

forstarchiv 84, 107-118  
(2013)

DOI 10.4432/0300-  
4112-84-107

© DLV GmbH

ISSN 0300-4112

Korrespondenzadresse:  
fhapla@gwdg.de

Eingegangen:  
11.03.2013

Angenommen:  
14.06.2013

# Ursachenanalyse der Ringschäle bei Edelkastanie (*Castanea sativa* [Mill.]) in Rheinland-Pfalz

Causal analysis of ring shake in sweet chestnut (*Castanea sativa* [Mill.]) in Rhineland-Palatinate

KAI HUSMANN<sup>1</sup>, JOACHIM SABOROWSKI<sup>2</sup> und FRANTIŠEK HAPLA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Abteilung Waldwachstum, Grätzelstraße 2, 37079 Göttingen, Deutschland

<sup>2</sup> Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Ökoinformatik, Biometrie und Waldwachstum und Abteilung Ökosystemmodellierung, Büsgenweg 4, 37077 Göttingen, Deutschland

<sup>3</sup> Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte, Büsgenweg 4, 37077 Göttingen, Deutschland

## Kurzfassung

Um hochwertiges Edelkastanien-Stammholz zu produzieren, muss die häufig auftretende Ringschäle minimiert werden. Derzeit ist etwa jeder dritte Baum über 45 cm Brusthöhendurchmesser von diesen Ringrissen betroffen, die zu einer enormen Wertminderung des Holzes führen können. Ringschäle ist das Resultat aus inhomogener Spannung im Stamm und unterschiedlich spannungsresistenter Stammbereiche. Ringrisse entstehen, wenn die Holzspannungen sich entlang der Frühholzgefäße eines Jahresringes entladen. Ziel dieser Arbeit ist es, die Ursachen der Ringschäle über eine statistische Datenanalyse zu bestimmen.

Für die Analyse liegen Klimadaten und Stammproben aus 6 Edelkastanien Reinbeständen unterschiedlicher Behandlungsintensität vor. Insgesamt wurden 55 Bäume aus dem Wuchsbezirk „Pfälzerwald“ (Forstamt Haardt) beprobt.

Aus den Jahresringreihen geht hervor, dass Edelkastanien typischerweise in den ersten 25 bis 30 Jahren extreme Wachstumsschwankungen zeigen. Es zeigt sich, dass Zuwachspotenzial und die Neigung zu Wachstumssprüngen nach 40 Jahren gering sind. Neben der artspezifischen Wuchscharakteristik der Edelkastanien fördert abschnittsweise ungünstige und schwankende Witterung Wachstumsschwankungen. Auch die Behandlungsintensität ist ein Einflussfaktor für Wachstumsschwankungen. Je stärker die Behandlungsintensität, desto höher sind Baumwachstum und Wachstumsschwankungen. Es zeigt sich, dass ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Wachstumsschwankungen und Ringschälwahrscheinlichkeit besteht. Deshalb sollte eine wertholzproduzierende Edelkastanienbewirtschaftung in den ersten 25 Jahren des Bestandes nicht nur auf starken Holzvolumenzuwachs setzen, sondern Konkurrenz zulassen, um Wachstum und Wachstumsschwankungen zu mindern.

**Schlüsselwörter:** Edelkastanie, Ringschäle, Klima, Witterung, Waldbau, Wachstumscharakteristik, Holzanatomie

## Abstract

In order to produce high quality timber within sweet chestnut logs, the frequency of ring shake needs to be decreased. Currently, 30% of all sweet chestnut trees with a diameter at breast height above 45 cm are affected by these radial fractions, resulting in a loss of value of these logs. Ring shake is caused by unbalanced stress in the stem and stem areas of variable stress tolerance. These stresses may result in ring shake if they are released along fragile early wood vessels of annual rings. The aim of this work is to determine reasons for ring shake by statistical methods.

The statistical analysis is based on tree ring analyses (stem disks) and climate data of 6 pure stands of sweet chestnut treated with different thinning strategies. Altogether, 55 trees of the growth district "Pfälzerwald" (forest district Haardt) were sampled.

The development of year rings indicates that sweet chestnut trees are prone to exhibit growth fluctuations within their initial 25 to 30 years. Both growth fluctuation and absolute growth potential are lower after a tree age of about 40 years. Aside species-specific growth fluctuations of sweet chestnut trees, an inappropriate or variable climate as well as thinning intensity further increase growth fluctuations. A higher thinning intensity translates to higher growth and growth fluctuation. There is evidence for a statistically significant correlation between the magnitude of growth fluctuation and an increase in the likelihood of ring shake in a tree.

Minimizing these growth fluctuations can therefore be seen as a key factor to produce high-quality timber wood within sweet chestnut stands. This can be achieved by growth competition and limiting the growth potential of trees within their first 25 years.

**Key words:** sweet chestnut, ring shake, climate, silviculture, growth characteristics, wood anatomy

## Einleitung

Die Edelkastanie (*Castanea sativa* [Mill.]) ist eine früh kulminierende, stockausschlagfähige Laubholzbaumart mediterraner Herkunft. Obwohl der Edelkastanienbaum selbst winterhart ist, sind Frucht und Verjüngung sehr frostsensitiv. Daher ist die Verbreitung der Edelkastanie weitestgehend auf wintermilde Regionen beschränkt. Des Weiteren sind saure, frische (aber nicht staunasse), nährstoffreiche, aber kalziumarme und tiefgründige Böden ideale Edelkastanienstandorte (Ecker Eckhofen et al. 2006). In der Fachliteratur wird angegeben, dass Edelkastanienbestände eine mittlere Jahrestemperatur von 9 bis 12 °C und einen jährlichen Niederschlag von mindestens 700 mm Wassersäule benötigen. Auf Böden mit guter Wasserversorgung ist ein Mindestniederschlag von 600 mm nötig (Lemaire 2008a). Nach Ecker Eckhofen et al. (2006) erträgt die Edelkastanie auch minimale Jahrestemperaturen von 8 °C. Die Vegetationszeit muss mindestens 100 Tage betragen. Dementsprechend sind deutsche Edelkastanienbestände vor allem in rheinland-pfälzischen Weinbaugebieten und dem Schwarzwald zu finden (Ecker Eckhofen et al. 2006, Hahn 2004). Das Holz der Edelkastanie ist ringporig, und das Kernholz ist von besonders hoher Dauerhaftigkeit (Pfabigan 2006). Die Frühholzporen sind im Vergleich zu Eichenarten sehr groß, und die Radialstrahlen sind vergleichsweise sehr schmal (Ferrand und Michel 1980).

## Motivation

In der Vergangenheit wurden Edelkastanienbestände im Kurzumtrieb behandelt. Demnach wurden vor allem gering dimensionierte Holzsortimente vermarktet. Aktuell sind hochwertige Stammholzsortimente jedoch stark nachgefragt, da Holzprodukte wie Parkett, Vollholzmöbel oder Furnier aus Edelkastanienholz europaweit sehr populär sind (Fonti 2002). Um dieses Marktpotenzial nutzen zu können, müssen Waldbesitzer die Niederwälder, aus denen zurzeit eher zufällig und unregelmäßig Stammholzsortimente anfallen, in wertholzproduzierende Hochwälder umwandeln (Mettendorf 2007).

Dieser Umbau ist mit besonderen Herausforderungen an die waldbauliche Behandlung verbunden, weil sich die Gefahr der Ringschälebildung mit steigender Baumdimension erhöht. In Beständen

mit mittlerem Brusthöhendurchmesser über 45 cm ist etwa jeder dritte Baum von Ringschäle betroffen. Eine Minimierung des Risikos ist daher für eine ökonomisch rationale Wertholzproduktion unabdingbar (Hahn 2004, Ecker Eckhofen 2006).

## Ringschäle

Die Ringschäle ist ein Riss im Holzkörper, der sich in tangentialer Richtung entlang eines Jahrringes zieht. Sie ist bei der Holzverarbeitung ein großes Problem, da die Schnittholzausbeute reduziert wird. Der Wertholzanteil des Stammes sinkt folglich enorm (Fonti 2002). „Gesunde Ringschäle“ nach Fonti et al. (2002) und Chanson et al. (1989) sind Ringrisse, die nicht durch unmittelbare Schadereignisse begründet sind. Risse in Folge von Kambiumschädigung, beispielsweise durch Feuer, Frost, Insekten, Pilze oder Beschädigungen bei der Holzernte, werden als „traumatische Risse“ bezeichnet (Abbildung 1).

Bei gesunder Ringschäle wird wiederum zwischen zwei Typen unterschieden. Die „Ablösung“ ist ein Riss, der sich meistens entlang einer Jahrringgrenze zieht. Es ist der typische Riss, der beim Trocknen von Holz entsteht. Die Edelkastanie ist gegenüber Ablösungsrissen nicht anfälliger als andere Baumarten. Der „Bruch“ ist ein Riss, der sich reißverschlussartig durch die großlumigen Frühholzporen zieht und die Holzzellen zerstört (Abbildung 2). Edelkastanie ist extrem anfällig gegenüber Bruchrissen. Bei anderen ringporigen Laubhölzern tritt diese Form von Rissen seltener auf (Fonti 2002).

