
Überlegungen zum Waldbau mit der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) im Klimawandel

Wolfram Rothkegel, Ottmar Ruppert, Norbert Wimmer, Richard Heitz, Joachim Stiegler, Paul Dimke und Hans-Joachim Klemmt

Schlüsselwörter: Rotbuche, Buche, Klimawandel, Waldbau

Zusammenfassung: Die Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) ist die Laubbaumart, der eine zentrale Rolle für den Waldaufbau in unseren Regionen zugemessen wurde. Derzeit wird ihre Rolle in forstlichen Fachkreisen hinsichtlich des Klimawandels intensiv diskutiert. Vieles deutet aber darauf hin, dass die Buche in Bayern auch zukünftig eine große Bedeutung für den Waldaufbau haben wird, obgleich wärmeliebende bzw. trockenheitstolerante Baumarten mit fortschreitendem Klimawandel konkurrenzkräftiger werden. Deshalb müssen waldbauliche Vorgehensweisen überdacht werden. So sollten bei wirtschaftlicher Vorrangfunktion altersbedingte Vitalitätsverluste vermieden werden, indem die Produktionszeiträume für Wertträger vermindert werden. Ebenso ist ein konsequentes, stetig steuerndes Begleiten der Rotbuche und ihrer Mischbaumarten in allen Bestandsphasen ein wichtiger Baustein auf dem Weg zum klimaangepassten Wald.

Die Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) ist derzeit die häufigste Laubbaumart in unseren Wäldern. Infolge der klimatischen Extremjahre 2018/ 2019 wird die zukünftige Bedeutung der Rotbuche in forstlichen Fachkreisen vielfach kontrovers diskutiert. Der nachfolgende Beitrag versucht im ersten Abschnitt – auf Grundlage aktueller Forschungsergebnisse – die momentane und zukünftige Rolle der Rotbuche in Bayern einzuordnen und im zweiten Abschnitt konkrete waldbauliche Handlungsempfehlungen für den Umgang mit der Rotbuche im Klimawandel auszusprechen.

Die aktuelle Rolle der Rotbuche in Bayern

Die aktuellsten Zahlen zum Vorkommen der Rotbuche in Bayern liefert die Bundeswaldinventur 3 (BWI³), deren Außenaufnahmen 2011 und 2012 durchgeführt wurden. Mit einer rechnerischen Fläche von 338.319 ha bzw. einem Flächenanteil von 13,9% ist die Rotbuche die flächenmäßig bedeutendste Laubbaumart in Bay-

ern. 42,5% dieser Fläche liegen im Privatwald, 39,9% im Staatswald und 16,2% im Körperschaftswald. Aufgrund seines Waldflächenanteils von 30,1% besitzt damit der Staatswald in Bayern überdurchschnittlich hohe Anteile an der Baumart Rotbuche. Gemäß der naturräumlichen Ausstattung sind die Flächenanteile der Rotbuche in Bayern sehr unterschiedlich. Ein signifikant überdurchschnittlicher Anteil mit 25,6% findet sich in Unterfranken, während dieser in der Oberpfalz lediglich 8,6% bzw. in Mittelfranken 10,1% beträgt.

Der Rotbuchenvorrat in Bayern beträgt nach BWI³ im Mittel 131,76 Millionen Vorratsfestmeter und macht damit ebenso rund 13% des bayerischen Holzvorrates aus. Dessen Verteilung nach Eigentumsarten bzw. nach Regionen ähnelt den o. g. Zahlen bez. der Flächenverteilung sehr stark. Betrachtet man die Rotbuchenvorräte nach Altersklassen, so finden sich mit jeweils rund 26 Millionen Vorratsfestmetern in den Altersklassen 81–100 Jahre und 101–120 Jahre die höchsten Vorräte. Die als besonders naturschutzrelevant angesehenen Rotbuchenaltholzvorräte mit einem Bestandsalter von mehr als 160 Jahren belaufen sich nach der BWI³ auf rund 11 Millionen Vorratsfestmeter.

Die Ergebnisse der BWI³ beziffern den jährlichen Zuwachs der Rotbuche in Bayern auf rund 3,6 Mio. Vorratsfestmeter. Dies entspricht einem mittleren jährlichen Zuwachs in einem fiktiven Reinbestand von 10,71 Vorratsfestmetern. In der Dekade von 2002 bis 2012 wurden in Bayern rund 2,24 Mio. Vorratsfestmeter Buchenholz jährlich genutzt, was einem Nutzungssatz von 6,5 Vfm/ha und Jahr entspricht.

Betrachtet man die Veränderungen der Waldfläche nach Baumartengruppen, so zeigt sich in der gleichen Dekade eine Zunahme der Buchenfläche um rund 40 Tsd. Hektar. Rund 44% der Zunahme der Laubholzfläche in diesem Zeitraum gehen somit auf die Baumart Buche zurück.

Beleuchtet man die Struktur der Rotbuchenbestockung in Bayern, so zeigt sich, dass lediglich rund 4% bzw. rund 14.400 ha der Fläche »ohne Beimischung« erfasst

wurden. Dagegen wurden rund 114 Tsd. ha (bzw. rund 34 %) als Bestockungstyp »Rotbuche mit Nadelholzbeimischung« sowie rund 51 Tsd. ha (rund 15 %) als »Rotbuche mit Laubholzbeimischung« klassifiziert. Die Restfläche von rund 154 Tsd. ha (rund 46 %) wurde als Bestockungstyp Rotbuche mit Laub- und Nadelbeimischung eingewertet. Eine Betrachtung des Bestockungsaufbaus zeigt, dass in Bayern 15 % der Rotbuchenbestockung als einschichtig, rund 65 % als zweischichtig und rund 20 % als mehrschichtig oder plenterartig erfasst wurden.

