



1 Mit Hilfe eines Laserscanners wurden die dreidimensionalen Kronenstrukturen erfasst und verschiedene Kronenparameter berechnet. Foto: Luke Bohnhorst

In Mitteleuropa sind Wälder zunehmend von Lücken im Kronendach betroffen (Senf and Seidl 2021). Diese sind oft die Folge von Störungen, die durch Stürme, Insekten oder Brände sowie durch die Bewirtschaftung der Wälder selbst verursacht werden (Lindner et al. 2010, Seidl et al. 2018). Insbesondere Dürren könnten sich negativ auf die Entwicklung der Randbäume und schließlich auf den gesamten Bestand auswirken. Um eine zielgerichtete Bewirtschaftung zu unterstützen, sind jedoch mehr Kenntnisse über die Entwicklung und Anpassungsfähigkeit der Krone und ihrer Auswirkungen auf das Grundflächenwachstum von Bäumen am Rand einer Lücke erforderlich. Aus diesen Gründen wurde im Rahmen des Projektes »Wie anpassungsfähig sind Bäume und Bestände im Hinblick auf Trockenstress? (klifW006)« das Akklimatisierungspotenzial (Anpassungspotenzial) von Fichten, Kiefern, Tannen, Buchen und Eichen an Waldinnenrändern untersucht.

2 Übersicht zu Charakteristika der untersuchten Bäume. Dargestellt ist der Mittelwert sowie die Standardabweichung.

Baumart	Bestandsalter [Jahre]	Anzahl Bäume	Klasse	BHD [cm]	Baumhöhe [m]	Kronenlänge [m]	Kronenradius [m]
Gemeine Fichte	47–161	65	Bestand	45,2 ± 12,5	33,2 ± 6,7	16,3 ± 4,1	4,1 ± 1,0
		57	Rand	46,5 ± 12,0	32,8 ± 6,0	18,8 ± 4,4	4,6 ± 1,1
Weißtanne	77–161	7	Bestand	47,8 ± 6,2	31,6 ± 3,5	17,5 ± 8,2	5,5 ± 0,6
		5	Rand	51,2 ± 10,2	30,4 ± 5,7	18,2 ± 5,2	5,7 ± 1,0
Waldkiefer	53–129	14	Bestand	32,6 ± 6,8	24,2 ± 1,5	10,2 ± 2,5	4,3 ± 1,3
		14	Rand	32,4 ± 8,5	23,1 ± 2,1	11,2 ± 3,2	4,8 ± 1,3
Rotbuche	62–173	43	Bestand	40,4 ± 9,0	32,9 ± 3,2	18,1 ± 3,9	6,1 ± 1,4
		24	Rand	45,3 ± 9,1	33,5 ± 3,1	22,8 ± 5,8	6,6 ± 1,4
Eiche	135–146	10	Bestand	54,7 ± 14,2	34,7 ± 3,5	14,3 ± 4,4	6,9 ± 1,8
		10	Rand	56,9 ± 15,4	34,4 ± 3,4	16,2 ± 4,4	7,5 ± 2,5