Die Ursachen der Ringschäle (Bruch) sind vielfältig und nicht vollständig aufgeklärt. Grundsätzlich wird Ringschäle in der Fachliteratur übereinstimmend als das Ergebnis von axialen Spannungsentladungen entlang weniger spannungsresistenter Holzstrukturen beschrieben (Fonti et al. 2002, Zingg und Giudici, 2005, Ecker Eckhofen et al. 2006, Lang 2007, Mettendorf 2007). Beim Baumwachstum entstehen unweigerlich Bereiche mit unterschiedlichen Spannungsverhältnissen. Bei dieser Eigenspannung (*support stresses*, Fonti 2002) nimmt die Spannung von Kambium bis zum Mark stetig ab. Die entwickelten Kräfte reichen nicht aus, um die großlumigen Frühholzgefäße reißen zu lassen. Edelkastanien neigen bei Wachstumsstress dazu, bei den Frühholzzellen kleinere Gefäße und mehr Holzstrahlen auszubilden. Später weisen diese Frühholzschich-



Abb. 1. Traumatische Ringschäle an einer Stammscheibe aus Parzelle F. Verfärbtes Rissereignis in Folge von starkem Frost aus dem Jahr 1956. Traumatic ring shake on a stem disk from lot F. Discolored detachment caused by frost in year 1956.

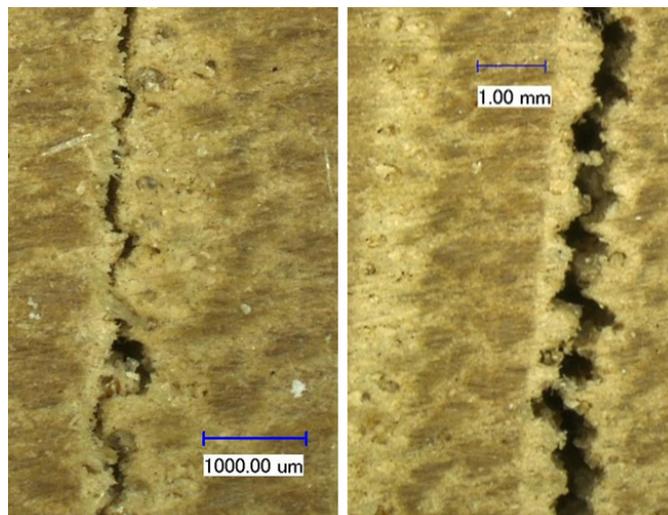


Abb. 2. Die beiden Typen der gesunden Ringschäle; links: Ablösung, rechts: Bruchriss. Both types of sound ring shake; left: delamination, right: fracture crack.

ten eine erhöhte Spannungstoleranz auf (Ferrand und Michel 1980). Fonti und Sell (2003) konnten zeigen, dass die Breite des Jahrringes und die Risstoleranz positiv korreliert sind. Durch unterschiedliche Jahrringbreiten im Stamm können die Spannungen verschoben und überlagert werden, und es kann zu einer inhomogenen Kräfteverteilung (*maturation stresses*, Fonti 2002) im Stamm kommen. Diese inhomogene Spannungsverteilung im Stamm konnte von Fonti et al. (2002) gemessen und nachgewiesen werden.

### Zielsetzung

In dieser Arbeit wird der Einfluss von waldbaulicher Behandlung und klimatischen Bedingungen auf die Ringschälewahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung des spezifischen Wuchsverhaltens der Edelkastanie anhand von Holzproben aus dem Forstamt Haardt in Rheinland-Pfalz geprüft.

## Material und Methoden

### Standörtliche Parameter

Die standörtlichen Bedingungen der 6 Versuchsbestände sind vergleichbar. Es sind für den Wuchsbezirk „Pfälzerwald“ typische frische Braunerden auf Buntsandstein (von Lüpke 2008). Die Beschreibungen des Bestandes (Tabelle 1) und der Bestockung (Tabelle 2) sind Primärinformationen aus dem Forstamt Haardt (Wambsgaß 2011).

Die waldbaulichen Strategien unterscheiden sich zwischen den Stichprobenorten. Die Parzellen sind entweder unbehandelt (Naturwald), im extensiven Niederwaldbetrieb behandelt oder einzelbaumweise intensiv freigestellt (Z-Baum) worden. Die Bewirtschaftungskonzepte unterscheiden sich also grundlegend in der Intensität ihrer Durchforstung. Es liegen keine quantitativen Informationen zum ausscheidenden Durchforstungsvolumen vor. Abbildung 3 zeigt einen in Hochwald überführten Edelkastanienbestand in hohem Alter. Je Behandlungsart gibt es eine junge und eine ältere Parzelle. In jeder Parzelle außer E werden 10 Probepflanzen ausgewählt. Aus Parzelle E werden 5 Bäume für die Stichprobe gewählt.

### Klimadaten

Die Daten stammen aus der Datenbank des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland Pfalz (LUWG). Für alle Bestände liegen interpolierte Daten der Durchschnittstemperatur [°C] und des summierten Niederschlages [mm Wassersäule] für den Zeitraum von 1961 bis einschließlich 2008 auf Tagesbasis

vor. Für Parzelle F liegen zusätzlich Monatswerte dieser Parameter von 1901 bis 1960 vor. Die Jahresdurchschnittstemperatur der Fläche F unterscheidet sich im gesamten Zeitraum von der Jahresdurchschnittstemperatur der anderen Flächen (Tabelle 3).

### Holzproben

Aus jedem Baum wird eine Stammscheibe in 1,3 m Höhe entnommen. Aus jeder Scheibe wird ein Riegel geschnitten, um Jahrringmessungen vorzunehmen. Pro Riegel werden 2 Jahrringmessreihen erstellt, je vom Mark zum Kambium (Hinrichs 2012). Die Jahrringbreite kann wegen der hohen Auflösung der Messanlage auf 1/100 mm genau ermittelt werden (Abbildung 4). Rissereignisse werden inkl. Rissart nach Fonti (2002) an den entsprechenden Jahrringen dokumentiert. Für die Analyse werden nur echte Bruchrisse berücksichtigt.



Abb. 3. Parzelle F. Lot F.

Tab. 1. Zusammenfassung der Standortinformationen. U. Bst. = Unterer Buntsandstein, Zst. = Zechstein. Summary of stand data. U. Bst. = Lower Bunter, Zst. = Upper Permian.

	Parzelle A	Parzelle B	Parzelle C	Parzelle D	Parzelle E	Parzelle F
<b>Grundgestein</b>	U. Bst./Zst.	U. Bst.	U. Bst.	U. Bst./Zst.	U. Bst./Zst.	U. Bst./Zst.
<b>Bodenart</b>	Lehmsand	Sand	Sand	Lehmsand	Lehmsand	Lehmsand
<b>Bodentyp</b>	Braunerde	Braunerde	Braunerde	Braunerde	Braunerde	Braunerde

Tab. 2. Zusammenfassung der Bestockungsinformationen. Summary of tree data.

	Parzelle A	Parzelle B	Parzelle C	Parzelle D	Parzelle E	Parzelle F
<b>Bestandesalter</b> [Jahre]	63	27	39	64	24	ca. 100
<b>Behandlung</b>	Naturparzelle	Niederwald	Naturparzelle	Niederwald	Z-Baum	Z-Baum
<b>Mittlerer BHD</b> [cm]	38,35	26,88	26,93	34,73	26,00	45,50

Tab. 3. Beschreibende Statistik der klimatischen Bedingungen.  
Summary of the climate data.

	Parzellen A bis E		Parzelle F	
	Jahresmitteltemperatur [°C]	Mittlerer Jahresniederschlag [mm]	Jahresmitteltemperatur [°C]	Mittlerer Jahresniederschlag [mm]
<b>Mittelwert</b>	9,47	762	8,42	764
<b>Minimum</b>	8,12	491	7,02	491
<b>Maximum</b>	10,84	1.055	10,18	1.065

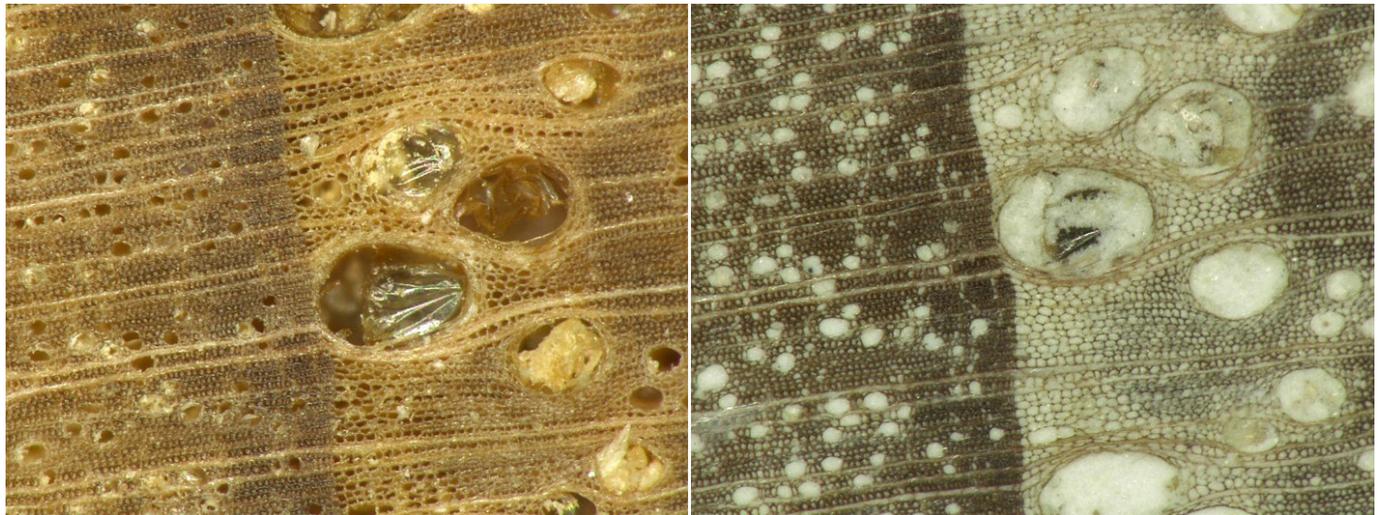


Abb. 4. Intaktes Xylem mit Jahrringgrenze und Frühholzgefäßen; links: ohne Kontrastmittel, rechts: mit Kontrastmittel; Vergrößerung: 200x.  
Uninjured xylem with annual ring boundary and early wood vessels; left: without contrast medium, right: with contrast medium; magnification: 200x.