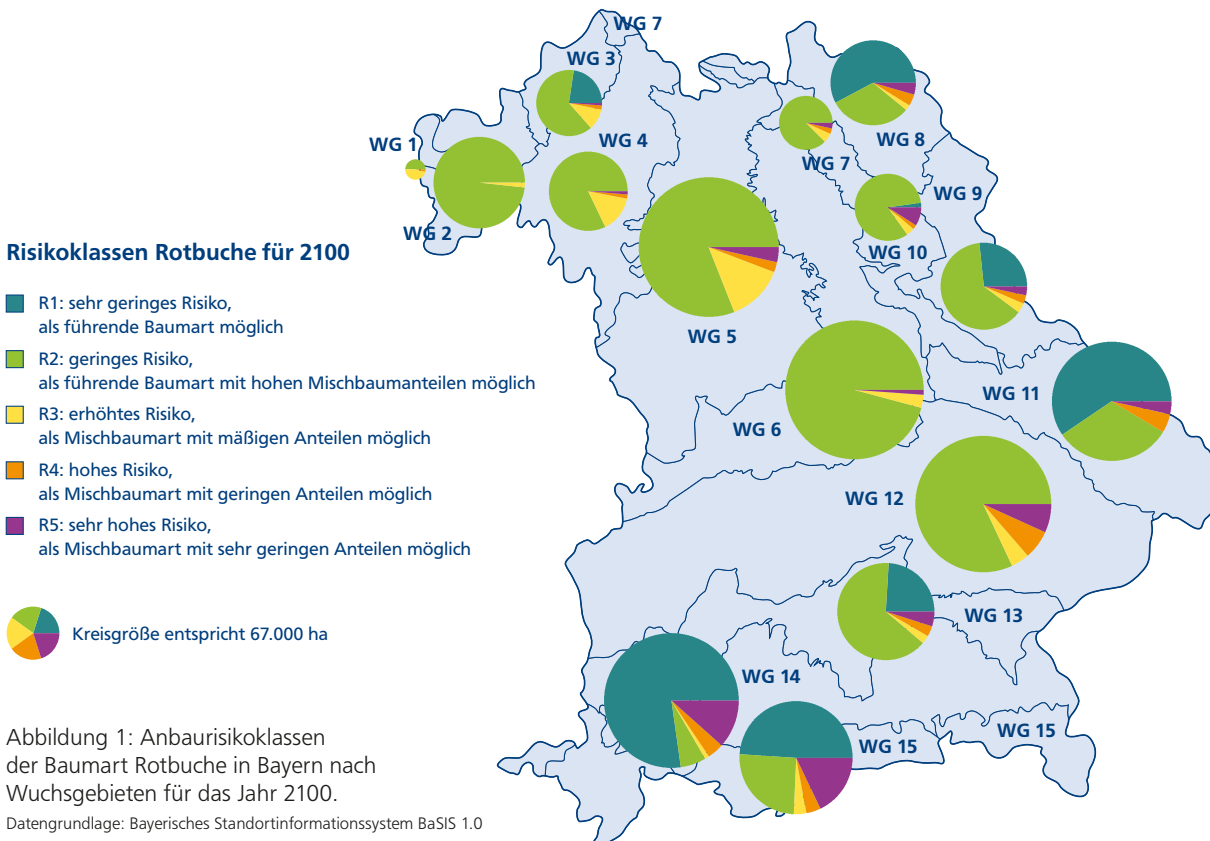
In insgesamt rund 577 Tsd. ha Jungbeständen wurden etwa 136 Tsd. ha als führende Rotbuchen-Jungbestockung klassifiziert. Dies entspricht einem Prozentsatz von 23,6%. Hiervon gehen rund 89% aus Naturverjüngung, 10% aus Pflanzung hervor.

Die zukünftige Rolle der Rotbuche in Bayern

Trotz der skizzierten Bedeutung als derzeit wichtigster Laubbaumart Bayerns wird die Zukunftsfähigkeit der Rotbuche bei fortschreitendem Klimawandel seit mehreren Jahren wissenschaftlich intensiv diskutiert (Rennerberg et al. 2004, Ammer et al. 2005) und ist neuer-

dings Gegenstand vieler wissenschaftlicher Arbeiten. Gerade die deutschlandweit beobachteten Schäden an Rotbuchen infolge der klimatischen Extremjahre 2018, 2019 und zum Teil 2020 (Schuldt et al. 2020, Obladen et al. 2021, Hahn et al. 2022 (in dieser Veröffentlichung)), haben die Diskussionen um ihre generelle Eignung im Klimawandel bzw. um ihre zukünftige Bedeutung erheblich intensiviert.

Die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) hat in den letzten Jahren eigene Untersuchungen zu dieser Frage angestellt. In Abbildung 1 sind für die einzelnen Wuchsbezirke Bayerns die Anbauriskoklassen der Rotbuche nach dem Bayerischen Standortinformationssystem BaSIS für erwartete Klimabedingungen im Jahr 2100 dargestellt. Diese Risikoeinwertungen basieren auf sogenannten Artverbreitungsmodellen. Als Klimaszenario für die Zukunft liegt derzeit WETTREG B1 zugrunde, welches von einer mittleren Klimaerwärmung für Bayern bis 2100 von 1,8 °C ausgeht (Beck und Kölling, 2013). Dies wird allerdings aufgrund der bisher beobachteten Klimaentwicklung bereits als eher »zurückhaltend« angesehen. Demnach ist die Rotbuche in vielen Landesteilen als Baumart mit geringem klimatischem Anbaurisiko im Falle einer »gemäßigten Klimazukunft« anzusehen. Für



