

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 168 (2017)

Heft: 2

Artikel: Ergebnisse eines Grünästungsversuchs mit Bergahorn, Buche, Eiche und Esche

Autor: Klädtke, Joachim / Ehring, Andreas

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1097468>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 01.05.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Ergebnisse eines Grünästungsversuchs mit Bergahorn, Buche, Eiche und Esche

Joachim Klädtke Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (DE)*
Andreas Ehring Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (DE)

Ergebnisse eines Grünästungsversuchs mit Bergahorn, Buche, Eiche und Esche

Gegenstand der Untersuchung ist ein in Baden-Württemberg angelegter Grünästungsversuch mit Bergahorn, Buche, Eiche und Esche mit dem Ziel, die Auswirkungen auf Fäule, Verfärbungen, Wasserreiserbildung, Zuwachsreaktionen und Überwallungsdauer zu quantifizieren. Die Versuche wurden im Jahr 2004 bei 8 bis 14 m Oberhöhe in Stangenhölzern angelegt, in denen die Qualifizierungsphase noch nicht abgeschlossen war. In jeder Parzelle wurden jeweils etwa zehn Bäume im Frühjahr und Sommer geästet, wobei jeweils rund 40% der grünen Krone und Äste mit Durchmessern bis zu 80 mm entnommen wurden. Als Kontrollvariante wurden zehn nicht geästete Bäume je Parzelle ausgewählt und wie die geästeten Bäume freigestellt. Der Einschlag der Untersuchungsbäume erfolgte 2011 bzw. 2012. Von den gefälltten Bäumen wurden dendrometrische Daten erhoben sowie asthaltige Stammabschnitte entnommen und untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Grünästung keine Fäule im Stamm verursacht hat. Die im Vergleich zur Kontrollvariante häufiger auftretenden Verfärbungen beschränkten sich auf den asthaltigen Holzkörper und sind holztechnologisch ohne Belang. Die Ästung führte zu einer verstärkten Wasserreiserbildung, die jedoch (mit Ausnahme der Eiche) noch während der Beobachtungsdauer wieder das Niveau der Kontrollvariante erreichte. Der Radialzuwachs ging infolge der Ästung kurzfristig zurück, im Ausmass lag der Zuwachsrückgang unterhalb der Wirkung des Trockenjahrs 2003 und war nicht signifikant. Die Überwallungsdauer der Astwunden halbierte sich gegenüber der Kontrollvariante nahezu: Bei Grünästung und Astdurchmessern von 3 bis 4 cm sind drei bis fünf Jahre, bei natürlicher Astreinigung dagegen bis etwa neun Jahre erforderlich.

Keywords: radial increment, discoloration, wood decay, epicormic branches, occlusion time, broadleaves
doi: 10.3188/szf.2017.0067

* Wonnhaldestrasse 4, DE-79100 Freiburg i. Br., E-Mail joachim.klaedtke@forst.bwl.de

Bei den meisten unserer Laubbaumarten wird Wertholz in der Regel über ein zweistufiges Pflegekonzept erzeugt, indem zunächst die angestrebte astfreie Schaftlänge der Z-Bäume durch natürliche Astreinigung erreicht und anschliessend das Durchmesserwachstum durch starke Durchforstungen forciert wird (MLR Baden-Württemberg 2014, Spiecker 1991). In heterogenen Naturverjüngungen sowie in Trupppflanzungen führt eine natürliche Astreinigung oftmals nicht oder nur sehr verzögert zu den gewünschten Schaftqualitäten. Hier stellt sich die Frage, ob die Schaftqualität der Z-Bäume nicht durch eine frühzeitige Grünästung verbessert werden kann.

Über Erfolg versprechende Grünästungsversuche an Esche und Eiche berichten bereits Žumer (1966) und Zieren (1970). Für Esche und Bergahorn kommen Hein (2003), Hein & Spiecker (2007) sowie Dănescu et al (2015) ebenfalls zu einer positiven Ein-

schätzung, und auch bei der Buche, bei der eine Grünästung lange Zeit umstritten war (z.B. Zimmerle 1943, Mayer-Wegelin 1952), ist es möglich, Z-Bäume mit unbefriedigender natürlicher Astreinigung qualitativ aufzuwerten (Hein 2004). Vor allem in Bezug auf den maximalen Durchmesser der zu entnehmenden Äste sowie den günstigsten Ästungszeitpunkt bestehen beim Laubholz jedoch nach wie vor Unsicherheiten. Im Jahr 2004 wurde deshalb von der Abteilung Waldwachstum der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg ein Grünästungsversuch in Bergahorn-, Eschen-, Eichen- und Buchenbeständen aus Naturverjüngung begonnen. Die Ästung erfolgte dabei im März ausserhalb der Saftzeit sowie im Juni, und es wurden Äste bis 80 mm Durchmesser entnommen. Ziel war es, die Auswirkungen auf Fäule, Verfärbungen und Wasserreiserbildung sowie auf Überwallungsdauer und Radialzuwachs zu untersuchen.

Material und Methoden

Datengrundlage

Der Versuch umfasst elf Parzellen – je zwei mit Bergahorn, Eiche und Esche sowie fünf mit Buche – in für die jeweilige Baumart typischen Wuchsgebieten Baden-Württembergs (Abbildung 1). Auf den Parzellen wurde die in Tabelle 1 genannte Anzahl mindestens herrschender Bäume im März und Juni 2004 geästet (Ästungsvarianten Frühjahrs- bzw. Sommerästung), und es wurden ungeästete Bäume als Vergleichskollektiv ausgewählt (Kontrollvariante). Anschliessend wurden alle Bäume durch die Entnahme von zwei bis fünf Bedrängern freigestellt. Folgende Parameter wurden baumweise erhoben: Höhe, Durchmesser in Brusthöhe (BHD), Kronenkennwerte und Konkurrenzsituation.¹ Die Ästung erfolgte durch einen erfahrenen Forstwirtschaftsmeister unter Benutzung des Distelleitersystems auf die in Tabelle 1 angegebenen Höhen, wobei sorgfältig darauf geachtet wurde, den Astkragen nicht zu verletzen. In den Jahren 2004 bis 2009 und abschliessend noch einmal 2011 (Bergahorn und Esche) bzw. 2012 (Eiche und Buche) wurden an den Bäumen Anzahl und Länge der Wasserreiser in Kategorien erfasst. Eine exaktere Erfassung der Wasserreiser erwies sich als zu aufwendig.