**Statistische Methoden**

Alle Datenanalysen und Grafiken werden mit dem Statistikpaket R erstellt (R Development Core Team 2011).

Zweistichproben-Vergleiche werden je nach Beschaffenheit der Daten mit dem t-Test mit Welch-Modifikation (Riemer 1994) oder dem Wilcoxon-Rangsummentest durchgeführt (Hollander und Wolfe 1999).

Für den Vergleich von Stichproben aus 3 oder mehr Grundgesamtheiten wird auf die parametrische Varianzanalyse (ANOVA) und den multiplen Mittelwertvergleich (Tukey-Test) zurückgegriffen (Miller 1981). Im Falle unterschiedlicher Stichprobengrößen werden bei der zweifaktoriellen ANOVA Quadratsummen vom Typ III gewählt.

Die Sensitivität ist ein Maß der Änderung von aufeinanderfolgenden Werten einer Datenreihe. Der Sensitivitätsindex  $S_i$  zweier Datenpunkte ist der relative Unterschied dieser Werte. Die mittlere Sensitivität  $\bar{S}$  ist der arithmetische Mittelwert aller einzelnen Sensitivitätsindizes und somit ein Index der relativen Schwankungsstärke einer gesamten Datenreihe (Formel 1) (Schweingruber 1983, Riemer 1994).

$$|S_{i+1}| = \frac{(x_{i+1} - x_i) * 2}{(x_{i+1} + x_i)}; \bar{S} = \frac{\sum_{i=2}^n S_i}{n - 1} \tag{1}$$

Gleichläufigkeit ist ein Index, der den Verlauf zweier Datenreihen vergleicht. Jedem Datenpunkt einer Datenreihe wird per Definition ein  $\Delta_i$  zugeordnet.  $\Delta_i$  wird 0,5, wenn der Wert des Datenpunktes  $i$  größer ist als der Wert des vorigen Datenpunktes  $i-1$ , die Datenreihe

an diesem Punkt also ansteigt. Falls sie fällt, wird  $\Delta_i$  -0,5, bei Stagnation 0. Die Gleichläufigkeit an einem Datenpunkt zwischen den beiden Datenreihen ist der Betrag der Summe der beiden  $\Delta_i$  an dieser Stelle. Damit ergeben sich ebenso viele Gleichläufigkeitseinzelwerte, wie es zu vergleichende Datenpunkte zwischen den zwei Reihen gibt. Der letztendliche Gleichläufigkeitsindex ist der arithmetische Mittelwert der einzelnen Gleichläufigkeiten (Schweingruber 1983, Riemer 1994).

Der Intervalltrend ähnelt einer Gleichläufigkeitsuntersuchung für  $m$  Datenreihen. Er sagt aus, welcher Teil der Kurven zu einem Zeitpunkt steigt. Er errechnet sich ebenfalls aus der Änderung  $\Delta_i = x_i - x_{i-1}$  des Wertes  $x_i$  einer Reihe im Vergleich zum davorliegenden Wert. Der Intervalltrend wird dann

$$\bar{t}_i = \frac{\sum_{j=1}^m t_{ij}}{m}; i = 1, \dots, n \tag{2}$$

bezeichnet, wobei

$$t_{ij} = \begin{cases} 1 & : \Delta_i > 0 \\ 1/2 & : \Delta_i = 0 \\ 0 & : \Delta_i < 0 \end{cases}$$

$n$  ist die Anzahl der Intervalle (Jahre) (Schweingruber 1983, Riemer 1994, geändert). Zu jeden Zeitpunkt sind Werte zwischen 0 und 1 möglich. Wenn  $\Delta_i = 0$  nie auftritt, ist der Intervallwert  $\bar{t}_i$  der Anteil steigender Kurven zu diesem Zeitpunkt. Bei hinreichend großer Messgenauigkeit kann hiervon ausgegangen werden.

## Ergebnisse

Vor der eigentlichen Analyse der beeinflussenden Parameter für Ringschäle werden die klimatischen Parameter und die Wachstumscharakteristik der Edelkastanie einzeln beleuchtet.

### Klimadaten

Der in der Literatur angegebene Schwellenwert von 8 °C Jahresdurchschnittstemperatur wird in Parzelle F mehrfach unterschritten (Abbildung 5). Ebenso verhält es sich mit dem Jahresniederschlag, der neunmal unter die 600-mm-Grenze fällt. Diese Werte werden in den anderen Parzellen ebenfalls unterschritten. Des Weiteren ist zu sehen, dass die Temperatur- und Niederschlagsschwankung zwischen 2 Jahren teils sehr hoch ist.

Durch den Ansatz des Sensitivitätsindex nach Schweingruber (Formel 1) lässt sich die relative Witterungsschwankung quantifizieren. Mit dieser Kenntnis lassen sich anhand der Verlaufsreihen der Jahresmitteltemperatur und des Jahresniederschlages Jahre und Perioden mit besonders schlechten Bedingungen für das Wachstum der Edelkastanien identifizieren. Jahre, in denen die Temperatur- (1) bzw. Niederschlagsschwelle (2) unterschritten wird, oder Jahre, in denen die Temperaturschwankung größer als 10 % (3) oder die Niederschlagsschwankung größer als 40 % (4) sind, werden markiert. Perioden, in denen mehrfach hintereinander 2 bis 3 dieser 4 Parameter auffällig sind, werden als Perioden ungünstiger Witterung identifiziert. Abbildung 6 zeigt die Temperatur- und Niederschlagsschwankungen von Fläche F und die markierten Einzeljahre sowie Perioden.

Somit gibt es 5 Zeitabschnitte (grau hinterlegt) seit 1900, die als ungünstige Wuchsperioden für die Edelkastanie gelten. Hier ist ins-

besondere der Bereich um 1964 zu benennen, in dem die Niederschlagsschwankung sehr hoch und der Niederschlag mengenmäßig zu gering war. Hinzu kommt, dass in den beiden Jahren davor und im Jahr danach die durchschnittliche Jahrestemperatur unter 8 °C lag und der Zeitraum zuvor auch bereits auffällig war. Vor 1955 herrschten 32 Jahre vergleichsweise günstige Bedingungen. Die Perioden der ungünstigen Wuchsbedingungen sind in den Flächen A bis E nach 1960 analog.

### Jahringverlauf

Da für jeden Baum 2 Jahringbreitenreihen vorliegen, lässt sich der Verlauf des Wachstums jedes Baumes differenziert nachverfolgen. Daraus lässt sich ableiten, dass es Bäume gibt, die im Laufe ihres Lebens annähernd homogene Zuwächse zeigen, aber auch Bäume mit sprunghaften Wachstumsunterschieden in aufeinanderfolgenden Jahren. So ist es möglich, jeden Baum in eine Gruppe homogenen oder inhomogenen Wachstumsverlaufs einzuordnen. Jede Probe, die im Verlauf mindestens 2 sprunghafte Jahringbreitenänderungen (über 1,5 mm Unterschied zum Vorjahr) aufweist, wird in die inhomogene Gruppe einsortiert. Etwa 80 % aller Proben zeigen einen inhomogenen Jahringbreitenverlauf (Abbildung 7). An der Grafik wird klar, dass vor allem Bäume der Fläche A, E und F einen sprunghaften Kurvenverlauf zeigen. Nur eine Probe der Fläche A und 2 der Fläche F können als vergleichsweise homogen eingeordnet werden. Von Fläche E ist keine Probe als homogen zu bezeichnen. Der Großteil der homogenen Proben ist aus Parzelle B und C.

Um einen bestandestypischen Verlauf der Jahringbreite über die Zeit zu erhalten, wird für jede Parzelle jedes Jahr der arithmetische Mittelwert aus den Jahringbreiten aller Probestämme erstellt. Der

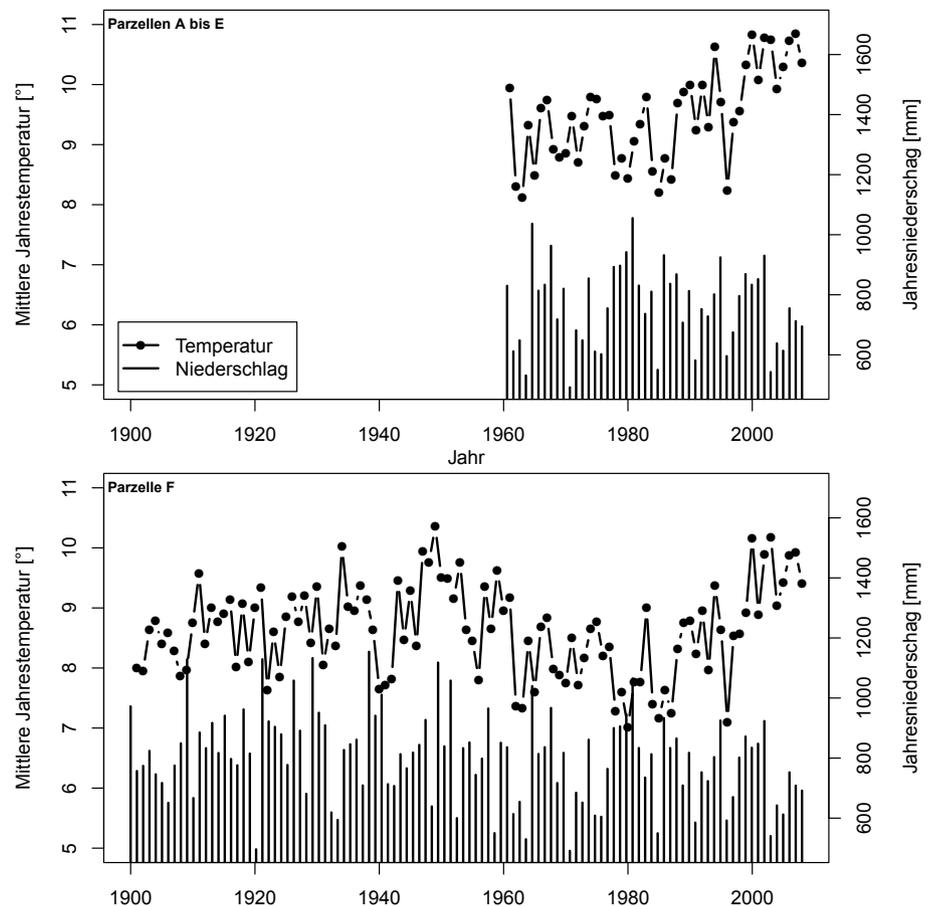


Abb. 5. Verlauf der mittleren Jahrestemperatur und des Jahresniederschlages der Flächen A bis E und F.