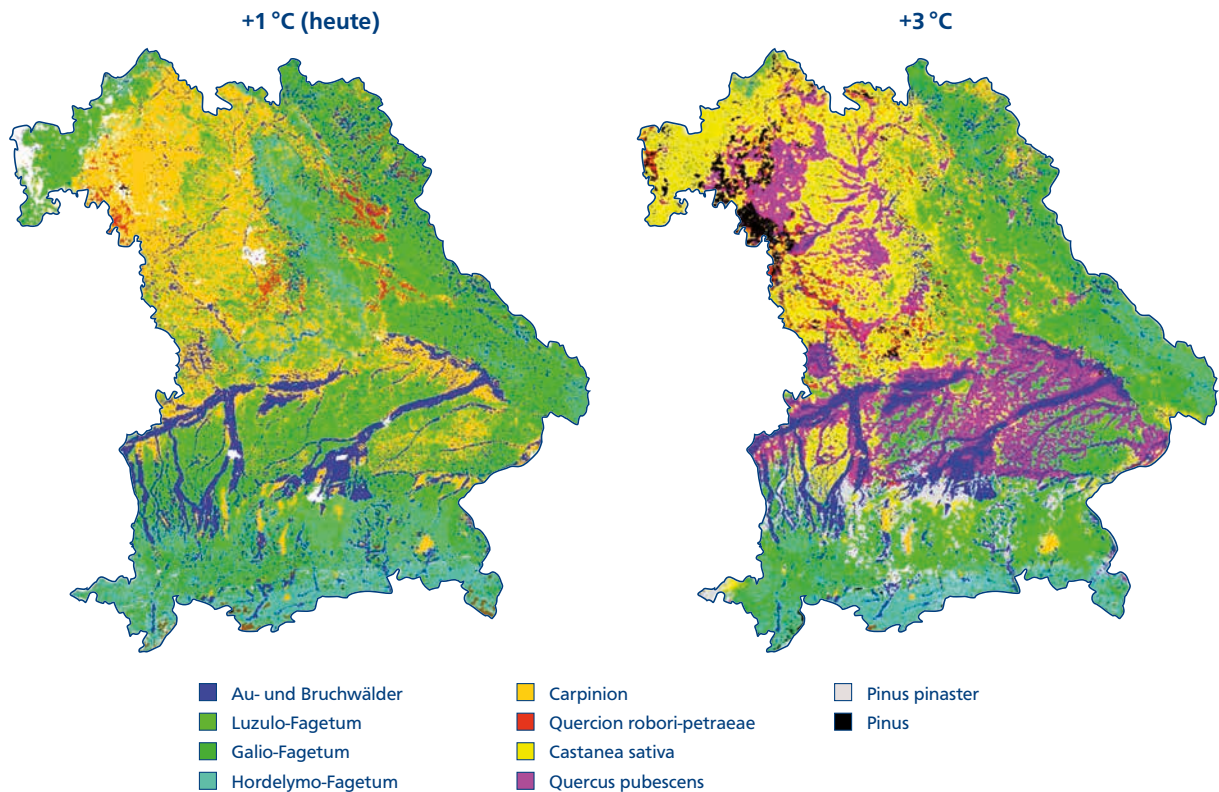


Abbildung 2: Modellerte potenzielle natürliche Waldgesellschaften Bayerns gemäß einem Klima 1971–2000 (~heute), gemäß den Projektergebnissen des Projektes F052.

Abbildung 3: Modellerte potenzielle natürliche Waldgesellschaften Bayerns gemäß einem Klima mit einer Temperaturerhöhung von +3 °C gegenüber dem heutigen Klima, wie es gemäß des Klimareports 2021 des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz als ein sehr wahrscheinliches Szenario bis 2080 angesehen wird.

die südbayerischen Wuchsgebiete 14 (Schwäbisch-bayerische Jungmoränenlandschaft) und 15 (Bayerische Alpen) sowie die südostbayerischen Grenzgebirge wird das Anbauisiko überwiegend sogar als sehr gering eingeschätzt.

von Eichenarten sowie von Baumarten aus dem mediterranen Raum geprägt sind (Fischer et al. 2019), wengleich die Rotbuche auch in deren Baumartenportfolio vertreten sein wird. Aufgrund der geringeren Konkurrenzkraft gegenüber anderen, meist trockenheitstoleranteren Arten, wird sie dann aber eher als »Nebenbaumart« bzw. »Begleitbaumart« auftreten.

In zwei weiteren Projekten haben sich an der LWF in den Jahren 2019 und 2020 Wissenschaftler mit der Modellierung der zukünftigen potenziellen natürlichen Vegetation im Klimawandel in Bayern (F052) auseinandergesetzt und dabei auch potenzielle Rotbuchenrisikogebiete identifiziert. In Abbildung 2 sind die Ergebnisse des Projektes F052 vergleichend für das aktuelle Klima sowie für eine Klimazukunft mit einer weiteren Erwärmung um +2 °C dargestellt, was summarisch in etwa den Erwartungen des Klimareports 2100 des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) bis zum Jahr 2085 entspricht (StMUV, 2021). Demnach werden sich die Waldgesellschaften in Regionen, in denen die Rotbuche aufgrund ihrer Konkurrenzkraft derzeit die Hauptbaumart stellt, stark verändern. Dort werden Waldgesellschaften prognostiziert, die insbesondere

Zieht man an dieser Stelle ein Zwischenresümee, so belegen die vorliegenden, großflächigen Inventurdaten eine in der Vergangenheit bereits gewachsene Bedeutung der Baumart Rotbuche in Bayern, die zumindest mittelfristig eher noch zunehmen wird. Trotz vielfach beobachteter Ausfälle infolge der zurückliegenden, klimatischen Extremjahre, ist die Rotbuche ein fester Bestandteil deutlich wärmerer Waldgesellschaften als in solchen, wie sie bisher bei uns existieren. Absehbar ist allerdings eine abnehmende Konkurrenzkraft der Rotbuche gegenüber trockenheitstoleranteren Baumarten (vgl. Mette et al. 2013, Rubio-Cuadrado et al. 2018). Daraus ergeben sich weitergehende Überlegungen zum zukünftigen, waldbaulichen Umgang mit der Rotbuche.

Waldbaulicher Umgang mit der Rotbuche – Waldbau ist Waldpflege

Die Rotbuche wäre aktuell auf fast allen Standorten Bayerns von planarer bis montaner Höhenlage von Natur aus vorhanden (Schütt et al. 2006). Dies wird sich voraussichtlich auch in der Zukunft nicht grundlegend ändern, wenngleich sich regional die Waldgesellschaften durch das Klima ändern werden – und damit die beteiligten Rotbuchenanteile. Ihre Konkurrenzkraft gegenüber anderen Baumarten beruht vor allem auf ihrer ausgeprägten Schattentoleranz, ihr lange anhaltendes Zuwartevermögen und ihrer Fähigkeit, den Boden mit ihrem Wurzelsystem intensiv zu erschließen. Als führende Baumart zur Qualitätsholzentwicklung spielt sie eine ebenso große Rolle wie auch als beteiligte Mischbaumart oder dienende Baumart im Unter- und Zwischenstand. Waldbaukonzepte zu Beginn der 2000er Jahre zielten auf eine Verkürzung der Umtriebszeit ab, um Rotkernbildung zu vermeiden, da diese ab dem Alter von 100 Jahren zunimmt (Knoke und Schultz-Wendroth, 2003). Dieser Ansatz gilt auch für den Waldbau im Klimawandel. Im Vordergrund steht nun zusätzlich eine risikoärmere Erzeugung von Qualitätsholz an einer bemessenen Zahl vitaler Einzelbäume von Jugend an. Diese sind eingebettet in einen möglichst strukturreichen und gemischten Bestand, der durch das Zulassen der natürlichen Entwicklung in ausreichend großen Zwischenfeldern entsteht. Dort entstehen schwerpunktmäßig Biotopbäume und dort findet auch eine Anreicherung mit Totholz statt.

Die Eckpunkte der zukünftigen Rotbuchenwirtschaft im Klimawandel sind also:

- Gemischte Bestände mit klimastabilen Baumarten
- Risikoarme Holzproduktion durch kürzere Umtriebszeit einer bemessenen Zahl von Einzelbäumen oder Ernte geringerer Zieldurchmesser
- Strukturreichtum durch kleinflächigen Wechsel der Eingriffsintensität
- Beteiligung natürlicher Prozesse

Nachdem grundsätzlich – nicht nur aus Gründen des Klimawandels – gemischte Bestände anzustreben sind, ist es sinnvoll, die gesamte Pflegekette unter dem Aspekt »Mischbestand« zu betrachten. Die Rotbuche sollte in gemischte Bestände eingebettet sein und als Bestandteil derer betrachtet werden. Im Umkehrschluss kann man die Behandlung in Rotbuchenreinbeständen nach dem gleichen, im Folgenden beschriebenen Vorgehen durchführen.