Wie Waldinnenränder Kronenentwicklung und Zuwächse beeinflussen

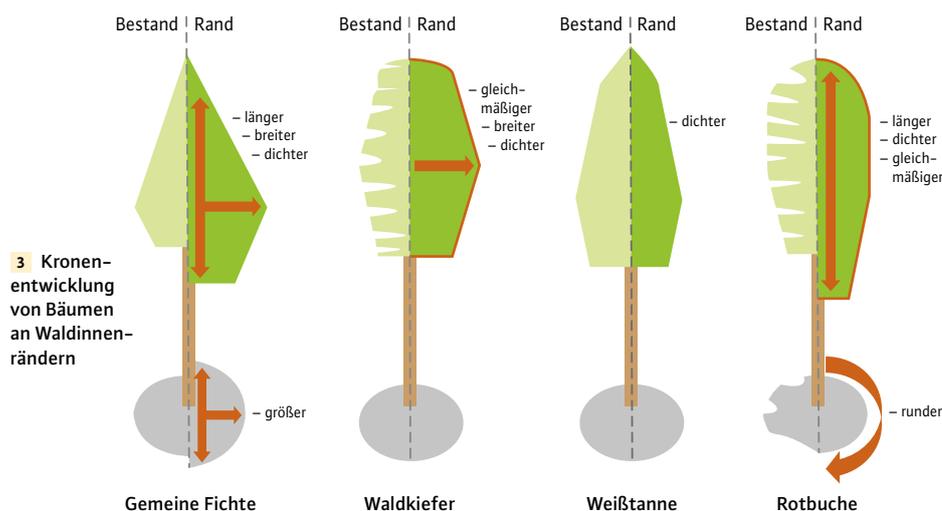
Luke Bohnhorst, Hans Pretzsch

Bäume am Waldrand wachsen unter besonderen Bedingungen: Sie erhalten mehr Sonnenlicht, sind aber auch stärkeren Umwelteinflüssen wie Trockenheit und Wind ausgesetzt. Diese äußeren Einflüsse zwingen Randbäume dazu, spezielle Anpassungsstrategien zu entwickeln. Doch wie wirken sich diese Herausforderungen auf das Wachstum und die Krone von Bäumen am Rand einer Lücke aus?

Methode

Untersucht wurde die Kronenstruktur und das Wachstum von Bäumen am Rand einer Lücke mit einer Mindestgröße von mehr als 80 m² (mindestens 10 Meter Durchmesser) und mit Bäumen im Bestand verglichen, die mindestens 30 m von der Lücke entfernt waren. Insgesamt wurden 249 Bäume der Arten: Gemeine Fichte (*Picea abies*), Waldkiefer (*Pinus sylvestris*), Weißtanne (*Abies alba*), Rotbuche (*Fagus sylvatica*) und Eiche (*Quercus petraea*, *Quercus robur*) auf langfristigen Versuchsflächen der LWF in Süddeutschland (Bayern) untersucht. Die Lücken waren bis zu ca. 1,4 ha groß und bis zu 20 Jahre alt. In Abhängigkeit des Lückenalters waren die Lücken mit bis zu ca. 10 m hoher Naturverjüngung wieder geschlossen. Mithilfe hochauflösender terrestrischer Laserscans (TLidar) wurden die dreidimensionalen Kronenstrukturen erfasst und verschiedene Kronenparameter (Volumen, Breite, Länge, Dichte, etc.) berechnet. Anhand von Jahrringen

wurde die Zuwachsentwicklung zwischen Rand- und Bestandsbäumen analysiert. Statistische Modelle wurden angewendet, um den Grundflächenzuwachs von Randbäumen im Vergleich zu Bäumen im Bestand unter durchschnittlichen und trockenen Bodenfeuchtebedingungen nach der Entstehung der Lücke zu modellieren. Die Bodenfeuchtigkeit wurde anhand des Bodenfeuchtigkeitsindex (SMI) bestimmt, welcher neben Niederschlag und Temperatur unter anderem auch die Bodenart und Hangneigung berücksichtigt (Samaniego et al., 2013). Zudem wurden die verschiedenen Kronenparameter auf signifikante Unterschiede zwischen Rand- und Bestandsbäumen getestet. Die Annahme war, dass sich die Kronen der Randbäume signifikant von denen der Bäume im Bestand unterscheiden und dass alle Baumarten am Rand der Lücke von höheren Zuwächsen profitieren und stärker unter Trockenstress leiden als die Bäume im Bestand.



Entwicklung der Krone von Randbäumen

Fichten, Kiefern, Tannen und Buchen weisen am Rand einer Lücke – im Vergleich zum Bestand – signifikante Formveränderungen der Krone auf (Abbildung 3). Aufgrund der geringeren Konkurrenz können sich Randbäume in die Lücke ausbreiten. Randbäume reichern mehr Biomasse in ihren Kronen an und weisen baumartenspezifische Anpassungen der Krone an die Lücke auf.

Die Kronen der untersuchten Randbäume von Fichten passen sich durch die Ausbildung neuer Äste und Zweige an die neuen Lichtverhältnisse an und bilden innerhalb von 20 Jahren im Durchschnitt 80 cm breitere und 2,4 m längere Kronen aus. Dadurch erhöhen sie ihre Kronenschirmfläche um rund 5 m² und haben insgesamt dichtere bzw. weniger transparente Kronen. Kiefern hingegen weisen im Vergleich zum Bestand rund 1,1 m breitere Kronen auf und bilden ein gleichmäßigeres, regelmäßigeres und weniger zerklüftetes Seitenprofil der Krone aus. Tannen bilden an Waldrändern signifikant dichtere Kronen aus.