Trends of the average temperature and the summarized rainfall in lots A to E and F.

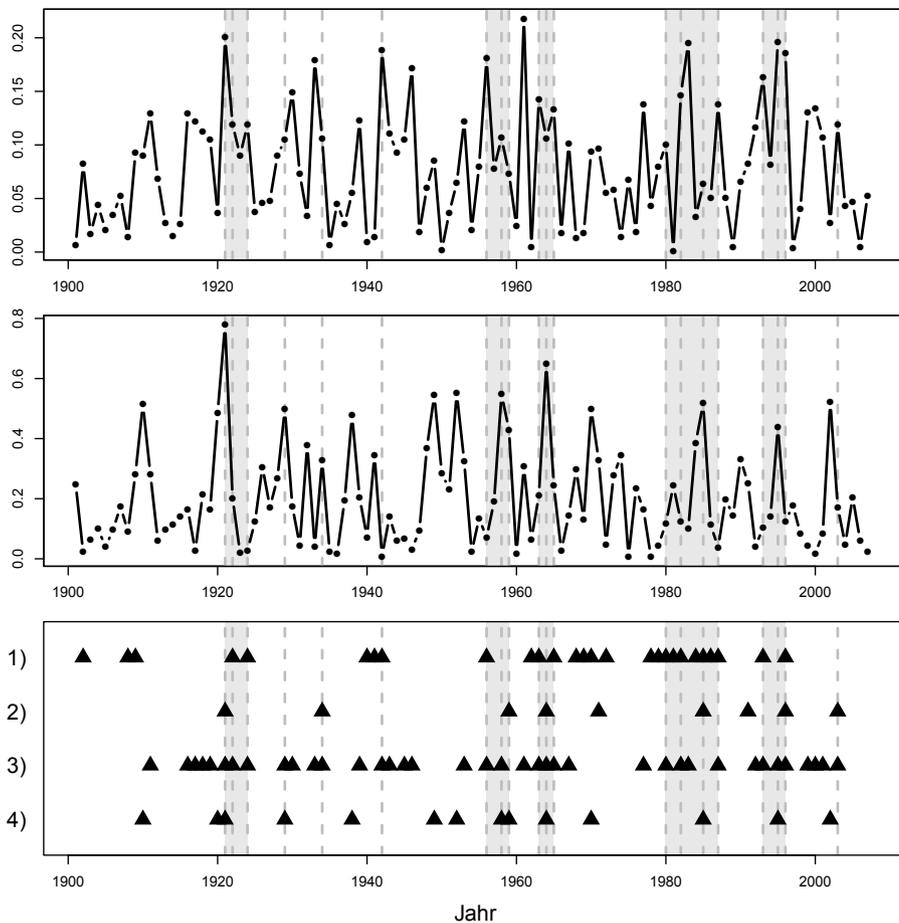


Abb. 6. Extreme Witterungsereignisse der Fläche F; oben: Sensitivität der Temperatur. Mitte: Sensitivität des Niederschlags, unten: auffällige Jahre mit (1) Temperatur unter 8 °C , (2) Niederschlag unter 600 mm und hoher Sensitivität bei (3) Temperatur und (4) Niederschlag.  
Extreme climate dates of lot F. Top: Sensitivity of temperature; middle: sensitivity of rainfall, bottom: noticeable years with (1) an average temperature below 8 °C, (2) rainfall below 600 mm and high sensitivity of (3) temperature and (4) rainfall.

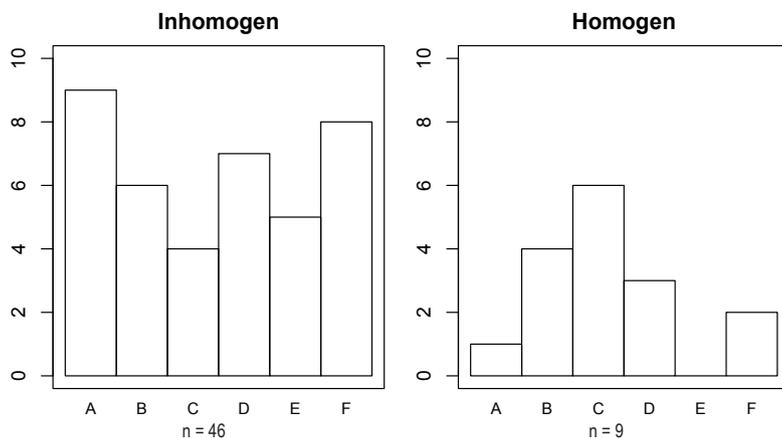


Abb. 7. Histogramm der visual eingeteilten Jahrringverlaufsgruppen, getrennt nach Fläche (A - F).  
Histogram of the visual grouped growth trends, divided by lot (A - F).

Verlauf dieser Mittelwerte wird als der durchschnittliche Baum der Fläche unter den gegebenen waldbaulichen und standörtlichen Bedingungen (Master-Chronologie, Schweingruber 1983) angesehen. Dies ist nur möglich, weil die Bäume nahezu gleichen Alters sind. Andernfalls könnten altersabhängige Faktoren (wie Kulmination) die standortabhängigen Einflüsse überdecken. Daher müssen die Bäume der Fläche F in eine ältere (n = 2) und eine jüngere Stichprobe (n = 8) eingeteilt werden. Bevor der mittlere Baum des Bestandes (Master-Chronologie) gebildet wird, werden zunächst die beiden Jahrringbreitenmessungen jedes Baumes zu einer mittleren Wachstumskurve des Baumes aggregiert. Zu beachten ist, dass es sich bei

dem betrachteten Alter nicht um das tatsächliche Baumalter, sondern um das Alter des Baumes in 1,3 m Höhe handelt.

Der Vergleich der Master-Chronologien (Abbildung 8) macht die unterschiedlichen Verläufe deutlich. Bemerkenswert ist, dass die Master-Chronologien aller Flächen außer C inhomogen verlaufen. In der ersten Lebensphase, welche etwa die ersten 20 Jahre andauert, sind Wachstumsniveau und Wachstumsschwankung am höchsten. In dieser Phase sind auch die größten Unterschiede der Jahrringbreite zwischen den durchschnittlichen Bäumen der Parzellen sichtbar. Die darauf folgende Wachstumsphase ist durch geringere Zuwächse charakterisiert. Sie dauert bei den Flächen, die bereits ein entsprechen-

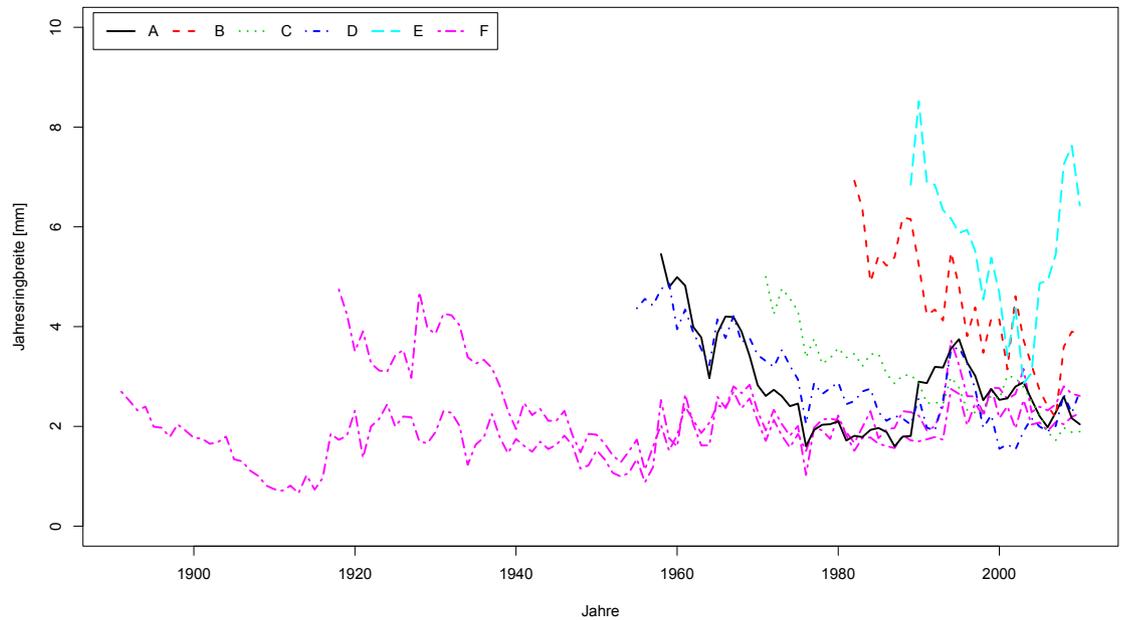


Abb. 8. Verlauf der Master-Chronologien für jede Fläche. Parzelle F ist in 2 Stichproben getrennt. Trend of the master chronicles for each lot. Lot F is divided into 2 samples.

des Alter erreicht haben (A, D und F) ca. 20 Jahre an. Nach dieser Phase wird der Zuwachs wieder etwas höher und stagniert auf diesem Niveau. Es ist auch ersichtlich, dass alle Parzellen, außer B und E, die zu jung sind, unbeeinflusst von ihrem Wuchsverhalten der ersten Lebensphasen, nach etwa 40 Jahren auf einem sehr ähnlichen Niveau (ca. 2,5 mm Jahresringbreite) stagnieren. Die großen Unterschiede in der Jahresringbreite, die bis zu 5 mm pro Jahr ausmachen können, sind nur im Baumalter bis 20 Jahre zu beobachten. Die differenzierte Betrachtung der Master-Chronologien von Parzelle A zeigt, dass es in den Beständen keinen Baum gibt, der deutlich von dem Verlauf der Master-Chronologie abweicht (Abbildung 9). Konträr zu Parzelle A ist die Parzelle C, in der alle Bäume annähernd homogene Zuwächse zeigen. Die Master Chronologie aus Parzelle C nimmt eine Sonderstellung ein. Sie ist als einzige Master-Chronologie der homogenen Gruppe zuzuordnen.

