 9). Dies deckt sich mit einer Studie von KIRISITS & 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. 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 die Jahre 2012 und 2013 konnte das Absterben von einzelnen Individuen datiert werden.

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. 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 Totholzangebot in den nächsten Jahren möglicherweise zu einer höheren Biodiversität beitragen.

Wachstumsextreme und Klima

Die untersuchten Baumarten weisen extreme Wuchsjahre auf, die sich durch deutliche Wachstumseinbrüche bzw. -zunahmen zeigen (Tab. 3). Folgend wird exemplarisch eine Auswahl an Extremjahren diskutiert.

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. Der Wachstumseinbruch der Buchen im Jahr 1976 fällt abgeschwächt aus. Die Ursache dafür könnte in physiologischen Mechanismen begründet sein (HARTL-MEIER 2014).

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 überdurchschnittliche Niederschläge aufwies. Vor allem dem Berg-Ahorn und der Berg-Ulme kommen höhere Herbstniederschläge zugute. Das Frühjahr 1997 verlief ausgesprochen kühl und trocken. Der Sommer verzeichnete wieder überdurchschnittliche Niederschläge. Das folgende Jahr hatte 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, UTSCHIG et al. 2004, PRETZSCH 2012). 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 ein. Aufgrund der hohen Temperaturen im Jahr 2003 könnte dieser Zuwachseinbruch ein Folgeeffekt sein. Dieser Zusammenhang ist möglicherweise mit einem negativen Kohlenstoffhaushalt erklärbar. Die Buchen zeigen in diesen beiden Jahren keine extremen Abweichungen.

Weist die Analyse des Klimaeinflusses auf das Baumwachstum (Tab. 4, 6 und 7) 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 Zeitfenster (1984–2013) deutlich homogener. Auffallend ist die Zunahme der negativen Korrelationsmuster. So kommt zum Beispiel der negative Einfluss einer erhöhten April-Temperatur 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. Dafür spricht auch die zunehmende Korrelation zwischen Sommertemperatur und Wachstum bei den Berg-Ahorn-Bäumen. Langfristig könnten sich somit höhere Temperaturen, sobald keine Spätfrostgefährdung mehr besteht, positiv auf das Wuchsverhalten des Berg-Ahorns auswirken. Dies bestätigt

auch HARTL-MEIER & ROTHE (2013) bei Untersuchungen an Berg-Ahornen 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 (siehe Abb. 4), 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).

SCHLUSSFOLGERUNGEN

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. Alle Laubhölzer reagieren negativ auf überdurchschnittliche April-Temperaturen, was auf eine erhöhte Spätfrostanfälligkeit hinweisen kann. Bei Berg-Ahorn und Berg-Ulme kommt der wesentliche Einfluss der Niederschläge des Vorjahres zum Ausdruck. 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 durch den Kraftwerksbau somit nicht negativ beeinflusst.

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

Bestandsverjüngung

Der Verjüngung der Bestände ist laut KIRCHMEIER & 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).

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.

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. 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 der Bestände sinnvoll, um die klein-klimatischen Verhältnisse zu erfassen.

Altersbestimmung der kernfaulen Bäume

Be-stand	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

Tab. 10: Alter der kernfaulen Bäume anhand verschiedener Berechnungsmethoden (Nr. = fortlaufende Artnummer am jeweiligen Standort, BHD = Brusthöhendurchmesser, Berechnung des fehlenden Zuwachsteiles anhand (a) durchschnittlicher Jahringbreite aller Bäume im Nahbereich, (b) nur der ersten 50 vermessenen Jahre und (c) durchschnittliches Jugendwachstum im Nahbereich stehender Bäume, Wahrscheinliches Alter = $\bar{\sigma}$ a, b, c).