2011 und 2012 wurden die Bäume gefällt und unter anderem folgende Parameter erhoben: Alter in Stockhöhe, Baumlänge, BHD und Ansatzhöhe der Äste. Anhand von Stammscheiben aus dem BHD-Bereich wurde der jährliche Radialzuwachs ermittelt. Ausserdem wurden je Baum drei bis vier circa 30 cm lange Stammabschnitte mit überwallten Ästen entnommen und im Labor untersucht. Die Astquerschnitte wurden nach einem von Hein (2003) beschriebenen Verfahren vermessen. Es wurden unter anderem folgende Grössen bestimmt: Astdurchmesser zum Zeitpunkt des Abtrennens bzw.

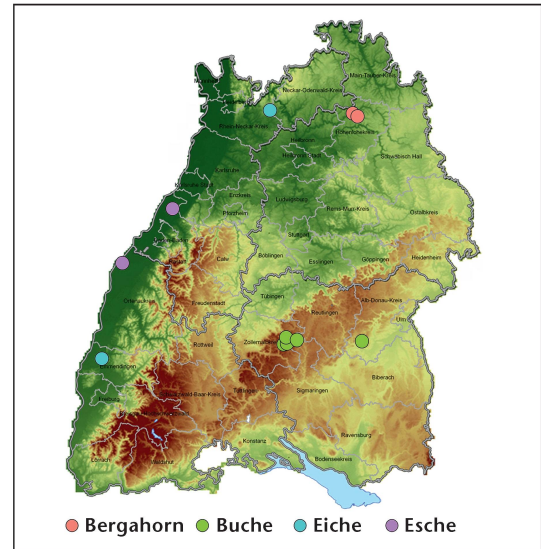


Abb 1 Lage der Ästungsversuche in Baden-Württemberg.

Absterbens, Verfärbungen bzw. Fäule im Stamm und Überwallungsdauer.

Statistische Auswertung

Für die statistische Analyse kamen lineare und generalisierte gemischte Modelle zum Einsatz (McCullagh & Nelder 1989, Agresti 2002). Wie in den Analysen von Dănescu (2013) wurde die Baumebene als zufälliger Effekt berücksichtigt und die Baumart als nominale Variable in die Regressionsmodelle einbezogen. Gegenüber baumartenspezifischen Modellen hat dies den Vorteil, dass der Effekt der Baumart mit zum Ausdruck kommt.

Da keiner der untersuchten Stammabschnitte Fäule aufwies, erübrigten sich weitere Analysen zu die-

¹ Die beiden letztgenannten Parameter erwiesen sich bei keiner der durchgeführten Analysen als signifikant, weshalb sie im Folgenden auch nicht weiter betrachtet werden.

Baumart	Felder (N)	Ästungszeitpunkt	Untersuchungsbäume				Äste		
			Anzahl (N)	Höhe ¹⁾ (m) min-max/ \bar{x}	Ästungshöhe (m) min-max/ \bar{x}	Entfernte Grünkronen (%) min-max/ \bar{x}	Entfernt (N/Baum) min-max/ \bar{x}	Untersucht (N)	Durchmesser (mm) min-max/ \bar{x}
Bergahorn	2	Frühjahr	20	12.1–15.6/14.1	5.9–8.6/7.6	21–53/38	5–29/12.5	122	10–65/28.0
		Sommer	20	10.4–16.9/14.3	6.3–9.0/7.5	19–54/37	3–21/10.5	103	9–76/30.2
		nat. Astr.	18	11.9–16.8/14.3	–	–	–	73	7–32/18.6
Buche	5	Frühjahr	50	8.6–19.1/13.7	3.5–10.4/7.3	20–51/38	3–24/8.5	151	15–80/37.7
		Sommer	40	8.2–16.7/12.8	4.1–10.0/7.2	19–58/40	1–22/9.3	114	16–77/35.2
		nat. Astr.	30	7.4–16.5/12.1	–	–	–	89	8–45/21.9
Eiche	2	Frühjahr	20	6.6–9.7/8.0	3.2–5.0/4.1	29–54/40	5–18/12.0	80	13–67/30.5
		Sommer	21	6.6–9.8/8.1	3.4–5.7/4.2	29–50/42	3–21/12.5	74	11–55/30.7
		nat. Astr.	20	6.8–9.8/8.4	–	–	–	64	9–35/19.5
Esche	2	Frühjahr	19	6.7–10.5/8.6	3.4–6.3/4.6	33–56/42	4–20/10.7	68	7–60/29.1
		Sommer	17	6.3–9.8/8.1	3.8–5.6/4.6	34–51/44	4–15/9.9	60	6–65/29.6
		nat. Astr.	21	7.2–10.7/8.7	–	–	–	76	7–37/19.9
Σ	11		295					1074	

Tab 1 Kennwerte der untersuchten Bäume und Äste. 1) Baumhöhe im Jahr 2004; nat. Astr.: natürliche Astreinigung.



Abb 2 Im Astholz einer Buche eingeschlossene Weissfäule nach Grünästung (Astdurchmesser 60 mm; links) und Stammverfärbung an einer Esche nach Grünästung mit eingezeichneten Messlinien (Astdurchmesser 47 und 33 mm; rechts).

Äste	Bergahorn				Buche				Eiche			Esche					
	NA	GA		insg.	NA	GA		insg.	NA	GA		insg.	NA	GA			
		F	S			F	S			F	S			F	S		
insgesamt	(n)	57	121	98	219	71	144	111	255	50	78	72	150	46	68	59	127
davon verfärbt	(n)	6	13	4	17	2	18	11	29	0	4	7	11	0	23	46	69
	(%)	11	11	4	8	3	13	10	11	0	5	10	7	0	34	78	54

Tab 2 Anteil von Astproben mit Stammverfärbungen. NA: natürliche Astreinigung, GA: Grünästung, F: Frühjahr, S: Sommer.

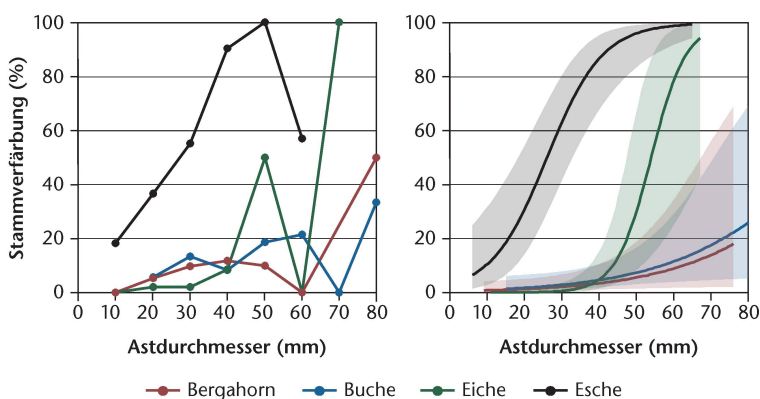


Abb 3 Effektiver (links) und modellierter Anteil (rechts) von Stammverfärbungen nach Grünästung in Abhängigkeit des Astdurchmessers.