Die Betrachtung der Verteilung der Jahrringe der Master-Chronologien zeigt nochmals deutlich und vergleichbar an, wie sich die Dimensionen der Jahrringe zwischen den Parzellen unterscheiden (Abbildung 10). Die beiden jüngeren Parzellen (B und E) weichen

deutlich von allen andern Parzellen ab. Parzelle E (Hochwald) zeigt mit einigem Abstand die größten mittleren Zuwächse. Die anderen Parzellen bewegen sich etwa auf gleichem Niveau.

Um Einflüsse der Behandlungsart statistisch fassen zu können, müssen alle weiteren Einflussfaktoren der Jahresringbreite entweder unveränderlich sein oder als Parameter mit in das Varianzanalysemodell eingehen. Diese Bedingungen werden geschaffen, indem alle Datenreihen im Alter von 22 Jahren beschnitten werden und somit nur gleichaltrige Bäume verglichen werden. Wenn die standörtlichen Verhältnisse als homogen angenommen werden, sind nun nur noch die beiden Faktoren Begründungszeitpunkt (früh oder spät) und Behandlungsart (Natur-, Nieder-, Hochwald) relevant. Die Parzellen A, D und F sind früh, B, C und E respektive spät etabliert. Die unabhängige Variable ist der mittlere Zuwachs des Baumes in den ersten 22 Jahren. Demnach werden 55 Einzelbaumvariablen analysiert, die sich in zwei Faktoren unterscheiden. Die Residuen des Modells können als normalverteilt und varianzhomogen angesehen werden. Alle Voraussetzungen für eine parametrische ANOVA sind folglich erfüllt.

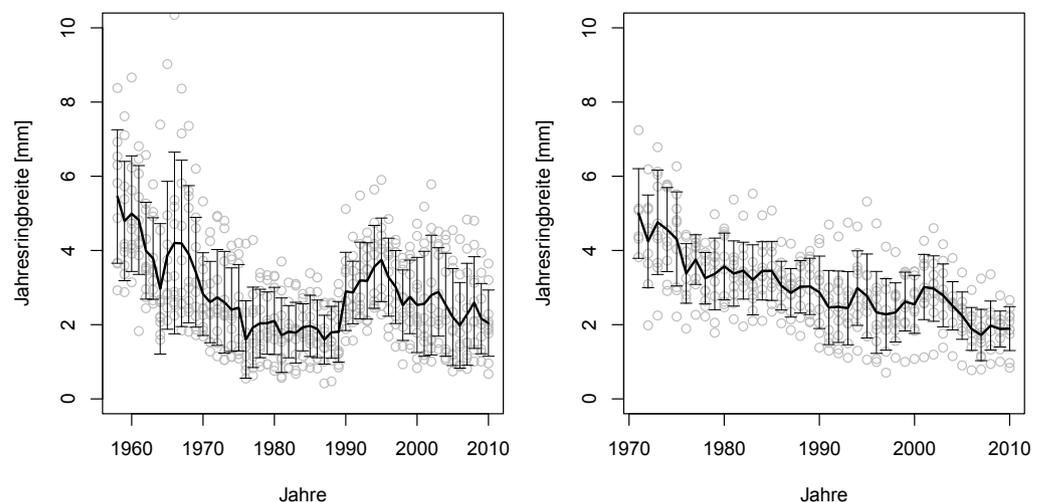


Abb. 9. Verlauf der Master-Chronologie der Parzellen A (links) und C (rechts) inkl. Rohdatenpunkte und Standardabweichung. Plot of the master chronicles of lot A (left) and C (right) including raw data and standard deviation.

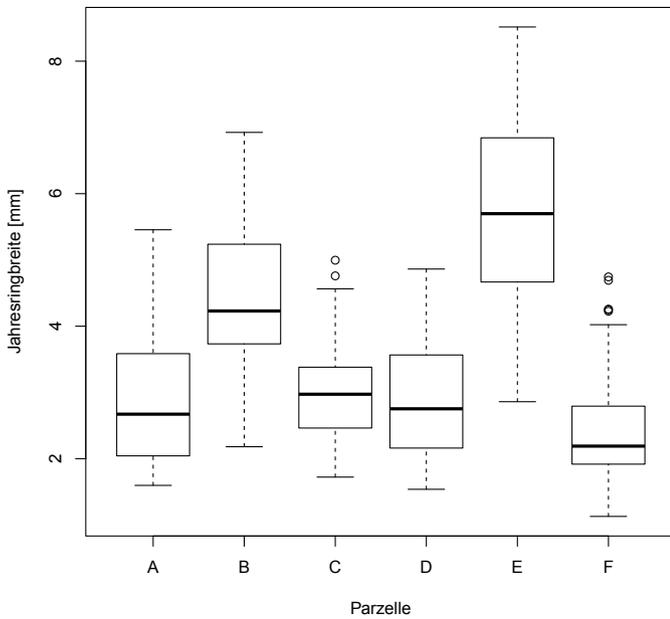


Abb. 10. Boxplots der Jahresringbreiten der Master-Chronologien.  
Boxplots of the annual ring width of the master chronicles.

Aus dem Modell (Tabelle 4) geht hervor, dass beide Faktoren signifikanten Einfluss auf die Jahresringbreite haben und dass es signifikante Wechselwirkungen zwischen den Faktoren gibt. Damit ist statistisch gezeigt, dass die später etablierten (Parzellen B, C und E) Bestände die höheren Jahresringzuwächse aufweisen und, dass der Zuwachs mit der Behandlungsintensität ansteigt. Im Falle des Begründungszeitpunktes lässt sich klar aussagen, dass die späteren Bäume immer größere Zuwächse aufweisen. Bei der Behandlungsintensität

Tab. 4. Zusammenfassung des Varianzanalysemodells der Jahresringbreite der Master-Chronologien. DF = Freiheitsgrade. Sum Sq. = Quadratsummen.

Summary of variance analysis for the master year ring width. DF = degrees of freedom. Sum Sq. = sum of squares.

	DF	Sum Sq.	F-Wert	p-Wert
<b>Interzept</b>	1	157,98	259,18	$2,2 \times 10^{-16}$
<b>Behandlung</b>	2	17,12	14,04	$1,5 \times 10^{-5}$
<b>Bestandesbegründung</b>	1	24,00	39,38	$8,7 \times 10^{-8}$
<b>Wechselwirkungen</b>	2	14,41	11,82	$6,4 \times 10^{-5}$
<b>Residuen</b>	49	29,86		

sind die Ergebnisse wegen der Wechselwirkungen indifferent. Die ältere Hochwaldparzelle (Z-Baum) zeigt die geringsten Zuwächse, die jüngere Hochwaldparzelle weist jedoch die höchsten Zuwächse auf. In den beiden anderen Fällen steigt der Zuwachs mit der Behandlungsintensität an.

### Ursachenanalyse der Ringschäle

Abbildung 11 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Rissereignisse (nur Bruchrisse) für Parzellen, in denen Ringschäle anhand der Holzriegel detektierbar ist. In Parzelle A und D sind alle Rissereignisse in unmittelbarer Nähe zu den markierten Bereichen (s. Abbildung 6) lokalisiert. In Parzelle F zeigen 11 von 14 Rissen ebendieses Verhalten. Die 3 Risse, welche nicht in die Nähe dieser Bereiche fallen, stammen alle aus einer Probe. Dieser Baum der Parzelle F ist der einzige Baum der gesamten Stichprobe (n = 55), bei dem reaktives Wachstum festzustellen ist (Abbildung 12).