LITERATUR

- BAILLIE M. G. & PILCHER J. R. (1973): A simple crossdating program for tree-ring research. – *Tree-ring bulletin*, 33: 7–14.
- BECK W. (2010): Auswirkungen von Trockenheit und Hitze auf den Waldzustand in Deutschland – waldwachstumskundliche Ergebnisse der Studie im Auftrag des BMELV: 56–65. In: NAGEL (Ed.): Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten Sektion Ertragskunde. – Beiträge zur Jahrestagung, Körbecke am Möhnesee, 194 S.
- 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. – *Geophysical Research Letters*, 31: 2022–2026.
- BIONDI F. (1993): Climatic signals in tree rings of *Fagus sylvatica* L. from Central Apennines. – *Acta Oecologica*, 14/1: 57–71.
- BRETT D. W. (1978): Dendroclimatology of elm in London. – *Tree-ring bulletin*, 38: 35–44.
- COOK E. R. (1987): The decomposition of tree-ring series for environmental studies. – *Tree-ring bulletin*, 4: 7–59.
- DITTMAR C. & ELLING W. (1999): Jahrringbreite von Fichte und Buche in Abhängigkeit von Witterung und Höhenlage. – *Forstwirtschaftliches Zentralblatt*, 118: 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). – *Dendrochronologia*, 25: 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. – *Forest Ecology and Management* 173/1: 63–78.
- EEA (2012): Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. – An indicator-based report. Copenhagen, 300 S.
- ENGLER R., RANDIN C. F., THULLER W., DULLINGER S., ZIMMERMANN N. E., BASTOS ARAUJO M., PEARMAN P. B., LE LAY G., PIEDALLU C., ALBERT C. H., CHOLER P., COLDEA G., DE LAMO X., DIRNBÖCK T., GÉGOUT J.-C., GÓMEZ-GARCIA D., GRYNES J., HEEGAARD E., HØISTAD F., NOGUES D. B., NORMAND S., PUSCAS M., SEBASTIÀ M.-T., STANISCI A., THEURILLAT J.-P., TRIVEDI M., VITTOZ P. & GUISAN A. (2011): 21st century climate change threatens mountain flora unequally across Europe. – *Global Change Biology*, 17/7: 2330–2341.
- FELBERMEIER B. & MOSANDL R. (2014): *Fagus sylvatica*. Enzyklopädie der Holzgewächse: Handbuch und Atlas der Dendrologie. München, 20 S.
- FRICKE W. & WALLASCH M. (1994): Atmosphere CO₂ records from sites in the UBA air sampling network: 135–147. In: BODEN T. A., KAISER D. P. & SPANSKI R. J. (Ed.): Trends '93: A compendium of data on global change. – Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, 1014 S.
- 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. – *Tree Physiology*, 29/1: 39–51.
- FRICTS H. C. (1976): Tree rings and climate. – London, 582 S.
- 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. – *Climate Change*, 79/1–2: 79–102.
- GLANTSCHNIG T. (1948): Der Ahorn-Mischwald (*Acereto-Ulmetum*) im Gößgraben in Kärnten – *Carinthia* II, 137./57.: 51–81.
- GRUNDMANN B. (2009): Dendroklimatologische und dendroökologische Untersuchungen des Zuwachsverhaltens von Buche und Fichte in naturnahen Mischwäldern. – Dissertation, Dresden, 199 S.
- HARTL-MEIER C. (2014): Dendroökologische Untersuchungen zum Einfluss der Klimaänderung auf Bergwälder der Nördlichen Kalkalpen. – Dissertation, München, 173 S.