Laubbäume bilden jedes Jahr neue Blätter aus und können sich schneller an die veränderten Lichtverhältnisse in der Lücke anpassen. Buchen können, im Gegensatz zu Fichten, eine sekundäre Krone durch neue Äste am Stamm ausbilden (Wasserreiser) und weisen an Waldrändern durchschnittlich 2,7 m längere Kronen auf. Zudem bilden sie durch neue Äste kompaktere sowie insgesamt rundere Kronen mit einem gleichmäßigeren, weniger zerklüfteten Seitenprofil aus.

Entwicklung des Zuwachses von Randbäumen

Nach der Lückenbildung reagieren die untersuchten Baumarten mit unterschiedlichen Zuwachsdynamiken und entsprechenden Grundflächenzuwächsen auf die veränderten Umweltbedingungen. Während einige Baumarten kurzfristig von der Lücke profitieren und höhere Zuwächse als die Bäume im Bestand (Abbildung 4, gestrichelte Linie) verzeichnen, weisen andere Arten unter durchschnittlichen Bodenfeuchtigkeitsbedingungen (Abbildung 4 blaue Linie) im Vergleich zum Bestand geringere Zuwächse auf. Aufgrund der geringeren Konkurrenz um Licht, Wasser und Nährstoffe können Randbäume potenziell mehr Photosynthese betreiben und im Vergleich zum Bestand höhere Zuwächse aufweisen (Schliemann and Bockheim, 2011; Wimalasekera, 2019). Allerdings kann es in Folge der Lücke auch zu einer stressbedingten Wachstumsdepression kommen (Girona et al., 2017; Riopel et al., 2010; Roy et al., 2022).

Nach der Lückenbildung weisen Buchen an Waldinnenrändern im Vergleich zu Bestandsbäumen 45%, Kiefern 35% und Eichen 26% höhere Zuwächse (breitere Jahrringe) auf. Während Fichten kaum Unterschiede zeigen und Tannen am Lückenrand gegenüber Bestandsbäumen um 60% im Zuwachs zurückbleiben. Diese Zuwächse von Fichte und Tanne können teilweise auf die Anpassung der Nadeln an die Lichtverhältnisse der Lücke sowie allgemein auf die Anpassung der Krone (Ressourcenverteilung) zurückgeführt werden.