Um tiefer in die Ursachenanalyse einzusteigen, wird die Stärke der Jahrringschwankung eines jeden Baumes in Form seiner Sensitivität

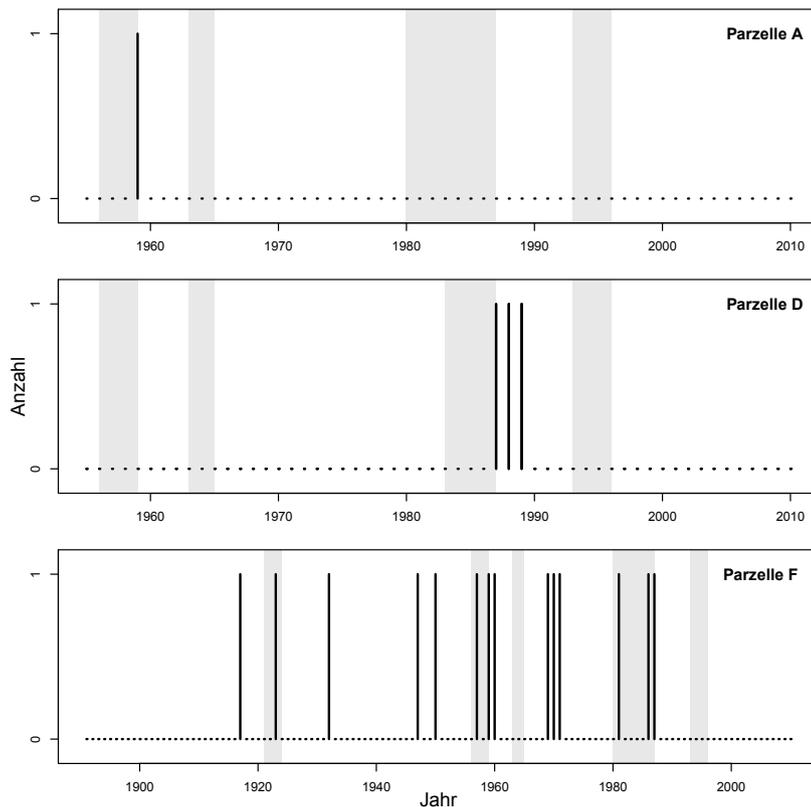


Abb. 11. Häufigkeitsverteilungen der Ringschäle und farbliche Markierung der extremen Witterung.  
Histograms of ring shake including colored periods of extreme climate.

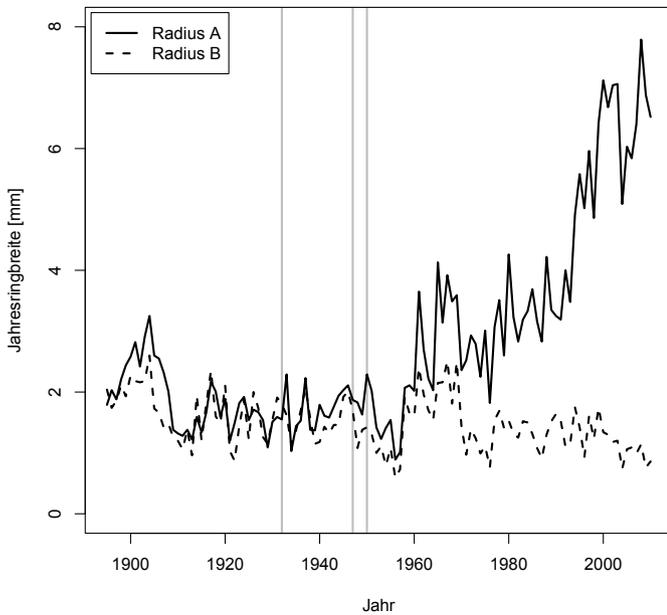


Abb. 12. Reaktives Wachstum. Vertikale Linien markieren Ringschäle. Reactive growth. Ring shake is marked by vertical lines.

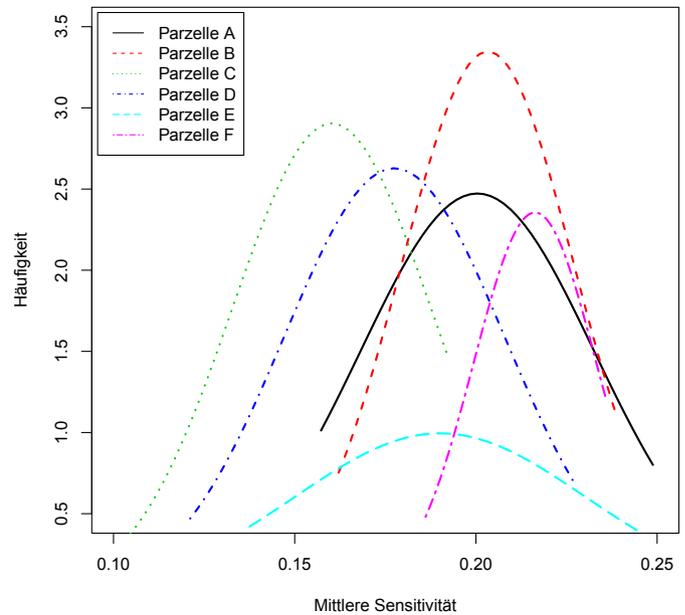


Abb.13. An die Häufigkeitsverteilung der mittleren Sensitivitäten der Bäume angepasste normalverteilte Kurven. Getrennt nach Parzellen. Normal distributed curves fitted to the deviation of mean sensitivity of each tree, divided by lot.

quantifiziert (Formel 1). Die mittlere Sensitivität eines Baumes ist ein Einzelbaumattribut, welches die Schwankung des Baumwachstums in einer Ziffer ausdrückt und diese mit anderen Bäumen vergleichbar macht. Die Häufigkeitsverteilung der Sensitivitäten der einzelnen Bäume in einer Parzelle offenbart die Unterschiede in der Stärke der Wachstumsschwankung zwischen den Parzellen. Um die Übersichtlichkeit zu erhöhen, werden die Häufigkeitsverteilungen der Sensitivitätswerte nicht als Histogramm, sondern als Glockenkurven dargestellt. Die Normalverteilungshypothese wird für keine der Stichproben verworfen. Die Breite der Kurve entspricht der tatsächlichen Spannweite der Daten. Der Hochpunkt der Kurve kann als Schwerpunkt der Häufigkeitsverteilung für diese Parzelle verstanden werden. Dieser Punkt ist damit die mittlere Sensitivität eines Bestandes unter Berücksichtigung der Sensitivität jedes Baumes. An den Lageunterschieden dieser Punkte wird nun deutlich, dass Parzelle C (jüngerer Naturwald) und Parzelle D (älterer Niederwald) geringere Sensitivitätswerte aufweisen und demnach weniger Wachstumsschwankungen unterliegen als die anderen Parzellen (Abbildung 13).

Um die Wachstumsschwankungen als statistisch signifikanten Faktor für Ringschäle zu identifizieren, werden alle Proben mit aufgetretener Ringschäle in die geschädigte Gruppe eingeteilt. Es wird ein Test auf unterschiedliche Mittelwerte in der betroffenen und der nicht betroffenen Gruppe durchgeführt. Um die Stichproben vergleichen zu können, werden die Daten für den Test wieder bei 22

Jahren beschnittenen. Der Wilcoxon-Rangsummentest für gleiche Mittelwerte ergibt bei einem Signifikanzniveau von 5 %, dass die Sensitivitäten sich zwischen den Gruppen signifikant unterscheiden. Demnach sind die Wachstumsschwankungen in den ersten 22 Lebensjahren bei betroffenen Bäumen signifikant höher als bei nicht betroffenen Bäumen. Um dieses Ergebnis auf das gesamte Baumalter zu übertragen, ist wieder nur eine visuelle Analyse möglich.

Bei der Betrachtung der Lage von ringschäligen und nicht ringschäligen Bäumen über der gesamten beobachteten Spannweite der mittleren Sensitivität (0,11 - 0,25) wird deutlich, dass betroffene Bäume mehrheitlich in der oberen Hälfte des Wertebereiches liegen. Des Weiteren ist in der Stichprobe bei keinem Baum, dessen Sensitivität geringer als 0,16 ist, Ringschäle aufgetreten. Nur 2 Proben im Bereich unter 0,18 zeigen Ringschäle.

Um Witterungs-Wachstumstrends zu isolieren, wird eine Intervallanalyse durchgeführt. Diese erlaubt eine zeitlich aufgelöste Betrachtung und ermöglicht es somit, einzelne Zeitabschnitte mit Wachstum-Witterung-Synchronität zu bestimmen (Schweingruber 1983). Sie wird auf alle Master Chronologien angewendet (Abbildung 14).

Ein Index von 0 bedeutet, dass alle Kurven am betrachteten Zeitpunkt sinken und ein Index von 1 zeigt an, dass alle Kurven steigen. Bei 0,5 verlaufen die Kurven indifferent (Formel 2). Da die Stichproben unterschiedlich alt sind, verändert sich die Anzahl der betrach-

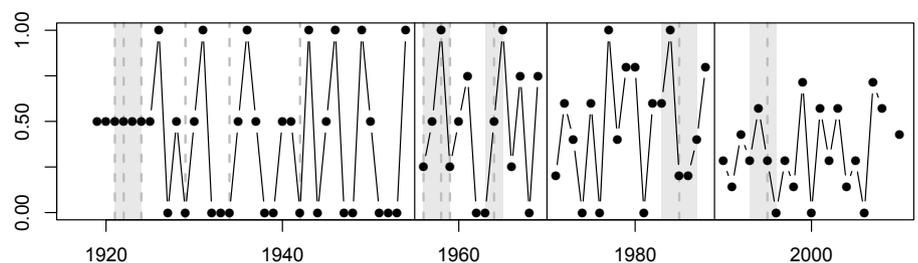


Abb. 14. Intervalltrend der Master Chronologien. Interval trend of all master chronicles.

teten Zeitreihen über die Zeit. Die Schnittstellen, an denen neue Reihen hinzukommen, sind durch vertikale durchgezogene Linien gekennzeichnet. Im Hintergrund der Intervalltrendkurve sind die Witterungsextremwerte durch gestrichelte Linien (Extremjahre) und Flächen (extreme Perioden) dargestellt. Aus dem Diagramm geht hervor, dass es durchaus zeitliche Synchronität gibt. Erkennbar ist dies an den zahlreichen Intervallen, in denen alle Kurven steigen (Intervalltrend = 1) oder fallen (Intervalltrend = 0). Im Zeitfenster 1925 bis 1954 sind in jedem Jahr mit vermeintlich ungünstiger Witterung fallende Jahrringbreitentendenzen zu sehen. Auch danach liegen in Extremjahren bis auf eine Ausnahme Intervallwerte von 0,5 vor. In den meisten Fällen erhöht sich der Intervalltrend nach einer ungünstigen Periode wieder. Deutlich auffallend ist, dass es Intervalle gibt in denen alle Kurven fallen und kurz danach wieder ansteigen. Dies ist im Zeitraum 1963 bis 1965, 1976 bis 1977 und 1981 bis 1984 der Fall. Zwei dieser Zeiträume decken sich mit ausgewiesenen Extremperioden. Demnach bestehen Zusammenhänge zwischen ausgewiesenen Extremjahren und dem Jahrringwachstum aller Parzellen. Auszumachen ist dies daran, dass in dieser Zeit häufig Intervallwerte von 0,5 oder niedriger zu finden sind. Dies zeigt, dass der Großteil der Master-Chronologie-Jahrringbreite enger ist als im Vorjahr.