- 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, 35 S.
- HEISELMAYER P. (1976): Inneralpine Laubwälder in Kärnten, der Steiermark und Salzburg. – Carinthia II, 166/86.: 309–328.
- HOLMES R. L. (1994): Dendrochronology program library user's manual. – Laboratory of Tree-Ring Research, Tucson, 20 S.
- 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, 1552 S.
- KAGIS (o.J): Amt der Kärntner Landesregierung – Online Karten [<http://www.kagis.ktn.gv.at/>], zugegriffen am 30.4.2015].
- 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, 184 S.
- KIRCHMEIER H. & JUNGMEIER M. (1999): Die Laubwaldrelikte im Gößgraben (Nationalpark Hohe Tauern). – E.C.O. Institut für Ökologie, Klagenfurt, 100 S.
- KIRISITS T. & FRANZ W. R. (2006): Zwei Hopfenbuchen-Bergulmen-Bestände in Südkärnten, die bisher noch nicht von der Holländischen Ulmenwelke betroffen sind. – Forstschutz aktuell, 37: 21–23.
- KIRISITS T. & KONRAD H. (2004): Dutch elm disease in Austria. – Forest Systems, 13/1: 81–92.
- KIRISITS T. & KONRAD H. (2007): Die Holländische Ulmenwelke in Österreich. – Forstschutz aktuell, 38: 20–23.
- KOHNLE U., ALBRECHT A., LENK E., OHNEMUS K. & YUE C. (2014): Zuwachstrends im Spiegel langfristiger Versuchsflächen in Südwestdeutschland. – Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 185, Band 5/6: 97–117.
- 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. – Forest Ecology and Management, 259/4: 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, 134 S.
- MENNEL J. (2010): Radiale Wachstumsreaktion im Alpenraum verbreiteter Koniferen auf Trockenstress. – Masterarbeit, Innsbruck, 85 S.
- PFEIFER K. & OBERHUBER W. (2006): Dendroklimatologische Rekonstruktion der mittleren Sommertemperatur am Tannberg im Zeitraum von 1250 bis 1900. – Vorarlberger Naturschau, 19: 183–206.
- 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. – Dendrochronologia, 21/1: 13–22.
- PRETZSCH H. (1999): Waldwachstum im Wandel. – European Journal of Forest Research, 118: 228–250.
- PRETZSCH H. (2012): Zuwachsreaktionen auf Trockenstress in Mischbeständen im Vergleich zu Reinbeständen: 21–32. In: NAGEL J. (Ed.): Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten Sektion Ertragskunde – Beiträge zur Jahrestagung, Ottenstein, 195 S.
- RINN F. (1996): TSAP-Reference manual. – Time series analysis and presentation. – Heidelberg, 264 S.
- ROLOFF A. (1989): Kronenentwicklung und Vitalitätsbeurteilung ausgewählter Baumarten der gemäßigten Breiten. – Frankfurt, 258 S.

- SCHERZINGER W. (1996): Naturschutz im Wald: Qualitätsziele einer dynamischen Waldentwicklung. – Stuttgart, 385 S.
- SCHMIDT O. & ROLOFF A. (2014): *Acer pseudoplatanus*. Enzyklopädie der Holzgewächse: Handbuch und Atlas der Dendrologie. – München, 26 S.
- SCHUMACHER S. & BUGMANN H. (2006): The relative importance of climatic effects, wildfires and management for future forest landscape dynamics in the Swiss Alps. – *Global Change Biology*, 12/8: 1435–1450.
- SCHUSTER R. & OBERHUBER W. (2013): Drought sensitivity of three co-occurring conifers within a dry inner Alpine environment. – *Trees*, 27/1: 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, 581 S.
- SCHWEINGRUBER F. H. (1993): Jahrringe und Umwelt. Dendroökologie. – Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf, 474 S.
- SCHWEINGRUBER F. H. (1996): Tree rings and environment. – *Dendroecology*, Bern, 609 S.
- SPIECKER H. (1999): Overview of recent growth trends in European forests. – *Water, Air, and Soil Pollution*, 116: 33–46.
- SPIECKER H., KÖHL M., MIELEKÄINEN K. & SKOVSGAARD J. P. (1996): Growth trends in European Forests. – Berlin, 372 S.
- UTSCHIG H., BACHMANN M. & PRETZSCH P. (2004): Das Trockenjahr 1976 bescherte langjährige Zuwachseinbrüche. – *LWF aktuell*, 43: 17–18.
- WALENTOWSKI H., EWALD W., FISCHER A., KÖLLING C. & TÜRK W. (2004): Handbuch der natürlichen Waldgesellschaften Bayerns. – Freising, 441 S.
- WALTER H. (1931): Ulmaceae: 639–719. In: KIRCHNER O. V., LOEW E. & SCHRÖTER C. (Ed.): *Lebensgeschichten der Blütenpflanzen Mitteleuropas*. – Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 1231 S.
- ZANG C., ROTHE A., WEIS W. & PRETZSCH H. (2011): Zur Baumarteneignung bei Klimawandel: Ableitung der Trockenstress-Anfälligkeit wichtiger Waldbaumarten aus Jahrringbreiten. – *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 182, Band 5/6: 98–112.

**Anschrift des
Autors**

Mag. Martin Lagger,
Maltaberg 6,
9854 Malta,
E-Mail: martin.
lagger@gmx.at

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Carinthia II](#)

Jahr/Year: 2017

Band/Volume: [207_127](#)

Autor(en)/Author(s): Lagger Martin

Artikel/Article: [Dendroökologische Analysen der Laubwaldrelikte im Gößgraben \(Nationalpark Hohe Tauern\) 577-600](#)