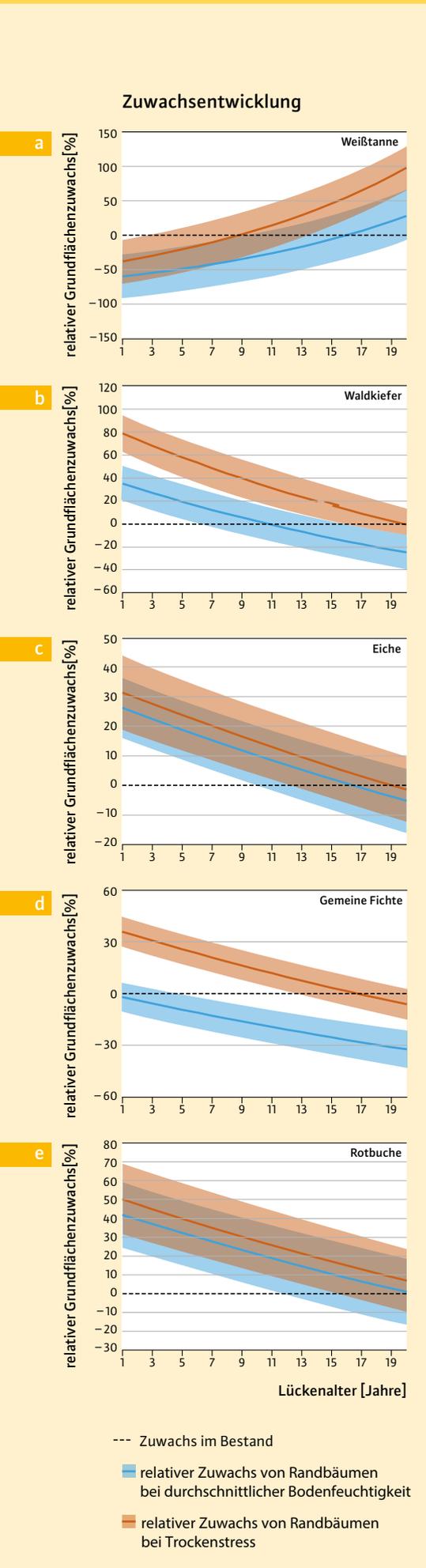
Im Gegensatz dazu sind die Nadeln der Kiefer als Lichtbaumart bereits an höhere Lichtverhältnisse angepasst. Buchen und Eichen können sich jedes Jahr neu an die aktuellen Lichtverhältnisse anpassen. Tannen können sich mit zunehmendem Lückenalter an die Waldrandsituation anpassen und erreichen nach rund 15 Jahren das Zuwachsniveau der Bäume im Bestand und profitieren dann ebenfalls von der Lücke (Abbildung 4a). Aufgrund aufkommender Naturverjüngung bzw. steigender Konkurrenz um Licht, Wasser und Nährstoffe nehmen mit zunehmendem Lückenalter die potenziellen Zuwachspotentiale von Buche, Kiefer und Eiche mit der Zeit weiter ab. Die geringen Zuwächse insbesondere der Fichten deuten jedoch nicht zwangsläufig auf eine fehlende Anpassungsfähigkeit der Baumart an die Lücke hin, sondern können auch mit einer veränderten Zuwachsallokation (Ressourcenverteilung) in Wurzeln und Kronen im Zusammenhang stehen.

Unter durchschnittlichen Klimabedingungen können Kiefern, Buchen und Eichen rund 20 Jahre von der Lücke hinsichtlich ihres Zuwachses profitieren, während Tannen erst nach 15 Jahren das Zuwachsniveau der Bäume im Bestand wieder erreichen.

Trockenstressreaktion von Randbäumen

Unter Trockenstress kommen insbesondere die Nadelbaumarten Fichte, Kiefer und Tanne an Waldinnenrändern besser mit der geringen Wasserverfügbarkeit zurecht (Abbildung 4, rote Linie) und profitieren stärker von der Lücke als unter durchschnittlichen Bodenfeuchtigkeitsbedingungen. Unter Trockenheit weisen diese drei Baumarten im Gegensatz zu den Buchen und Eichen signifikant höhere Zuwächse als die Bäume im Bestand auf. Die beiden Laubbäume profitieren unabhängig von den Bodenfeuchtigkeitsbedingungen in ihrem Zuwachs von der Lückenbildung.

Fichten weisen am Rand einer Lücke bis zu 35%, Kiefern bis zu 79%, Buchen bis zu 45% und Eichen bis zu 26% höhere Zuwächse als im Bestand bei Trockenstress auf (vgl. Abbildung 4). Lediglich die Tanne weist bis zu 40% geringere Zuwächse als die Bäume im Bestand auf, reduziert ihren Zuwachs aber um rund 20% weniger als unter durchschnittlichen Bodenfeuchtigkeitsbedingungen (Abbildung 4a, blaue Linie).



Wie zuvor unter durchschnittlichen Bodenfeuchtigkeitsbedingungen beschrieben, nehmen mit zunehmendem Lückentalter die Zuwachspfröte der untersuchten Baumarten ab. Nach rund 20 Jahren können sich Lücken durch stehende Naturverjüngung wieder schließen und Kiefern, Buchen sowie Eichen weisen wieder einen vergleichbaren Zuwachs wie die Bäume im Bestand auf. Durch die Lückenbildung reduziert sich die Trockenstressreaktion für Fichten, Kiefern und Tannen signifikant und führt im Vergleich zum Bestand zu zeitweisen Zuwachspfröten. Diese Ergebnisse deuten in Abhängigkeit der Baumart auf einen positiven Effekt von Lücken bzw. geringeren Bestandsdichten auf die Trockenstressreaktion von Bäumen hin. Allerdings wird der Effekt von reduzierten Bestandsdichten bei Trockenheit noch erforscht und aktuell kontrovers diskutiert (Mathes et al., 2024).