Regressionsparameter	Prädiktoren	Koeffizienten
\bar{a}_0	Intercept	-5.3490
\bar{a}_1	BA_{Bu}	0.3488
	BA_{Ei}	-6.1904
	BA_{Es}	1.8794
\bar{a}_2	AD	0.0504
\bar{a}_3	$AD \times BA_{Bu}$	-0.0010
	$AD \times BA_{Ei}$	0.1638
	$AD \times BA_{Es}$	0.0837

Tab 3 Koeffizienten der fixen Effekte zur Vorhersage der Stammverfärbung nach Grünästung gemäss Gleichung 1. BA: Baumart, AD: Astdurchmesser, Bu: Buche, Ei: Eiche, Es: Esche.

sem Schadmerkmal. Stammverfärbungen wurden als binär vorliegende Zielvariable mittels Binomial-GLMM in R (Prozedur glmmPQL, R-Package MASS) analysiert.

Der Wasserreiserbesatz wurde ebenfalls als binäre Variable behandelt, da die Art der Datenerhebung eine Behandlung als kontinuierliche Variable nicht zulies. Hierzu wurden die erhobenen Daten in eine einfache Präsenz-Absenz-Information (ja/nein) umgewandelt und mittels Binomial-GLMM die Wahrscheinlichkeit modelliert, mit der ein Baum Wasserreiser aufweist.

Zur Klärung der Frage, ob die Grünästung einen relevanten Einfluss auf das Dickenwachstum hatte, wurden die jährlichen Radialzuwächse der beiden Ästungskollektive (Frühjahr, Sommer) und des Kontrollkollektivs einem t-Test unterzogen.² Um etwaige Zuwachsunterschiede im Ausgangsniveau der Kollektive zu eliminieren, wurde die Differenz der Mittelwerte von Ästungs- und Kontrollkollektiv im Zeitraum 1998 bis 2002³ vom Radialzuwachs der Einzelbäume der Ästungskollektive subtrahiert.

Bei der in ganzen Jahren gemessenen Überwallungsdauer handelt es sich um eine Zählvariable, die aufgrund ihrer Verteilungscharakteristik mittels der Prozedur glmmPQL (R-Package MASS) analysiert wurde (Venables & Ripley 2002). Die Modellgüte wurde nach dem von Lefcheck (2015) beschriebenen Verfahren (R-Package piecewiseSEM) berechnet.

Ergebnisse

Fäule und Stammverfärbungen

Vereinzelt waren im Inneren der Äste Faulstellen zu finden, die sich jedoch immer auf das Astholz beschränkten und nach aussen abgeschottet waren (Abbildung 2, links). Im Stammholzbereich wurde an keiner einzigen Holzprobe Fäule festgestellt. Teilweise hatten sich jedoch ausgehend von den Ästen Verfärbungen im Stamm gebildet (Abbildung 2, rechts). Diese Stammverfärbungen traten bei natürlicher Astreinigung ausser beim Bergahorn nicht bzw. nur in geringem Umfang auf (Tabelle 2), weshalb hier auf eine Darstellung der statistischen Analysen des Kontrollkollektivs verzichtet wird. Bei Grünästung kam es bei allen Baumarten zu Stammverfärbungen (Abbildung 3, links), wobei die Esche mit einem Anteil von 54% verfärbter Stammproben hervorsteicht.

Neben dem hohen Niveau der Stammverfärbungen bei der Esche fällt die starke Streuung der Werte bei der Eiche auf. Bei der Erstellung eines adäquaten GLMM-Modells (Abbildung 3, rechts) stell-

² Da der t-Test kaum nachweisbare Zuwachsunterschiede ergab, wurde auf einen komplexeren Modellierungsansatz verzichtet.

³ Die Ästung erfolgte zwar erst im Jahr 2004, da jedoch ein erheblicher Einfluss des Trockenjahrs 2003 auf das Wachstum zu vermuten war, wurde der Referenzzeitraum von 1998 bis 2002 gewählt.

Baumart	Kalenderjahr	Natürliche Astreinigung		Grünästung					
		Bäume insg.	davon mit WR	Frühjahr		Sommer		insgesamt	
				Bäume insg.	davon mit WR	Bäume insg.	davon mit WR	Bäume insg.	davon mit WR
Bergahorn	2004		17%		30%		0%		15%
	2005	18	39%	20	65%	20	70%	40	68%
	2011		11%		10%		15%		13%
Buche	2004		43%		28%		20%		24%
	2007	30	52%	50	50%	40	48%	90	49%
	2012		50%		44%		33%		38%
Eiche	2004		20%		75%		29%		52%
	2007	20	45%	20	80%	21	71%	41	76%
	2012		25%		40%		38%		39%
Esche	2004		0%		36%		0%		18%
	2008	21	0%	19	21%	17	29%	36	25%
	2011		0%		0%		6%		3%

Tab 4 Häufigkeit von Bäumen mit Wasserreisern nach Baumart, Behandlungsvariante und Kalenderjahr. WR: Wasserreiser, fett gedruckte Werte: maximaler Anteil an Bäumen mit WR. Die Tabellenangaben beschränken sich der Übersichtlichkeit halber auf die erste und letzte Aufnahme sowie auf das Jahr, in dem der maximale WR-Anteil erreicht wird.

Natürliche Astreinigung (Gleichung 2a)			Grünästung (Gleichung 2b)		
Regressionsparameter	Prädiktoren	Koeffizienten	Regressionsparameter	Prädiktoren	Koeffizienten
a ₀	Intercept	-7.7451	a ₀	Intercept	4.8033
a ₁	HD ₂₀₀₄	5.6693	a ₁	HD ₂₀₀₄	-4.4041
a ₂	BA _{Bu}	1.9921	a ₂	I _{Rbt}	-0.3990
	BA _{Ei}	2.2771	a ₃	BA _{Bu}	0.0101
a ₃	B _t	-18.4527		BA _{Ei}	0.0109
a ₄	B _t ²	-27.5726		BA _{Es}	-2.1071
a ₅	B _t × BA _{Bu}	21.5995	a ₄	B _t	-49.2124
	B _t × BA _{Ei}	17.2060	a ₅	B _t ²	-50.2487
a ₆	B _t ² × BA _{Bu}	27.8280	a ₆	B _t × BA _{Bu}	63.5247
	B _t ² × BA _{Ei}	22.5752		B _t × BA _{Ei}	31.1752
				B _t × BA _{Es}	4.7750
			a ₇	B _t ² × BA _{Bu}	29.4309
				B _t ² × BA _{Ei}	48.3778
				B _t ² × BA _{Es}	19.8248

Tab 5 Koeffizienten der fixen Effekte für die Vorhersage von Wasserreisern gemäss Gleichungen 2a und 2b. BA: Baumart, HD₂₀₀₄: H/D-Wert zu Beobachtungsbeginn, I_r: Radialzuwachs, B_t: Beobachtungsdauer, Bu: Buche, Ei: Eiche, Es: Esche.