Nachdem es in Bayern einerseits Regionen gibt, in denen bereits zahlreiche Rotbuchen in den Altbeständen vorhanden sind und sich hier reichlich natürliche Rotbuchenverjüngung einstellt und andererseits Regionen vorliegen, deren Altbestände keine Altbuchen aufweisen und hier Rotbuchen mittels künstlicher Verjüngung eingebracht werden müssen, werden nachfolgend zwei Etablierungsphasen unterschieden.

Etablierungsphase in Regionen mit naturverjüngungsfreudiger Rotbuche

Aus ökologischen und ökonomischen Gründen sind Mischbestände erklärtes waldbauliches Ziel. Eine »Verbuchung«, also ein Einstellen flächiger, ungemischter Rotbuchenjungwüchse, sollte vermieden werden. Das Zeitfenster für eine entsprechende Lenkung ist allerdings meist sehr klein. Hat sich erst einmal eine geschlossene Rotbuchendickung entwickelt, haben lichtbedürftige Mischbaumarten wie die Eiche kaum mehr eine Chance, sich zu etablieren bzw. müssen diese mit enormem Pflegeaufwand gesichert werden. Deshalb sollten, nach einer gründlichen und rechtzeitigen Analyse der Ausgangssituation, zielführende Maßnahmen ergriffen werden.

Das vermeintliche Ausbleiben von Mischbaumarten geschieht oft unbemerkt. Deswegen ist es wichtig, Verjüngungsansätze zu verschiedenen Jahreszeiten genau zu beobachten. Was keimt im Frühjahr und Frühsommer, was bleibt und was verschwindet wieder? Was sind die Ursachen? Welche Gegenmaßnahmen sind notwendig? Hier lohnt es sich, regelmäßig an verschiedenen Kontrollpunkten die Verjüngungsansätze festzustellen und zu markieren. Mit eingefärbten Holzstäben kann dies visualisiert und dokumentiert werden. In der Folge werden Entwicklungen und Veränderungen sichtbar. Weiserzäune können dabei den Einfluss des Wildverbisses deutlich machen (Ruppert et al. 2021).

Flächige Lichtwuchsdurchforstungen in rotbuchenreichen Altbeständen (Schirmschlag) schaffen ideale Lichtverhältnisse für die Naturverjüngung der Rotbuche. Genau hier werden die Weichen für die Beteiligung von Mischbaumarten gestellt. Ein zu gleichmäßiges Auflichten führt zur »Verbuchung«. Um in solchen Beständen natürliche oder künstliche Verjüngung von Tanne zu erreichen, muss dies im relativ geschlossenen Zustand vor flächigem Aufschlag der Rotbuche geschehen. Nach gesicherter Etablierung der Tanne erfolgt über ihr entsprechende Nachlichtung, damit sie auch wächst. Für die Naturverjüngung oder künstliche Einbringung von Lichtbaumarten werden vorher dunkle Teilflächen je nach Zielbaumart femelartig in Gruppen- bis Kleinbestandsgröße aufgelichtet. Ge-

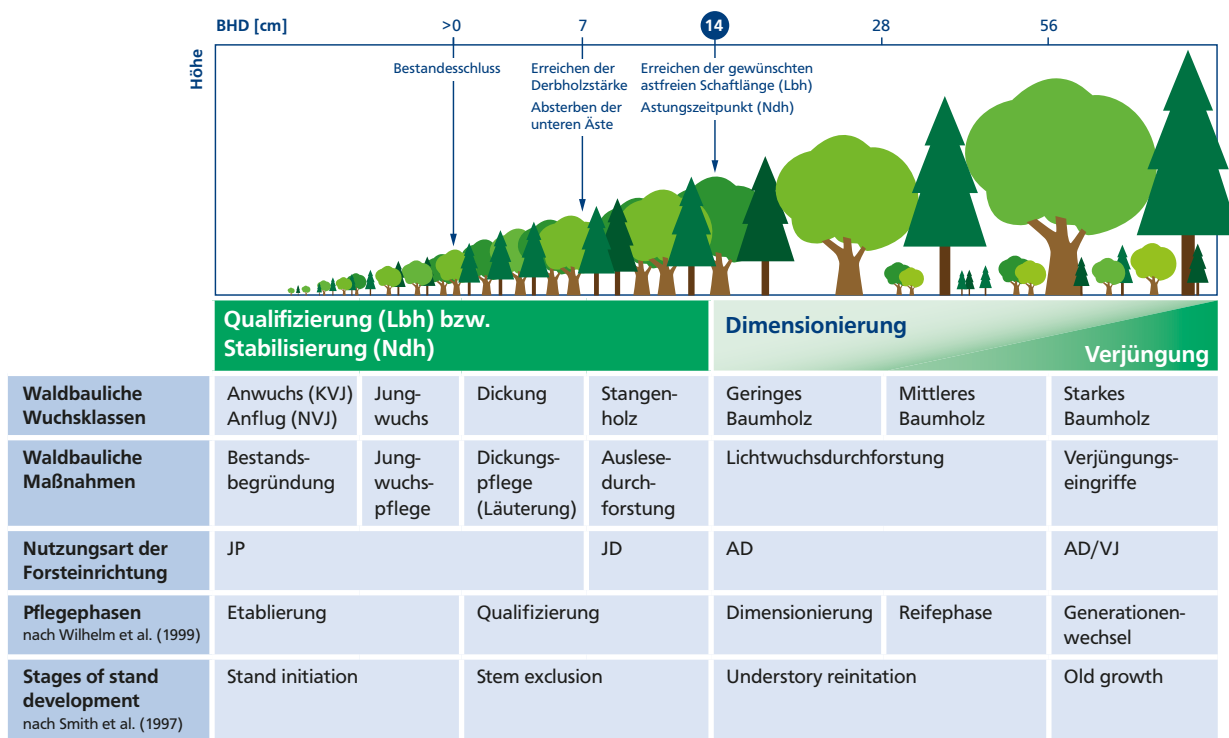


Abbildung 4: Phasen der Bestandesentwicklung gemäß Praxishilfe Klima-Boden-Baumartenwahl, Band 1.

wünschte, im Altbestand nicht vorhandene Baumarten, werden durch Saat oder Pflanzung entsprechend eingebracht. Hier empfiehlt sich auch die punktuelle Einbringung durch Anreicherungen in Form von Trupps, Klumpen oder Nelderrädern (Rothkegel et al. 2020, Kölling et al. 2020).