Konsequenzen für den Waldbau

Die Untersuchung hat gezeigt, dass sich Bäume am Rand einer Lücke baumartenspezifisch entwickeln. Die Anpassungen in der Kronenstruktur sowie die Auswirkungen auf den Zuwachs sollten deshalb bei waldbaulichen Verfahren berücksichtigt werden. Lückenähnliche Öffnungen des Kronendachs können beispielsweise durch Saum- oder Femelhieb hervorgerufen werden und können einzelnen Baumarten ermöglichen, früher ihren Ziel-durchmesser zu erreichen. Dieser Profit ist jedoch durch das Lückentalter zeitlich begrenzt.

Zudem deuten die Ergebnisse darauf hin, dass insbesondere die untersuchten Nadelbaumarten am Rand einer Lücke weniger empfindlich auf Trockenstress reagieren. Eine Reduzierung der Bestandsdichte könnte daher positive Effekte auf die Zuwächse von Bäumen bei Dürre haben. Andererseits kann sich die Lücke durch die Anpassung der Krone, durch die Ausbildung einer Sekundärkrone oder der Akkumulation von Biomasse in der Krone negativ auf die Holzqualität auswirken (Longuetaud et al., 2008; Seifert, 2003). Zudem können insbesondere

größere Lücken die Randbäume anfälliger für nachfolgende Stürme bzw. Windwurf machen (Wallentin and Nilsson, 2014). Des Weiteren können unregelmäßige Jahrringbreiten zu Verzerrungen im Holz führen (Pretzsch and Rais, 2016).

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde festgestellt, dass sich Fichte, Kiefer, Tanne, Buche und Eiche in ihrer Kronenstruktur und ihrem Zuwachs baumartenspezifisch an Wald-ränder anpassen. Aufgrund der verringerten Konkurrenz um Licht, Wasser und Nährstoffe bilden Bäume an Waldinnenrändern breitere, längere und dichtere Kronen aus, wobei sie auch mehr Biomasse in der Krone anreichern. Buchen, Kiefern und Eichen profitieren am Rand einer Lücke mit höheren Zuwächsen als im Bestand, während Fichten und Tannen zunächst geringere Wachstumsraten aufweisen. Dies ist auf unterschiedliche Anpassungsstrategien und die Fähigkeit der Baumarten zurückzuführen, auf veränderte Lichtverhältnisse zu reagieren. Mit zunehmendem Alter der Lücken nimmt jedoch die Konkurrenz durch aufkommende Naturverjüngung zu, wodurch sich die anfänglichen Wachstumsgewinne mit der Zeit wieder reduzieren. Unter Trockenstress profitieren vor allem Kiefern und Fichten und weisen geringere Zuwachsverluste als im Bestand auf. Die Laubbäume profitieren in ihrem Zuwachs unabhängig von den klimatischen Bedingungen. Lücken können somit das Wachstum bestimmter Baumarten fördern und zeitweise deren Trockenstressreaktion verbessern. Allerdings bergen Lücken auch Risiken wie eine verschlechterte Holzqualität oder höhere Sturmanfälligkeit.

Literatur

Das Literaturverzeichnis finden Sie unter www.lwf.bayern.de in der Rubrik »Publikationen«

Projekt

Das Projekt »Wie anpassungsfähig sind Bäume und Bestände im Hinblick auf Trockenstress« (klifWoo6) (Laufzeit 01.03.2021–31.08.2024) wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus finanziert.

Autoren

Luke Dennis Bohnhorst ist Mitarbeiter am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München und bearbeitete das Projekt »klifWoo6: Wie anpassungsfähig sind Bäume und Bestände im Hinblick auf Trockenstress?«. Prof. Dr. Hans Pretzsch war Leiter des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde an der Technischen Universität München. **Kontakt:** luke.bohnhorst@tum.de

Link

Gesamte Veröffentlichung in englischer Sprache: <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2024.100219>.

4 Entwicklung des Zuwachses von Bäumen am Rand einer Lücke im Verhältnis zu Bäumen im geschlossenen Bestand