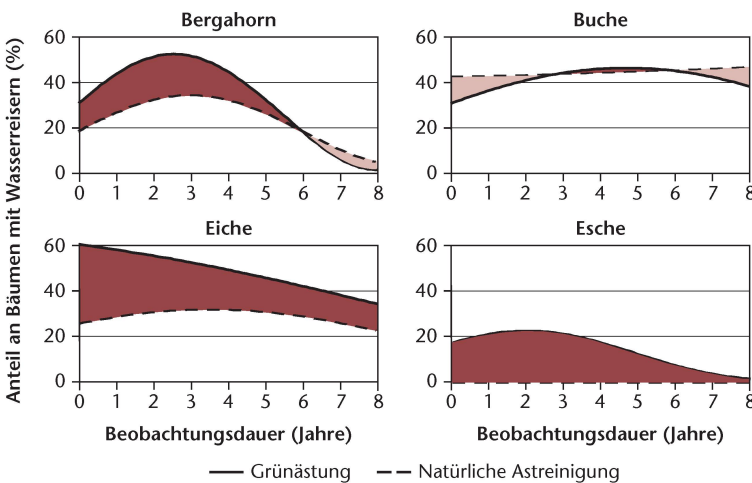


Abb 4 Anteil an Bäumen mit Wasserreisern bei Grünästung und natürlicher Astreinigung über die Zeit.

ten sich von den erhobenen Prädiktoren Baumart und Astdurchmesser als signifikant heraus (siehe auch Dănescu et al 2013).⁴ Ein Likelihood-Ratio-Test ergab, dass sich die Modellqualität durch einen Interaktionsterm aus Baumart und Astdurchmesser gegenüber einem rein additiven Modell deutlich verbessern liess. Das finale Modell zur Vorhersage von Stammverfärbungen nach Grünästung lautet (Gleichung 1):

$$\text{logit}(V_{\text{SH}}) = a_0 + a_1 \text{BA} + a_2 \text{AD} + a_3 \text{BA AD} + \gamma$$

$$(R^2_{\text{marg.}} = 0.3856, R^2_{\text{cond.}} = 0.7279) \quad (1)$$

wobei

V_{SH}: Verfärbungen im Schaftholz (ja/nein)

BA: Baumart

AD: Astdurchmesser

γ: Fehlerterm

Die Modellkoeffizienten für die einzelnen Baumarten sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Wasserreiser

Wasserreiser treten mit Ausnahme der Esche sowohl bei geästeten als auch bei ungeästeten Bäumen auf (Tabelle 4), und der Maximalwert liegt bei allen Kollektiven im selben Kalenderjahr. Beides deutet darauf hin, dass die Wasserreiserbildung nicht alleine auf die Ästung zurückzuführen ist.

Im ersten Beobachtungsjahr ist der Anteil an Bäumen mit Wasserreisern bei der Frühjahrsästung höher als bei der Sommerästung. Die Erhebung der Wasserreiser fand erst im Anschluss an die Sommerästung statt, als die im Frühjahr geästeten Bäume schon mit der Bildung von Wasserreisern reagiert hatten. In den weiteren Analysen stellte sich der Ästungszeitpunkt jedoch als nicht signifikant heraus. Einen signifikanten Einfluss auf die Zielvariable Wasserreiser hatten neben der Beobachtungsdauer der H/D-Wert zu Versuchsbeginn (Gleichung 2a) und bei den geästeten Bäumen ausserdem der mittlere Radialzuwachs während der Beobachtungsdauer (Gleichung 2b).

$$\text{logit}(WR_{\text{NA}}) = a_0 + a_1 \text{HD}_{2004} + a_2 B_t \text{BA} + a_3 B_t^2 \text{BA} + \gamma$$

$$(R^2_{\text{marg.}} = 0.1670, R^2_{\text{cond.}} = 0.9327) \quad (2a)$$

$$\text{logit}(WR_{\text{GA}}) = a_0 + a_1 \text{HD}_{2004} + a_2 I_{\text{Rbt}} + a_3 B_t \text{BA} + a_4 B_t^2 \text{BA} + \gamma$$

$$(R^2_{\text{marg.}} = 0.2560, R^2_{\text{cond.}} = 0.9253) \quad (2b)$$

wobei:

WR: Anteil der Bäume mit Wasserreiser

NA: natürliche Astreinigung

GA: Grünästung

HD₂₀₀₄: H/D-Wert des Baums im Jahr 2004

B_t: Beobachtungsdauer (Jahre)

I_{Rbt}: Radialzuwachs während der Beobachtungsdauer (mm)

Die Modellkoeffizienten sind aus der Tabelle 5 ersichtlich.

⁴ Nur bei der Esche beeinflusst auch der Ästungszeitpunkt die Verfärbung, wobei die Wahrscheinlichkeit bei einer Frühjahrsästung geringer ist.

In Abbildung 4 sind die Modellergebnisse für die geästeten und ungeästeten Bäume gegenübergestellt. Die Fläche zwischen den beiden Kurven lässt sich als Effekt der Grünästung auf die Wasserreiserbildung interpretieren: Beim Bergahorn nimmt der Anteil Bäume mit Wasserreisern nach Grünästung zunächst zu, allerdings gilt dies auch für die Kontrollbäume. Der Unterschied zwischen den Kollektiven

verringert sich rasch, und am Ende des Beobachtungszeitraums liegt der Anteil an Bäumen mit Wasserreisern beim Bergahorn wie auch bei der Esche nahe bei null. Die geästeten Eichen weisen zu Beginn die meisten Bäume mit Wasserreisern auf und liegen auch bei der letzten Beobachtung auf einem höheren Niveau als Bergahorn und Esche. Bei der Buche hat der hohe Anteil an Bäumen mit Wasserreisern sowohl bei den geästeten als auch bei den nicht geästeten Kollektiven im Laufe der Zeit sogar zugenommen.