Durch die Lichtgaben wird auch reichlich Rotbuchennaturverjüngung aufschlagen. Damit die gewünschten Mischbaumarten nicht wieder untergehen oder von der Rotbuche überwachsen werden, ist entsprechende Nachsorge durch Pflege und Nachlichten wichtig. Die Entwicklungen müssen regelmäßig beobachtet und die gewünschten Mischbaumarten gesichert werden. Das bedeutet, bei guter Begehrbarkeit (Hüft- bis Brusthöhe) werden die erwünschten Mischbaumarten in regelmäßigen Abständen von etwa acht bis zehn Metern aufgesucht und beurteilt, wie sie sich entwickeln und welche Maßnahmen zum Erhalt notwendig sind. Mit einfachen Mitteln kann Konkurrenz durch Knicken oder Schneiden mittels Handgeräten zurückgenommen werden. Bei Wildverbiss oder Fegeschäden sind entsprechende Schutzmaßnahmen durchzuführen. Beim Übergang in den Dickungsschluss besteht in Regionen sehr vitaler Rotbuchenverjüngung die Gefahr des Untergangs der Mischbaumarten. Deswegen ist es hier sinnvoll und zielführend, die Bestände regelmäßig zu begehen, den Zustand zu

beurteilen und die Kandidaten der Mischbaumarten entsprechend aufzusuchen und durch zielgerichtete Pflege zu sichern (Ruppert et al, 2021). Besonderes Augenmerk ist auf oft vorhandene Hähersaat der Eiche zu legen.

Etablierungsphase in Regionen mit wenig Rotbuche in Vorbeständen

In anderen Regionen sind oben genannte Verhältnisse »Luxusprobleme«. Rotbuchen sind im Vorbestand nicht oder kaum vorhanden und andere Baumarten, die oft mit einem hohen Anbaurisiko behaftet sind, verjüngen sich massiv. Dies betrifft zum Beispiel weite Teile des Tertiärs oder der Nordost-Bayerischen Mittelgebirge. Hier kommt häufig und meist sehr frühzeitig nur Fichte in der Naturverjüngung, manchmal auch der Bergahorn. Beide Baumarten sind Halbschattbaumarten, die bereits bei relativ dunklen Lichtverhältnissen keimen und sich etablieren können. Hier muss die Rotbuche durch Voranbau rechtzeitig vorausverjüngt werden, solange die Konkurrenz der Fichte oder des Ahorns noch gering ist (Jakob et al. 2011). Am besten beschränkt man sich nur auf Teilbereiche ohne Naturverjüngung. Der Voranbau kann dabei auch kleinflächig in Trupps, beispielsweise auch durch Wildlingspflanzung, erfolgen. Des Weiteren bietet auch die streifen- oder plätzeweise Saat von Bucheckern eine

Möglichkeit naturnaher Einbringung (Ruppert et al. 2018). Von großflächiger Einbringung sollte Abstand genommen werden, denn auch hier gilt der Grundsatz, weitere Mischbaumarten im Zuge der Verjüngung zu beteiligen.

Nicht selten hilft die Natur auch selbst, dass einzelne Rotbuchennaturverjüngung in sonst großflächig vorhandener Fichtennaturverjüngung aufkommt. Durch Eichelhäher, Eichhörnchen oder Mäusearten verstreut gesäte Rotbuchen sollten durchaus nicht unterschätzt und im Rahmen der Pflege gesichert oder frühzeitig geschützt werden. Dabei geht es nicht unbedingt um ideale Wuchsformen, sondern um die Sicherung einer Mindestbeimischung zur Bodenverbesserung und Stabilisierung der Bestände oder auch zur Entwicklung von Samenbäumen für die künftige Waldgeneration. Wie schon oben für andere Mischbaumarten beschrieben, reicht es, alle acht bis zehn Meter eine Rotbuche zu sichern und von der Konkurrenz zu entlasten. Ergonomisch günstig finden solche Eingriffe in noch übersichtlichen Phasen bei Brust- bis Mannshöhe statt, zum Beispiel auch im Rahmen von Standraumerweiterungen in homogenen Fichtenbürstenwüchsen. Einzelne Rotbuchenbeimischungen in Verjüngungen sind am leichtesten erkennbar, wenn ihre Blätter schon rotbraun verfärbt sind, aber noch anhaften – also im Spätherbst. Bei kontinuierlicher Pflege kann daraus eine solide Rotbuchenbeimischung entstehen.

Qualifizierungsphase

In der Dickungsphase ab etwa Zimmerhöhe bis zum Beginn der Dimensionierung muss besonderes Augenmerk auf die Mischbaumarten gelegt werden. Das betrifft sowohl die Mischbaumarten in Rotbuchendickungen als auch beigemischte Buchen in Nadelhölzern. Obwohl Bestände in dieser Phase am unbequemsten zu begehen sind, sollten regelmäßige Beurteilungen der Pflegenotwendigkeit durchgeführt werden. Ziele in dieser Phase sind immer noch die Sicherung und gegebenenfalls die Förderung von Mischbaumarten, die natürliche Astreinigung zur Sicherung der Qualität und die Förderung der Stabilität beteiligter Nadelbäume. So steht der Grundsatz »Dickung soll Dickung bleiben« zur Qualifizierung im Vordergrund, allerdings nicht mit der Folge, alles unbeeinflusst dicht wachsen zu lassen.

Um den Pflegeaufwand möglichst gering zu halten, gleichzeitig aber die Aspekte Mischbaumarten, Vitalität, Stabilität und Qualität nicht aus den Augen zu verlieren, erfolgt hier die Behandlung nach dem Optionenmodell (Rothkegel et al. 2012). Dieses sieht vor, bis zum Einstieg in die Dimensionierungs-/Licht-