Der Klimadatensatz ab 1961 ermöglicht, in jedem Jahr Tage mit bestimmten Eigenschaften zu ermitteln und somit eine Jahreskennzahl zu schaffen, um eine Korrelationsanalyse durchzuführen. Die Analyse wird mit den Parametern Jahresminimal-, Jahresmaximal- und Jahresmitteltemperatur [°C], Anzahl der Tage mit einer Lufttemperatur über 7 °C, Anzahl der Tage mit einer Lufttemperatur unter 0 °C und Jahresniederschlagssumme [mm] durchgeführt. Alle Ergebnisse außer der Anzahl der Tage unter 0 °C sind indifferent. Die Frosttageanzahl eines Jahres korreliert immer negativ mit der absoluten Änderung der Breitenwerte im Vergleich zum Vorjahr. Die Korrelation ist dabei mit -0,45 bis -0,07 nicht sehr stark, aber für alle Flächen konstant negativ (Tabelle 5). Besonders interessant ist, dass nicht nur die Jahrring- und Spätholzbreiten, sondern auch die Frühholzbreiten stets korrelieren. Für die Korrelationsanalyse werden alle Bäume berücksichtigt.

## Diskussion

Um die Zusammenhänge, die zur Erhöhung der Ringschälwahrscheinlichkeit führen, zu verstehen, ist die Kenntnis des spezifischen Baumwachstums unabdingbar. Daher werden zunächst Wuchsscharakteristika und deren Einflussfaktoren diskutiert.

### Klimadaten

Aus der Einzelbetrachtung der aufbereiteten Daten geht hervor, dass die Bedingungen abschnittsweise ungeeignet für ungestörtes Wachstum der Edelkastanie sind. Dies zeigt sich an den temporär unterschrittenen Schwellenwerten (Abbildung 6). Da die Witterungsdaten deutlich unter dem Optimum für die Edelkastanie liegen, kann jede Schwankung auch Wachstumsunterschiede induzieren. Da

unterschiedlich breite Jahrringe unterschiedlich spannungsresistent sind (Fonti 2002), sind diese Schwankungen ebenfalls ein wichtiger Parameter für die Analyse der Ringschäle. Die im Zuge der Literaturrecherche angesprochenen Ansprüche der Bäume an den Boden sind erfüllt. Daher sind die Standorte zunächst als geeignet, aber zeitweise problematisch einzuordnen, da die Witterung abschnittsweise als limitierender Faktor das Wachstum beschränkt. Bei diesen ungünstigen Zeitpunkten handelt es sich nicht nur um einzelne Jahre, sondern um bis zu siebenjährige Perioden (Abbildung 6). Die Schlussfolgerung daraus ist, dass die Witterungsverhältnisse der Parzellen Wachstumssprünge bei Edelkastanien potentiell begünstigen können.

### Wachstumscharakteristik der Edelkastanie

Die Sichtung der Jahrringentwicklungen ergibt, dass nur bei einer Probe der Radius A deutlich vom Radius B abweicht. Diese extreme Scherung deutet reaktives Wachstum an. Daher kann reaktives Wachstum auf Grundlage der Stichprobe dieser Arbeit nicht als edelkastanienpezifisch bezeichnet werden.

Sprunghafte Wachstumsgeschwindigkeitsänderungen, wie sie beim Großteil aller Bäume zu beobachten sind (Abbildung 7), sind nach Datenlage und Ergebnissen der Fachliteratur edelkastanientypisch. Eine Edelkastanien-Ertragstafel (2. Ertragsklasse), die mit Bäumen aus Frankreich parametrisiert wurde, zeigt, dass der Kulminationszeitpunkt des Breitenzuwachses etwa nach 15 Jahren zu erwarten ist (Lemaire 2008b). Danach ist das Wachstum rückläufig. Nach dem Tiefpunkt des Zuwachses, der etwa nach 25 Jahren erreicht ist, steigt der jährliche Zuwachs wieder an. Nach 30 Jahren ist ein weiterer Hochpunkt des Zuwachses ersichtlich. Danach nimmt der jährliche Zuwachs monoton ab, und es sind keine sprunghafte Änderungen des Zuwachses zu erwarten. Die durchschnittliche jährliche Jahrringbreite bewegt sich im Bereich von etwa 3 mm ab 40 Jahren bis zu 8,1 mm bei 15 Jahren (Lemaire 2008b). Diese Eigenschaften unterscheiden die Edelkastanien von anderen Baumarten, wie der ebenfalls schnellwüchsigen Robinie (*Robinia pseudoacacia* [L.], Göhre und Erteld 1952) und der in den Holzeigenschaften vergleichbaren Eiche (*Quercus petraea* [Liebl.] und *Quercus robur* [L.], Jüttner 1955). Beide Arten zeigen einen Jahrringbreitenzuwachs, der durch einen Kulminationszeitpunkt charakterisiert ist. Dieser charakteristische Verlauf des Wachstums der Edelkastanie ist bei den meisten Probestämmen dieser Arbeit zu beobachten. Daraus lässt sich der Schluss ziehen, dass Edelkastanien artspezifisch in den ersten 30 Lebensjahren zu starken Wachstumsschwankungen neigen, aber Ausnahmen möglich sind. Wie die Häufigkeitsverteilung (Abbildung 7) zeigt, sind diese Ausnahmen vor allem in Naturwaldparzellen und in dieser Stichprobe nie in den Hochwaldparzellen zu finden. Nach den 30 Jahren ist das Wachstum bei allen Bäumen unabhängig von ihrer Behandlungsintensität homogen. Dies ist auch an der Verteilung der mittleren Sensitivitäten der Bäume ersichtlich, die nur in einer Niederwald- und Naturwaldparzelle auffällig gering sind (Abbildung 13).

Tab. 5. Korrelationskoeffizienten des Jahrringbreitenwachstums mit der Anzahl der Tage unter 0 °C der Parzellen. Parzelle F ist in die jüngere und die ältere Stichprobe eingeteilt.

Correlation coefficients of absolute annual year ring growth and days below 0 °C. Lot F is divided into the younger and the older sample.

	Parzelle						
	A	B	C	D	E	F, jung	F, alt
Jahresring	-0,32	-0,32	-0,19	-0,24	-0,15	-0,26	-0,33
Frühholz	-0,32	-0,32	-0,07	-0,23	-0,14	-0,24	-0,24
Spätholz	-0,45	-0,36	-0,21	-0,22	-0,19	-0,24	-0,24

Der wachstumsbegünstigende Einfluss der waldbaulichen Behandlungsintensität, welcher zumindest für die jüngeren Bestände gezeigt werden kann, ist schlicht über die Wirkung der Freistellung zu erklären. Diese wird im Falle der älteren Proben jedoch vom Einfluss des Bestandesbegründungszeitpunktes überdeckt, wodurch bei der Varianzanalyse Wechselwirkungen zwischen den Faktoren signifikant werden. Dies ist ein Phänomen, das in der Forstwirtschaft häufiger auftritt. Es ist bekannt, dass sich die Luftstickstoffverhältnisse für das Baumwachstum erheblich verbessert haben. Die Bodenverhältnisse werden nach einer Erstbestockung meist ebenfalls immer günstiger für das Baumwachstum (Röhrig et al. 2006). Dazu ist noch anzumerken, dass die Zeitpunkte der Bestandesbegründung in den beiden Gruppen teils sehr unterschiedlich sind. Die Fläche F ist viel älter als die beiden anderen Flächen der älteren Gruppe (Fläche A und D) und auch Parzelle C ist älter als die beiden anderen Stichproben der jüngeren Gruppe (B und E). Festzuhalten ist, dass die Behandlungsintensität zu höheren Zuwächsen führt und dass später begründete Bestände ein stärkeres Wachstum zeigen.