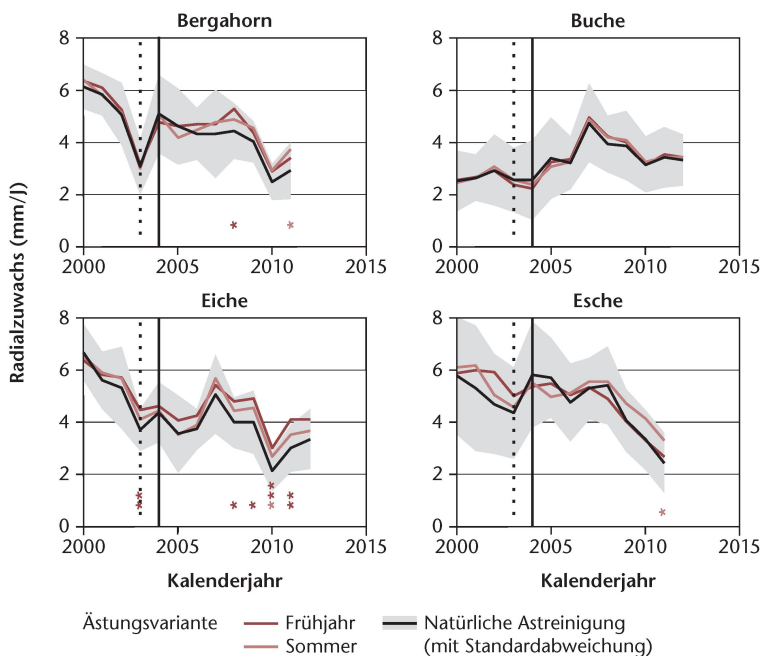


Abb 5 Entwicklung des Radialzuwachses (absolut) der im Frühjahr (dunkelrot) und im Sommer geästeten Kollektive (hellrot) sowie des ungeästeten Kontrollkollektivs (schwarz). *: $0.01 < p \leq 0.05$, **: $0.001 < p \leq 0.01$, *** $p \leq 0.001$.

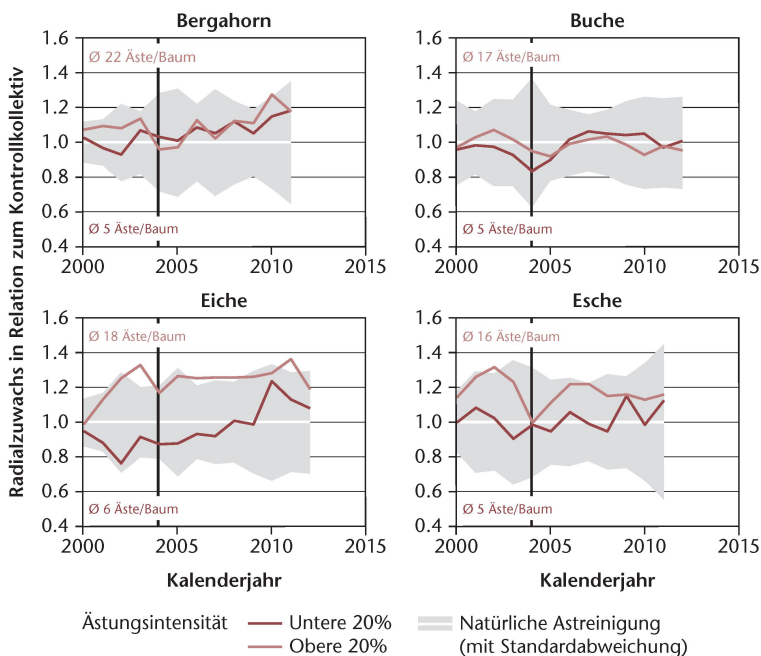


Abb 6 Entwicklung des Radialzuwachses bei unterschiedlicher Ästungsintensität in Relation zum Kontrollkollektiv.

Radialzuwachs

Aufgrund der Nivellierung anhand der Zuwachsmittelwerte der Periode 1998–2002 liegen die Radialzuwächse der drei Kollektive eng beieinander (Abbildung 5). Bei allen vier Baumarten ist zu erkennen, dass das Trockenjahr 2003 den Radialzuwachs stärker beeinflusste als die im Jahr 2004 durchgeführte Grünästung. Ein Zurückbleiben des Radialzuwachses gegenüber dem Kontrollkollektiv ist weder für die im Frühjahr noch für die im Sommer geästeten Bäume festzustellen. Signifikante Abweichungen (Sternsymbole) beschränken sich vielmehr auf positive Zuwachsreaktionen der geästeten Bäume.

Mit Ausnahme der Buche geht der Zuwachs vor der Versuchsanlage (und damit vor der Durchforstung) bei allen Baumarten und Kollektiven zurück, was auf zunehmende Konkurrenz hindeutet. Infolge der Durchforstung im Jahr 2004 stieg der Zuwachs dann an. Besonders deutlich zeigt sich dies bei der Buche, deren Zuwachs bis 2004 konstant niedrig war und die dann entsprechend stark durchforstet wurde.

Kräftige Ästungseingriffe (Abbildung 6, hellrote Linien) führen zu einer stärkeren Zuwachsreduktion als schwächere (dunkelrote Linien), jedoch erreichen auch diese Bäume nach maximal zwei bis drei Jahren wieder ihr ursprüngliches Zuwachsniveau.

Überwallungsdauer

Im Schnitt dauerte es zwischen drei und fünf Jahren, bis in vorliegendem Versuch die Wunden nach Grünästung überwallt waren. Bei natürlicher Astreinigung dauerte eine vollständige Überwallung fast doppelt so lange (Tabelle 6).

Bei der Bildung des GLMM-Modells zeigte sich, dass die beste Modellgüte bei Einbeziehung aller drei Behandlungsvarianten erreicht wird. Da die Effekte (Interzept und Steigung) je nach Baumart unterschiedlich sein können, wurde ein Interaktionsterm zwischen Baumart und Astdurchmesser gebildet. Eine Interaktion zwischen Baumart und Radialzuwachs erwies sich als nicht signifikant. Bei den nicht geästeten Bäumen beeinflusste auch die Totastlänge den Überwallungsprozess. Für das be-

Baumart	Behandlungsvariante	Äste (N)	Astdurchmesser (mm) min-max/ \bar{x}	Überwallungsdauer (Jahre) min-max/ \bar{x}
Bergahorn	Frühjahr	121	10–65/27.8	2–8/3.4
	Sommer	98	9–76/29.4	1–7/3.3
	nat. Astr.	57	7–30/17.6	2–12/6.0
Buche	Frühjahr	146	15–80/37.4	2–9/5.0
	Sommer	111	16–77/35.0	1–8/4.5
	nat. Astr.	71	8–38/20.6	3–18/8.3
Eiche	Frühjahr	78	13–67/30.5	2–8/4.4
	Sommer	72	11–55/31.0	1–7/3.5
	nat. Astr.	50	9–35/18.4	3–11/7.1
Esche	Frühjahr	68	7–60/29.1	1–6/2.8
	Sommer	59	6–65/29.4	1–6/3.0
	nat. Astr.	46	7–33/16.4	2–9/5.3

Tab 6 Überwallungsdauer nach Baumart und Behandlungsvariante (nur überwallte Äste). Anzahl und Durchmesser der Äste weichen gegenüber Tabelle 1 etwas ab, da die Überwallungsdauer nicht an allen Astproben bestimmt werden konnte.