wuchsphase v. a. beim Laubholz durch mäßigen Seitendruck von Nachbarbäumen (Bedränger) die Astreinigung an ca. 100–150 Z-baumfähigen Optionen je Hektar voranzutreiben. Nur wenn diesem Kollektiv zukünftiger Wertträger/Stabilitätsträger konkurrenzbedingt unmittelbar sozialer Abstieg droht, sind Bedränger zurückzunehmen. Im Abstand von etwa fünf Jahren werden alle etwa 8 bis 10 Meter Optionen, welche die Zielvorstellungen bezüglich Standort, Anbaurisiko, Vitalität, Stabilität und Qualität erfüllen, begutachtet und deren Wuchsrelation gegenüber den Nachbarbäumen eingeschätzt. Ist eine Gefährdung – also ein Absterben oder die Beeinträchtigung der Vitalität – bis zum nächsten Eingriff zu erwarten, muss entsprechend entlastet werden. Dies kann durch Köpfen, Ringeln oder Entnahme des Bedrängers erfolgen, je nachdem, wie stark die Hilfestellung ausfallen soll. In buchenreichen oder -reinen Partien ist neben der Vitalität der Option auch besonderes Augenmerk auf deren Qualität zu legen. Buchen mit möglichst waagrecht abstehenden Ästen lassen eine bessere Astreinigung erwarten, Steiläste und Zwiesel verbleiben oft lange grün, mindern die Qualität des Stammes und bergen später Risiken von Beschädigungen nach Abbruch. In den Zwischenfeldern zwischen den Optionen findet kein Eingriff statt, außer es befindet sich dort ein grobes Individuum (»Superprotz«), das in späteren Jahren Optionen oder Z-Bäume stark beeinträchtigt und schwer oder nur mit hohen Schäden zu entfernen sein wird. Bei solchen Bäumen empfiehlt sich, soweit der Verkehrssicherungspflicht nichts entgegensteht, das Ringeln, damit sie langsam absterben und als Totholz oder Biotopstumpf der Biodiversität dienen können. Diese alternativen Pflegemethoden wurden bisher bezüglich ihrer ökologischen Bedeutung stark unterschätzt. Durch das Hochköpfen und teilweise erneute Austreiben der Stümpfe entstehen temporäre Kleinstrukturen. Beim Absterben der Stümpfe oder durch das Ringeln entsteht Totholz in Beständen, welches ohne dieses auch ergonomisch sehr vorteilhafte Vorgehen, erst Jahrzehnte später entstehen würde.

In auf Freiflächen entstandenen Buchendickungen sind häufig Individuen mit besenartigen Kronen zu finden. Hier gilt es, im oben beschriebenen Abstand frühzeitig die qualitativ besten Optionen zu finden und entsprechend zu sichern, ggf. zu fördern. Eine pauschale Negativauslese würde die gesamte Qualifizierung unterbrechen, gute Exemplare drohen unterzugehen, wenn man sie nicht gezielt betrachtet. In Einzelfällen kann auch über eine sogenannte Nachqualifizierung durch Grünastung ein vitales Individuum eine bessere Qualität erreichen (Arz et al. 2020).

Während in gemischten Beständen raschwüchsige Baumarten mit frühem Kulminationspunkt des Höhen- und Volumenzuwachs bald ihre grünastfreie Schaftlänge erreichen und damit als Zielbäume dimensioniert werden müssen, wird die Buche etwas länger in der Qualifizierungsphase verbleiben.

Dimensionierungsphase

Der Einstieg in die Lichtwuchs- oder Dimensionierungsphase beginnt mit Erreichen der gewünschten grünastfreien Schaftlänge. Dabei sollten die Erwartungen an die astfreie Schaftlänge vor dem Hintergrund des sich rasch vollziehenden Klimawandels nicht allzu hoch sein, weil mit dem Warten (= Altern der Bäume) zugleich die Vitalität der Bäume zurückgeht und die Kronen der Einzelbäume im Verhältnis zur Gesamthöhe kleiner werden. Faustzahl für astfreie Schaftlänge ist etwa ein Viertel der erwartbaren Gesamthöhe, also etwa sechs bis acht Meter. Um einen frühen Einstieg in die Dimensionierung zu ermöglichen und nicht zu lange auf die natürliche Astreinigung warten zu müssen, kann die Buche durch Astung nachqualifiziert werden (Arz et al. 2020). Bisherige Untersuchungen zeigen, dass auch bei der Buche eine sachgemäße Grünastung zielführend ist und zu deutlich schnellerer Überwallung führt als bei Aststummeln natürlicher Astreinigung (Klädtke et al. 2017). Die Investition der Wertastung ist bei Beschränkung auf wenige Astungsbäume überschaubar und bei zügiger Dimensionierung nur von geringem Risiko.

Die frühzeitige und kontinuierliche Förderung der Vitalität von Einzelbäumen spielt dabei die Schlüsselrolle beim Volumenzuwachs und auch bei der Widerstandsfähigkeit gegenüber Witterungsextremen (Mergner et al. 2020). Als günstiger, einfach im Wald zu erkennender Einstieg zur Festlegung von Ziel- oder Zukunftsbäumen (Z-Bäume) eignet sich das Erreichen des Brusthöhendurchmessers (BHD) von etwa 14 cm. Bei der Auswahl der Z-Bäume sind die Vitalität und Stabilität des Einzelbaums die wichtigsten Auswahlkriterien, erst an nächster Stelle folgt die Qualität. Nur Bäume mit vitaler, gleichmäßiger Krone lassen erwarten, dass sie entsprechend leistungsfähig und die Risiken für spätere Kronenabbrüche gering sind. Die ausgewählten Z-Bäume werden in ihrer Krone so freigestellt, dass sie keine Berührung mehr zu Nachbarbäumen haben. Dies geschieht idealerweise kontinuierlich über die ganze Dimensionierungsphase hinweg. Ziel ist ein Anhalten des unteren Kronenansatzes und eine Kronenlänge von etwa 75 % der Gesamthöhe des Baumes (Wilhelm et al. 2013). Entnommen werden ausschließlich echte Bedränger der Z-Baum-Kronen, die

übrigen Bestandsbereiche bleiben unbearbeitet, lassen natürliche Entwicklungen zu und schaffen Struktur. Dabei sind häufigere Wiederkehr mit schwächeren Entnahmen schonender für den Gesamtbestand als stärkere Eingriffe nach langen Zwischenzeiträumen. Wenngleich hierzu bislang wenig Praxiserfahrung und uneinheitliche wissenschaftliche Befunde vorliegen (z. B. Antonucci et al. 2021, Diaconu 2017, Sohn et al. 2016, Mausolf et al. 2018, Meyer et al. 2022), soll mit dieser Vorgehensweise einer zu starken Exposition der plötzlich freigestellten Krone in Trockenjahren vorgebeugt und zugleich die Wasserverfügbarkeit für den Einzelbaum vergrößert werden. Auch die Gefahr der Wasserreiserbildung wird dadurch gemildert. So empfiehlt sich eine Fortsetzung des 5-Jahres-Zeitraums aus der Qualifizierungsphase. Auch hier kann ein Teil der zu entnehmenden Konkurrenten geringelt oder bei maschinellen Eingriffen hochgeköpft werden.

Durch die Umlichtung der Z-Baumkronen wird zugleich vorhandener Unter- und Zwischenstand gefördert, sodass dazu kein separater Eingriff notwendig ist. Ist kein oder fast kein wirksamer Unterstand zur Beschattung wertvoller Schäfte vorhanden, können um diese Bäume herum Schattbaumarten gepflanzt werden.

Wie bereits mehrfach erwähnt, sollen immer gemischte Bestände angestrebt werden. Herangehensweise und Kriterien der Auswahl und Förderung von Z-Bäumen sind dabei über alle Baumarten gleich.