### Ursachenanalyse der Ringschäle

Da Jahrringe mit unterschiedlichen Breiten unterschiedlich spannungs- und rissolerant sind (Ferrand und Michel 1980, Fonti und Sell 2003), ist zu erwarten, dass Ringschäle vor allem in Bereichen auftritt, wo hohe Unterschiede in der Breite benachbarter Jahrringe auftreten. In diesen Bereichen ist durch Jahrringstrukturen unterschiedlicher Spannungstoleranz eine Spannungsüberlagerung und daher höhere Spannung zu erwarten. Daraus resultiert eine erhöhte Risswahrscheinlichkeit der schwächeren Holzstrukturen. Die radial wirkenden Kräfte entladen sich axial und führen zum Bruch der Frühholzgefäße der weniger resistenten Jahrringstrukturen (Fonti et al. 2002). Die Ringschälwahrscheinlichkeit ist demnach vor allem unmittelbar neben Jahrringen aus extremen Witterungsperioden (mit erwartungsgemäß vergleichsweise niedrigem Zuwachs) sowie in Bereichen zwischen solchen 2 extremen Witterungsperioden besonders hoch. Die Häufigkeitsverteilung (Abbildung 11) weist dieses erwartete Muster mit hoher Genauigkeit auf. Die 3 Rissereignisse, die nicht nach diesem Muster verteilt sind, sind alle in einem Baum lokalisiert. Dieser Baum zeigt als einziger eine reaktive Wuchsform (Abbildung 12). Dass die Positionen der Risse dieses Baumes sich offensichtlich von den anderen Bäumen unterscheiden, ist ein Hinweis darauf, dass das exzentrische Wachstum die Ringschälwahrscheinlichkeit erhöhen kann. Dies ist wegen fehlender weiterer Stichproben nicht belegbar, deckt sich jedoch mit Aussagen einer anderen Studie, nach denen reaktives Wachstum zu sehr inhomogenen Spannungsverhältnissen führt (Clair et al. 2003).

In diese Überlegungen fügen sich die Ergebnisse über die Sensitivität der Proben ein. Es gibt vielfach Hinweise, dass die Wahrscheinlichkeit der Ausprägung von Ringschäle eines Baumes mit hohem Wachstumsschwankungen größer ist. Dies durch den Wilcoxon-Rangsummentest für den bei 22 Jahren beschnittenen Datensatz belegt worden. Die Datenlage deutet zusätzlich an, dass diese Aussagen auf das gesamte Baumalter zu projizieren sind, da die von Ringschäle betroffenen Bäume tendenziell höhere Sensitivitätsindizes zeigen. Diese Schwankung kann wiederum durch die Behandlungsintensität beeinflusst werden. Wie sich visuell andeutet, zeigen extensiver behandelte Bäume weniger Wachstumsschwankungen (Abbildung 13).

Direkte Korrelation zwischen Zuwachs und Witterung konnten nur für die Anzahl der Frosttage eines Jahres gezeigt werden. Aus den Ergebnissen der Intervallanalyse (Abbildung 14) lässt sich jedoch ein längerfristiger Zusammenhang zwischen Witterungsperioden und Wachstum herstellen. Dies lässt sich an der Tatsache ausmachen, dass stets ein Großteil der Zuwächse der Master Chronologien in einem Extremjahr im Vergleich zum davorliegenden Jahr rückläufig ist. Häufig ist das Wachstum im Folgejahr wieder höher. Es deutet sich

also an, dass in diesen Fällen die Witterung der wachstumsbeschränkende Faktor ist. Solche Verlaufsmuster sind jedoch auch in den Zwischenintervallen zu finden. Daher kann nur gefolgert werden, dass die teilweise ungünstige Witterung das Wachstum beeinflusst, es aber weitere relevante Faktoren gibt (Abbildung 14). Dies ist mit den Kenntnissen der Dendroökologie vereinbar, da sich lang- und kurzfristige Witterungsbedingungen unterschiedlich auf den Zuwachs auswirken und das Wachstum zusätzlich durch andere temporär auftretenden Faktoren (wie Spätfrost oder Dürreperioden), die anhand der Rohdaten nicht erfassbar sind, beeinflusst ist (Schweingruber 1993). Ebenso verändern baumindividuelle Einflüsse wie Konkurrenzsituation oder Randlege das Wachstum (Schweingruber 1983). Grundsätzlich bestehen demnach langfristige Witterungs-Wachstums-Wechselwirkungen. Die kurzfristigen Wechselwirkungen werden jedoch durch andere Faktoren überdeckt.

### Deutung der Ergebnisse in Bezug auf den Waldbau

Zusammengefasst ergeben die Analysen dieser Arbeit, dass Wachstumsschwankungen die Ringschälwahrscheinlichkeit erhöhen und diese Schwankungen unter anderem witterungsbedingt sind. Die Wachstumsschwankungen werden zudem durch das edelkastanien-spezifische Wachstumsmuster verstärkt. Die Analysen ergeben auch, dass die Durchforstungsstärke einen signifikanten positiven Einfluss auf Zuwachs und Wachstumsschwankungen hat. Dies bedeutet, dass die unausweichlichen, durch die Witterung bedingten Wachstumsschwankungen durch eine geringere Durchforstungsintensität, also eine weniger starke Freistellung der Z-Bäume, abgepuffert werden können. Daher ist zu empfehlen, junge Edelkastanienbestände, die auf Standorten mit abschnittsweise ungünstigen Witterungsverhältnissen stehen, in den ersten 20 bis 25 Jahren nicht stark freizustellen. Nach dieser Phase kann wegen des rückläufigen Zuwachstrends eine stärkere Behandlung den Holzvolumenzuwachs forcieren, ohne die Ringschälwahrscheinlichkeit stark zu erhöhen. Nach 40 Jahren ist die Reaktionsfähigkeit der Bäume so gering, dass Freistellung keine Wachstumsschübe mehr induzieren sollte. Letztlich müssen also geringere Zuwächse zugunsten einer guten Stammholzqualität in Kauf genommen werden.

### Danksagung

Für die freundliche Unterstützung sowie die finanzielle Förderung des Projektes durch die Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft des Landes Rheinland-Pfalz (FAWF-RP) bedanken sich die Autoren ausdrücklich. Ein Teil der holzanatomischen Untersuchungen erfolgte dank der kollegialen Unterstützung von Dr. Hubert Leuschner an der Abteilung Palynologie und Klimadynamik der Universität Göttingen. Dr. Peter Rademacher fertigte dankenswerterweise die Aufnahmen der Risse im Xylem der Holzproben an.

### Literatur

- Chanson B., Leban J.M., Thibaut B. 1989. La roulure du châtaignier. Forêt méditerranéenne 11, 15-32
- Clair B., Ruelle J., Thibaut B. 2003. Relationship between growth stress: Mechanical-physical properties and proportion of fibre with gelatinous layer in chestnut (*Castanea sativa* Mill.). Holzforschung 57, 189-195
- Ecker Eckhofen P., Gerhold U., Klement J., Klug M., Rühmer T., Schantl J., Strallhofer P. (Hrsg.). 2006. Edelkastanie – Waldbaum und Obstgehölz. Ehrenhausen
- Ferrand J.C., Michel P. 1980. La roulure du châtaignier (*Castanea sativa* Mill.). Paris
- Fonti P. 2002. Investigations into ring shake of chestnut. Swiss Federal Institute of Technology. Dissertation. ETH Zürich
- Fonti P., Sell, J. 2003. Radial split resistance of chestnut earlywood and its relation to the ring width. Wood and Fiber Science 35, 201-208
- Fonti P., Macchioni N., Thibaut B. 2002. Ring shake in chestnut (*Castanea sativa* Mill.): State of the art. Annals of Forest Science 59, 129-140

- Göhre K., Erteld, W. 1952. Die Robinie (falsche Akazie) und ihr Holz. Berlin
- Hahn S.T. 2004. Die Esskastanien. Norderstedt
- Hinrichs K. 2012. Untersuchungen der Jahrringstruktur und der Darrdichte an Edelkastanien (*Castanea sativa* Mill.). Abteilung für Holzbiologie und Holzprodukte. Bachelorarbeit Univ. Göttingen (unveröff.)
- Hollander M., Wolfe D.A. 1999. Nonparametric statistical methods. 2nd edition. New York
- Jüttner O. 1955. Ertragstafeln für Eichen. Ertragstafeln wichtiger Baumarten, neubearbeitet von Schober R. 1987. Frankfurt a. M.
- Lang W. 2007. Die Edelkastanie – wiederentdeckt im Zeitalter des Klimawandels. *AFZ/DerWald* 62, 923-925
- Lemaire J. 2008a. Autécologie du châtaignier: Ce fougueux qui craint la sécheresse. *Forêt-entreprise* 179, 18-24
- Lemaire J. 2008b. Estimer la potentialité de son taillis de châtaignier et y adapter les éclaircies. *Forêt-entreprise* 179, 14-17
- Lüpke von B. 2008. Einfluss unterschiedlicher Hiebsformen auf die Naturverjüngung eines Traubeneichen-Buchen-Mischbestandes. *Forstarchiv* 79, 4-15
- Mettendorf B. 2007. Neue Perspektiven bei Produkten und Vermarktung: Edelkastanien-Wertholz aus Baden. *AFZ/DerWald* 62, 920-922
- Miller R.G.J. 1981. Simultaneous statistical inference. 2nd edition. New York
- Pfabigan N. 2006. Es kommt darauf an – Zur Dauerhaftigkeit unbehandelter Hölzer in der Außenanwendung. *Zuschnitt* 23, 20-21
- R Development Core Team 2011. R: A Language and environment for statistical computing. Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/> (abgerufen am 01.06.2012)
- Riemer T. 1994. Über die Varianz von Jahrringbreiten. Dissertation Univ. Göttingen
- Röhrig E., Bartsch N., von Lüpke B. 2006. Waldbau auf ökologischer Grundlage. 7. Aufl. Stuttgart
- Schweingruber F.H. 1983. Der Jahrring. Bern u. Stuttgart
- Schweingruber F.H. 1993. Jahrringe und Umwelt-Dendroökologie. Birmensdorf
- Wambsganß W. 2011. Primärinformationen über die Geologie der Versuchsfelder aus den Unterlagen des Forstamtes Haardt (unveröff.)
- Zingg A., Giudici F. 2005. Wertholzproduktion mit Kastanien-Niederwald-Versuchsanlage und erste Ergebnisse. In: Nagel J. (Hrsg.) Deutscher Verband Forstlicher Versuchsanstalten, Sektion Ertragskunde, Jahrestagung 9.-11. Mai 2005. Freising, 168-179