Regressionsparameter	Prädiktoren	Koeffizienten
a_0	Intercept	1.1411
a_1	BV_{So}	-0.0620
	BV_{NA}	0.5873
a_2	BA_{Bu}	0.3444
	BA_{Ei}	0.4787
	BA_{Es}	-0.0897
a_3	AD	0.0189
a_4	I_{RUD}	-0.1015
a_5	AL_T	0.0066
a_6	$AD \times BA_{Bu}$	-0.0076
	$AD \times BA_{Ei}$	-0.0146
	$AD \times BA_{Es}$	-0.0003

Tab 7 Koeffizienten der fixen Effekte für die Vorhersage der Überwallungsdauer (Gleichung 3). BV: Behandlungsvariante, So: Sommerästung, NA: natürliche Astreinigung, BA: Baumart, Bu: Buche, Ei: Eiche, Es: Esche, AD: Astdurchmesser, I_{RUD} : Radialzuwachs während der Überwallungsdauer, AL_T : Totastlänge.

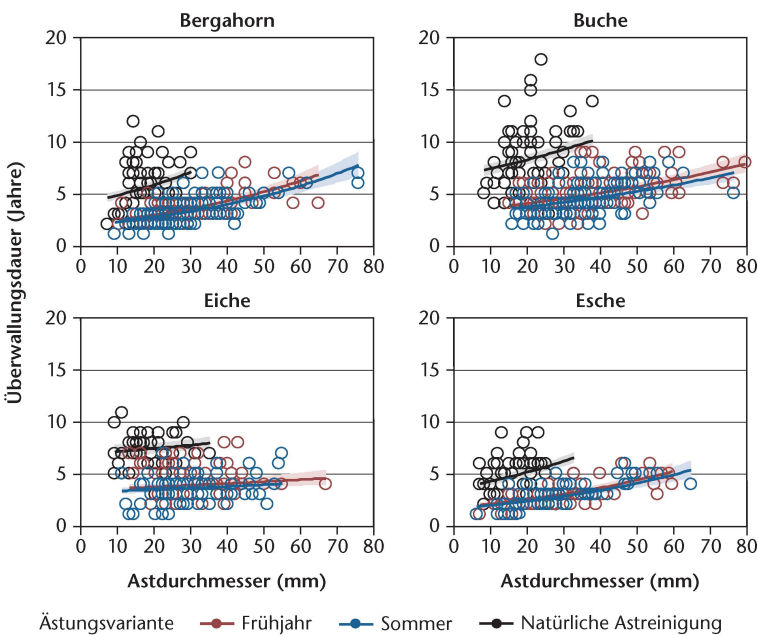


Abb 7 Zusammenhang zwischen Überwallungsdauer und Astdurchmesser.

handlungsübergreifende Gesamtmodell wurde die Totastlänge bei den geästeten Bäumen auf null gesetzt.

Das für alle drei Behandlungsvarianten erstellte Modell lautet:

$$\ln(UD) = a_0 + a_1 BV + a_2 BA + a_3 AD + a_4 I_{RUD} + a_5 AL_T + a_6 AD \times BA + \gamma \quad (3)$$

$(R^2_{\text{marg.}} = 0.291, R^2_{\text{cond.}} = 0.342)$

wobei:

UD: Überwallungsdauer (Jahre)

BV: Behandlungsvariante

BA: Baumart

AD: Astdurchmesser

I_{RUD} : Radialzuwachs während der Überwallungsdauer (mm)

AL_T : Totastlänge (mm)

Die Modellkoeffizienten sind in Tabelle 7 zusammengestellt.

Abbildung 7 verdeutlicht die zeitlich stark verzögerte Überwallung bei natürlicher Astreinigung gegenüber Grünästung. Hier fällt insbesondere die Buche auf, die bei Astdurchmessern von nur 2.5 cm zur vollkommenen Überwallung bis zu 18 Jahre benötigte. Nach den Modellergebnissen dauert die Überwallung bei Grünästung und Aststärken von 3 cm etwa drei bis fünf, bei natürlicher Astreinigung dagegen sieben bis neun Jahre.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Im Zusammenhang mit einer Grünästung ist die Furcht vor einer Infektion der Astwunden mit holzerstörenden Pilzen naheliegend (z.B. Metzler 1997, Barry et al 2005). Um diese Gefahr gering zu halten, findet man häufig die Empfehlung, keine Äste dicker als 3 cm zu entfernen (z.B. Zimmerle 1943, FVA BW 2000, Springmann et al 2011b) und Ästungen ausserhalb der Saftzeit zu vermeiden (Mayer-Wegelin 1952, Soutrenon 1991). Hochbichler et al (1990) sehen die Gefahr einer Fäulebildung oder Verfärbung bei der Eiche bis zu Astdurchmessern von 4 bis 6 cm dagegen als unbedeutend. In der vorliegenden Untersuchung wurde unabhängig vom Ästungszeitpunkt auch an Ästen über 6 cm Durchmesser keine Fäule im Stammholzbereich festgestellt, ein Befund, der sich mit Ergebnissen anderer Arbeiten (z.B. Wang et al 2016), deckt. Die bei geästeten Eschen generell hohe und bei Eichen ab Astdurchmessern von mehr als 4 cm zunehmende Empfindlichkeit gegenüber Stammholzverfärbungen ist holztechnologisch unproblematisch, weil sich die Verfärbungen auf den asthaltigen Kern beschränken (s. auch Dănescu 2015), der für höherwertige Schnittholzprodukte ohnehin herausgetrennt wird. Prinzipiell kann zwar nicht ausgeschlossen werden, dass sich aus den verfärbten Bereichen heraus Faulstellen entwickeln, nach Dujesiefken et al (1991) sind die verfärbten Zonen jedoch als lokale Abschottung zu

sehen und Fäule eher die Folge einer schlechten Ästungsqualität (Soutrenon 1990).