Über die Anzahl von Z-Bäumen bzw. den Abstand der Z-Bäume zueinander gibt es unter Forstleuten immer wieder intensive Diskussionen. Diskussionsgrundlage sollte dabei die zu erwartenden Kronenradien leistungsfähiger Bäume der beteiligten Baumarten sein. So hat sich für viele Baumarten das Hundert-Baum-Konzept, also ein Z-Stamm-Abstand von zehn Metern, durchgesetzt. Das entspricht einem Kronenradius von etwa fünf Metern. Dieser ist bei vielen Baumarten realistisch. Das bedeutet, dass zu Beginn der Dimensionierungsphase im Abstand von 10 m Z-Bäume festgelegt und wie oben beschrieben, behandelt werden. Reservekandidaten oder -Z-Bäume werden grundsätzlich nicht festgelegt oder gefördert. Bei Ausfall von Z-Bäumen gibt es in den Zwischenbereichen meist genug Ersatz – soweit überhaupt notwendig. Betrachtet man die tatsächlichen Kronen von Alteichen und Altbuchen, die sich frei entwickeln konnten, ist festzustellen, dass deren Kronendurchmesser 14 bis 16 Meter betragen. Deswegen muss bei diesen Baumarten vom einfachen Hundert-Baum-Konzept abgewichen werden. Um der ungestörten Entwicklung Rechnung zu tragen, gibt es zwei Möglichkeiten. Die erste Variante ist das Ab-

schöpfen der Hälfte der Z-Bäume bei Erreichen eines geringeren Zieldurchmessers und die weitere Dimensionierung an den verbliebenen Z-Bäumen (Neufanger et al. 2011). Bei dieser Vorgehensweise ist zu prüfen, ob aufgrund der Entnahme dieser ersten Elitebäume und ihrer bisherigen Bedränger nicht schon eine deutliche Abnahme der Struktur und eine flächige Auflichtung erfolgen wird. Bei konsequenter Förderung (Kronenumlichtung) von 100 Z-Bäumen sind deren Kronen im Alter 60 so raumfüllend, dass bei Entnahme der Hälfte nur noch Struktur aus dem Unter- und Zwischenstand (wenn vorhanden) entstehen kann.

Die zweite Möglichkeit ist die Berücksichtigung der baumartenspezifischen Kronenradien gleich bei der Festlegung der Z-Bäume zu Beginn der Dimensionierungsphase. Das bedeutet, dass ein Rotbuchen-Z-Stamm zum nächsten Z-Stamm mindestens 14 m entfernt sein sollte, um Kronenberührungen zueinander dauerhaft auszuschließen. Nur auf diese Weise werden in den Zwischenfeldern natürliche Entwicklungen und dunklere Zonen ermöglicht und eine Homogenisierung des Bestands vermieden. Im Mischbestand werden die Z-Baumabstände je nach benachbarten Baumarten und dem Zeitpunkt der beabsichtigten Entnahme bei Erreichen der Zielstärken gewählt.

Zu den natürlichen Entwicklungen gehört in der Phase der Dimensionierung auch die Anreicherung des Bestands mit Totholz. Neben Belassen von Restholz aus Durchforstungen verbleiben absterbende Bäume im Bestand, sofern sie kein Waldschutzrisiko oder Verkehrssicherungsrisiko darstellen. Von Beginn an wichtig, aber bedeutsamer, je älter die Bestände werden, muss das Augenmerk auf entstehende Mikrohabitate und Biotopstrukturen gerichtet werden (Kraus et al. 2013). Ein funktionierender naturnaher Lebensraum wirkt sich auch auf eine betriebssichere Holzerzeugung aus. Mit zunehmendem Alter entstehen tendenziell immer mehr Mikrohabitate wie z. B. Specht- und Mulmhöhlen, Dendrotelmen, Risse, Rindenverletzungen und viele andere, die bei der Bestandsbehandlung beachtet und je nach Seltenheit geschützt werden. Biotopbäume werden gekennzeichnet und wie Z-Bäume in das Kollektiv der Erhaltungsbäume übernommen.

Folgen der jüngsten Trockenjahre und wie wir darauf reagieren können

Vor dem Hintergrund der ab den Trockenjahren 2018 und 2019 aufgetreten Schäden in Rotbuchenbeständen wird dem Aspekt Bewirtschaftung verstärkt Aufmerksamkeit in der Forschung geschenkt (Meyer et al. 2022). Aus aktuellen Forschungsarbeiten zeigt sich,

dass nach langanhaltender Trockenheit in dichten und unbehandelten Beständen unterdrückte, weniger vitale Bäume absterben und in frisch behandelten Beständen vorwiegend großkronige und freigestellte Bäume geschädigt werden (Meyer et al. 2022). Die Schäden an Rotbuchen zeigten sich in den Trockenjahren v. a. auf Standorten mit extremen Bedingungen hinsichtlich der Wasserversorgung (Henkel et al. 2022, Walthert et al. 2021) als auch mit Schwerpunkten hinsichtlich der Expositionen v. a. und beginnend an Süd- und Südwesthängen (Thierfelder 2020). Da die Rotbuche als eine Baumart gilt, die eher stärker zur Verdunstung und Kohlenstoffproduktion neigt als sparsam mit vorhandenen Wasserreserven umzugehen (vgl. Walthert, 2021), wirken sich längere Trockenphasen oder wiederholt auftretende Trockenjahre stärker aus.

Als waldbauliche Konsequenzen aus dem bisher vorliegenden Wissen ist ein sehr differenziertes Vorgehen in Abhängigkeit von der Wasserstressanfälligkeit des Standorts (Bodenart, Skelettanteil (nFk), Niederschlagshöhe und Verteilung, Exposition) aber auch hinsichtlich der Eingriffsstärke im Zuge von Pflege und Durchforstung notwendig. Auf Standorten mit potenziell hohem Wasserstress sollten Eingriffe nur schwach erfolgen, vor allem in älteren und bisher nicht konsequent gepflegten Beständen. Hier gilt es, in kurzen Abständen eine geringe Zahl von Z-Bäumen mit kleinen Eingriffen zu fördern, damit deren Vitalität durch Entlastung von Konkurrenz gefördert, aber nicht durch starke Umlichtung geschwächt wird.

Die oben beschriebene Herangehensweise, von Beginn an gemischte Bestände anzustreben, dann bei etwa 14 cm BHD eine bemessene Anzahl von vitalen Z-Bäumen (max. 50/ha) auszuwählen und konsequent zu fördern, bietet gute Erfolgsaussichten, Einzelbäume und Bestände gegenüber Umwelteinflüssen zu stärken und mit geringen Risiken in kurzer Produktionszeit die Zielsortimente zu erreichen.