In Bezug auf Wasserreiser stellten sich Eiche und Buche in dieser Untersuchung als besonders empfindlich heraus. Für die Entstehung von Wasserreisern werden neben einer baumartenspezifischen Disposition (Hein 2003) Lichteinflüsse und Stressfaktoren verantwortlich gemacht (Colin et al 2008, Alcorn et al 2008). Neben der Grünästung wirken auch die erfolgten Durchforstungen als Stressfaktor und erklären vermutlich die Wasserreiserbildung an den Kontrollbäumen.⁵ Es ist bekannt, dass der Wasserreiserbesatz nach Grünästung (Hochbichler et al 1990) wie auch nach Freistellung (Klädtko 2002) zunächst zu-, dann in der Regel aber wieder abnimmt, wenn die Eingriffe frühzeitig erfolgen und das Kronenexpansionspotenzial der Bäume noch hoch ist. Dies steht auch in Einklang mit den hier vorgestellten Befunden. Auf eine Durchforstung zu verzichten, um die Gefahr einer Wasserreiserbildung zu verringern wäre verkehrt, weil geästete Bäume unter Umständen durch konkurrenzstarke Nachbarn unter Druck geraten könnten. Da die Neigung zur Wasserreiserbildung baumindividuell sehr unterschiedlich ist (Spiecker 1991), wird empfohlen, bei der Auswahl der zu ästenden Bäume besonders sorgfältig auf dieses Kriterium zu achten.

Der Befund, dass der Radialzuwachs nicht signifikant durch die Grünästung reduziert wurde, ist wohl auf die insgesamt eher moderate Ästungsintensität zurückzuführen. Für die Eiche stellten Hochbichler et al (1990) fest, dass bis zu einer Entnahme von 50% der grünen Krone keine Zuwachsreduktion stattfindet. Der Höhenzuwachs der Bäume wurde in dieser Untersuchung nicht analysiert, jedoch wirkt sich nach Arbeiten von Kupka (2007) und Springmann (2011a) eine Grünästung stärker auf den Radialzuwachs als auf den Höhenzuwachs aus.

Die Überwallungsdauer spielt vor allem im Hinblick auf eine Infektion durch Pilze oder den Eintritt von Luftsauerstoff (Buche) eine wichtige Rolle. Bei den vier untersuchten Baumarten zeigte sich, dass die Überwallung nach Grünästung fast doppelt so schnell erfolgt wie bei natürlicher Astreinigung. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch Zieren (1970) und Hochbichler et al (1990) für die Eiche, Hein (2004) für die Buche und Hein & Spiecker (2007) für den Bergahorn und die Esche. Da neben dem Astdurchmesser auch der Radialzuwachs die Überwallungsdauer beeinflusst, leitet sich auch hieraus die Empfehlung ab, möglichst vitale Bäume für die Ästung auszuwählen und die geästeten Bäume freizustellen.

⁵ Bei der Modellbildung ergab sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen Wasserreiserbildung und den erhobenen Konkurrenzindizes, was wohl daran lag, dass die Konkurrenzsituation vor Durchforstung nicht erfasst worden und der tatsächliche Freistellungseffekt somit nicht bekannt war.

Über alle ausgewerteten Merkmale hinweg zeigte sich, dass der Ästungszeitpunkt nur eine untergeordnete Rolle spielt. Lediglich die Überwallungsdauer war bei den im Sommer geästeten Bäumen geringfügig kürzer, und bei den Stammverfärbungen zeigte sich bei der Esche eine etwas geringere Empfindlichkeit bei Frühjahrsästung. Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass aufgrund des Eschentriebsterbens bei dieser Baumart derzeit weder Z-Baum-Auswahl noch Grünästung zu empfehlen sind (Metzler et al 2013). Die insgesamt positiv zu bewertenden Ergebnisse dieser Untersuchung sind nicht zuletzt auch auf die sehr sorgfältige Durchführung der Ästung zurückzuführen, insbesondere auf die Verwendung des Distelleitersystems und einer flexiblen Handsäge, die einen astindividuellen Schnittwinkel ermöglicht und eine Verletzung des Astkragens zu vermeiden hilft (Shigo 1991). ■

Eingereicht: 19. September 2016, akzeptiert (mit Review): 23. Dezember 2016

Dank

Wir danken Forstwirtschaftsmeister Oswald Keller für die sorgfältige Durchführung der Ästung.

Literatur

- AGRESTI A (2002) *Categorical Data Analysis*. New York: Wiley.
- ALCORN PJ, BAUHUS J, THOMAS DS, JAMES RN, SMITH RG, ET AL (2008) Photosynthetic response to green crown pruning in young plantation-grown *Eucalyptus pilularis* and *E. cloeziana*. *For Ecol Manage* 255: 3827–3838.
- BARRY KM, HALL MF, MOHAMMED CL (2005) The effect of time and site on incidence and spread of pruning-related decay in plantation-grown *Eucalyptus nitens*. *Can J For Res* 35: 495–502.
- COLIN F, ROBERT N, DRUELLE JL, FONTAINE F (2008) Initial spacing has little influence on transient epicormic shoots in a 20-year-old sessile oak plantation. *Ann For Sci* 65: 508.
- DĂNESCU A (2013) Modelling branch and tree characteristics of artificially and naturally pruned ash (*Fraxinus excelsior* L.) and sycamore (*Acer pseudoplatanus* L.) trees. Freiburg i.Br.: Albert-Ludwigs Univ, Chair of Silviculture, Master's thesis. 98 p.
- DĂNESCU A, EHRING A, BAUHUS J, ALBRECHT A, HEIN S (2015) Modelling discoloration and duration of branch occlusion following green pruning in *Acer pseudoplatanus* and *Fraxinus excelsior*. *For Ecol Manage* 335: 87–98.
- DUJESIEFKEN D, PEYLO A, LIESE W (1991) Einfluss der Verletzungszeit auf die Wundreaktionen verschiedener Laubbäume und der Fichte. *Forstwiss Cent.bl* 110: 371–380.
- FVA BW (2000) Wertästung. Freiburg i.Br.: Forstliche Versuchs- und Forsch.anstalt Baden-Württemberg, Merkbl 20. 6 p.
- HEIN S (2003) Zur Steuerung von Astreinigung und Dickenwachstum bei Esche (*Fraxinus excelsior* L.) und Bergahorn (*Acer pseudoplatanus* L.). Freiburg i.Br.: Albert-Ludwigs-Univ, Dissertation. 264 p.
- HEIN S (2004) Ästungsqualität und Wachstumsreaktion bei Buche (*Fagus sylvatica* L.). Deutscher Verband forstl Forsch.anstalten – Sektion Ertragskunde, Jahrestagung 2004 – Stift Schlägl, Mai 2004: 69–76.

- HEIN S, SPIECKER H (2007) Comparative analysis of occluded branch characteristics for *Fraxinus excelsior* and *Acer pseudoplatanus* with natural and artificial pruning. *Can J For Res* 37: 1414–1426.
- HOCHBICHLER E, KRAPPENBAUER A, MAYRHOFER F (1990) Ein Pflegemodell für Eichenjungbestände – Grünästung, eine wirtschaftliche Problemlösung der Wertholzproduktion. *Cent.bl ges Forstwes* 107: 1–12.
- KLÄDTKE J (2002) Wachstum grosskroniger Buchen und waldbauliche Konsequenzen. *Forstarchiv* 73: 211–217.
- KUPKA I (2007) Growth reaction of wild cherry (*Prunus avium* L.) trees to pruning. *J For Sci* 53: 555–560.
- LEFCHECK JS (2015) Piecewise SEM: Piecewise structural equation modeling in R for ecology, evolution, and systematics. *Methods Ecol Evol* 7: 573–579.
- MAYER-WEGELIN H (1952) Das Aufasten der Waldbäume. Hannover: Schaper. 92 p.
- MCCULLAGH P, NELDER JA (1989) Generalized Linear Models. London: Chapman and Hall. 508 p.
- METZLER B (1997) Quantitative assessment of fungal colonization in Norway spruce after green pruning. *Eur J For Pathol* 27: 1–11.
- METZLER B, BAUMANN M, BAIER U, HEYDECK P, BRESSEM U ET AL (2013) Handlungsempfehlungen beim Eschentriebsterben. *AFZ/Der Wald* 68 (5): 17–20.
- MLR BADEN-WÜRTTEMBERG (2014) Richtlinien landesweiter Waldentwicklungstypen. Stuttgart: Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg. 116 p.
- SHIGO AL (1991) Baumschnitt. Braunschweig: Bernhard Thalacker. 192 p.
- SOUTRENON A (1991) Elagage artificiel et risques phytosanitaires chez les feuillus. Grenoble: CEMAGREF. 103 p.
- SPIECKER H (1991) Zur Steuerung des Dickenwachstums und der Astreinigung von Trauben- und Stieleichen (*Quercus petraea* [Matt.] Liebs. und *Quercus robur* L.). Stuttgart: Landesforstverwaltung Baden-Württemberg. 155 p.
- SPRINGMANN S, ROGERS R, SPIECKER H (2011A) Impact of artificial pruning on growth and secondary shoot development of wild cherry (*Prunus avium* L.). *For Ecol Manage* 261: 764–769.
- SPRINGMANN S, MORHART C, SPIECKER H (2011B) Leitfaden zur Ästung von Edellaubbaumarten. Freiburg i.Br.: Albert-Ludwigs Univ, Institut für Waldwachstum. 9 p.
- VENABLES WN, RIPLEY BD (2002) Modern applied statistics with S. New York: Springer, 4 ed. 495 p.
- WANG CS, HEIN S, ZHAO ZG, GUO JJ, ZENG J (2016) Branch occlusion and discoloration of *Betula alnoides* under artificial and natural pruning. *For Ecol Manage* 375: 200–210.
- ZIEREN A (1970) Zur Ästung von Esche und Eiche. *AFZ/Der Wald* 23 (13): 471.
- ZIMMERLE H (1943) Über Ästungsversuche bei der Rotbuche. *Allg Forst Jagdztg* 119: 88–104.
- ZÜMER M (1966) Ästungsversuche an Föhre, Fichte, Birke, Aspe, Esche und Eiche. *Meddelelser fra det Norske Skogforsøksvesen* 77: 581.

Résultats d'un essai d'élagage artificiel sur des érables, hêtres, chênes et frênes

L'objet de cet article est un essai d'élagage artificiel sur des érables, des hêtres, des chênes et des frênes dans l'Allemagne du Sud-Ouest, qui a commencé en 2004. Le but était de quantifier les effets de l'élagage sur la pourriture du bois, la décoloration, la formation de gourmands, la croissance radiale et le temps d'occlusion. Les surfaces expérimentales ont été placées dans des perchis avec une hauteur dominante de 8 à 14 m, dans lesquels la phase de qualification n'était pas encore été terminée. Dans chaque parcelle, environ dix arbres ont été élagués au printemps et en été respectivement, en coupant en moyenne 40% de la cime verte et des branches jusqu'à 80 mm de diamètre. Pour la variante de contrôle, dix arbres non élagués ont été choisis dans chaque parcelle et ont été, comme les arbres élagués, dégagés de leurs concurrents. En 2011, et respectivement en 2012, les arbres ont été abattus et mesurés. Des échantillons de bois avec branches ont été pris et analysés. Les résultats montrent que l'élagage artificiel n'a pas provoqué de pourriture du bois. Comparé aux arbres de contrôle, une décoloration augmentée a été observée dans les tiges élaguées. Cependant, la décoloration s'est limitée au centre nouveau du tronc et est ainsi sans conséquence pour l'utilisation du bois. L'élagage artificiel a intensifié la formation de branches gourmandes, mais, mis à part pour le chêne, cet effet a décliné pour rejoindre le niveau des arbres de contrôle encore pendant le temps de l'essai. La croissance radiale montre une diminution à court terme en raison de l'élagage artificiel, mais avec une importance non significative et en dessous de l'effet de l'année de sécheresse en 2003. Pour des diamètres de branche de 3 à 4 cm, les arbres élagués avaient besoin de trois à cinq ans jusqu'à ce que les plaies soient occluses, alors qu'environ neuf ans étaient nécessaires pour les arbres avec l'élagage naturel.

Results of a green pruning experiment with maple, beech, oak, and ash

Object of the investigation is a pruning experiment in maple, beech, oak and ash stands in southwest Germany, which started in 2004. Aim of the experiment was to quantify the effects of green pruning on wood decay, discoloration, epicormic shoot formation, radial increment, and occlusion time. At top heights of 8–14 m, trials for each species were placed in stands where the natural pruning had not yet reached the achieved knot-free bole length. In each trial, ten trees were pruned in spring and summer respectively, by cutting 40% of the crown in average and branches up to 80 mm diameter. Additionally, ten unpruned trees were selected on each trial and, as the pruned trees, released from competitors. In 2011 and 2012 respectively, the trees were felled and measured, and wood samples with branches were taken and analysed. Results show that green pruning did not cause any wood decay. Compared to the control trees, increased discoloration was observed in the stems of the pruned trees. However, this was limited to the knotty center of the trunk and did not diffuse to the knotless part. Pruning intensified the formation of epicormic branches, but, except for oak, these branches diminished to the level of the control trees already during the time of observation. Radial increment shows a short-term decrease due to the green pruning, but with an extent below the effect of the dry year in 2003. With branch diameters of 3–4 cm, the pruned trees needed three to five years until the branching wounds were occluded, whereas about nine years were necessary for trees with natural pruning.