Verjüngungsphase

Die Verjüngungsphase stellt den Übergang zwischen Dimensionierung und Etablierung dar. Mit der Entnahme hiebsreifer Bäume wird das Licht für die Einleitung von Naturverjüngung gesteuert. Die Rotbuche kommt bei gleichmäßiger schirmschlagartiger Belichtung von selbst, und das früh und reichlich. Deswegen sollte man sich zuerst über die gewünschten Mischbaumarten Gedanken machen. Wie schon an anderer Stelle beschrieben, muss die natürliche oder künstliche Verjüngung anderer Schattbaumarten (Tanne, Eibe) in dunklen Bereichen vor dem Aufschlag der Rotbuchen eingeleitet werden. Für gewünschte Lichtbaumarten

(z. B. Eiche) müssen ebenfalls Bereiche dunkelgehalten werden, bis in entsprechenden Mastjahren der gewünschten Baumart unter bzw. neben deren Samenbäumen großzügig femelartig Licht gegeben wird. Dort werden außer zielstarken Bäumen auch lichtreduzierender Unter- und Zwischenstand entnommen. Für das genannte Vorgehen ist Geduld notwendig, sowie schnelle Reaktion in entsprechenden Samenjahren. Ein bemessener Anteil von dicht gehaltenen Bereichen sollte über die ganze Verjüngungsphase erhalten werden, insbesondere dort, wo eine Anhäufung von Biotopbäumen mit Großhöhlen zu erkennen ist.

Der Klimawandel erfordert frühe Vitalisierung und zügige Dimensionierung, somit eine verkürzte Umtriebszeit und/oder eine Reduktion der Zieldurchmesser für die Qualitätsholzproduktion (Brang et al. 2016). Dabei sollen die Naturschutzaspekte nicht zu kurz kommen. Habitatstrukturen und Biotopbäume entwickeln sich nur langsam und vor allem in und an starken alten Bäumen. Deswegen ist in der Verjüngungsphase besonders auf solche Strukturen zu achten. Eine ausreichende Anzahl solcher Bäume sollte belassen werden. Hier spielt die Rotbuche – aber nicht nur sie – eine besondere Rolle: »Methusalem-bäume« und ganze »Altholzinseln« sollen erhalten bleiben und in den Folgebestand einwachsen.

Fazit

Auch wenn in zahlreichen Rotbuchenbeständen in den letzten Jahren infolge gehäufte klimatischer Extremjahre verstärkt Schäden verzeichnet werden mussten, weisen aktuelle Forschungsergebnisse darauf hin, dass die Rotbuche weiterhin eine wichtige Rolle als Haupt- oder Nebenbaumart in vielen Waldgesellschaften in Bayern einnehmen wird. Die aufgetretenen Schäden sollten daher, auch wenn sie unverhofft gekommen und deutlich ausgefallen sind, richtig eingewertet werden. Bei den sich rasch wandelnden Wachstumsbedingungen sollten alle waldbaulichen Möglichkeiten konsequent genutzt werden, um frühzeitig vitale Rotbuchen mit Qualitätserwartung in unseren Wäldern heranzuziehen. Die Rotbuche als Baumart unterschiedlicher Funktionen sollte in den Beständen auf fast allen Standorten beteiligt sein. Der Waldbau im Klimawandel erfordert an den Standort angepasstes, differenziertes und entschlossenes Handeln. Die Schaffung von klimastabilen, multifunktionalen Mischbeständen kann nur durch frühzeitig einsetzende und kontinuierliche Pflege gelingen. Die Vitalität einer bemessenen Zahl von Einzelbäumen als

stabiles Bestandsgerüst sowohl in ökonomischer als auch ökologischer Hinsicht ist das Ziel unseres waldbaulichen Handelns. Die konsequente und rechtzeitige Beteiligung und Sicherung von Mischbaumarten und der frühe Einstieg in eine zügige, kontinuierliche Dimensionierung erlauben eine risikoarme Bewirtschaftung. Dabei können naturschutzfachliche Aspekte mit wenig Zusatzaufwand, oft sogar mit reduziertem Aufwand, integriert werden

Literatur

- Antonucci, S.; Santopuoli, G.; Marchetti, M.; Tognetti, R.; Chia-vetta, U.; Garfi, V. (2021): What Is Known About the Management of European Beech Forests Facing Climate Change? A Review. In: *Curr Forestry Rep* 7 (4), S. 321-333. DOI: 10.1007/s40725-021-00149-4
- Arz, O.; Felbermeier, B.; Rothkegel, W.; Ruppert, O. (2020): Laubholzastung. LWF-Merkblatt Nr. 43
- Beck, J.; Kölling, C. (2012): Das Bayerische Standortinformationssystem BaSIS. LWF aktuell 94/ 2013, S. 4-7
- BMEL (2020): Waldschäden: Bundesministerium veröffentlicht aktuelle Zahlen. In: Pressemitteilung Nr. 40 (26. Feb. 2020)
- Brang, P.; Küchli, C.; Schwitter, R.; Bugmann, H.; Ammann, P. (2016): Waldbauliche Strategien im Klimawandel. In A. R. Pluess, S. Augustin & P. Brang (Hrsg.), *Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptionsstrategien* (Forum für Wissen, 1. Aufl., S. 341-364). Bern: Haupt Verlag
- Diaconu, D.; Kahle, H.-P.; Spiecker, H. (2017): Thinning increases drought tolerance of European beech. A case study on two forested slopes on opposite sides of a valley. In: *Eur J Forest Res* 136 (2), S. 319-328. DOI: 10.1007/s10342-017-1033-8. Obladen, Nora;
- Dechering, P.; Skiadaresis, G.; Tegel, W.; Keßler, J.; Höllerl, S. et al. (2021): Tree mortality of European beech and Norway spruce induced by 2018-2019 hot droughts in central Germany. In: *Agricultural and Forest Meteorology* 307 (8), S. 108482. DOI: 10.1016/j.agrformet.2021.108482
- Fischer, H.S.; Michler, B.; Fischer, A. (2019): High resolution predictive modelling of potential natural vegetation under recent site conditions and future climate scenarios: Case study Bavaria. – *Tuexenia* 39: 9-40
- Henkel, A.; Hese, S.; Thiel, Ch. (2022): Erhöhte Buchenmortalität im nationaloark Hainich? *AFZ* 3/2022 S. 26-29
- Mergner, U.; Manthey, M.; Scharnweber, T.; Kraus, D. (2020): Kronenverlichtung und Absterbevorgänge bei der Buche. *AFZ* 7/2020, S. 16-19
- Klädtke, J.; Ehring, A. (2017): Grünastung von Bergahorn, Buche, Eiche und Esche: geht das?. *AFZ* 12/2017, S. 13-16
- Kölling, C.; Rothkegel, W.; Ruppert, O. (2020): Das Nelderrad als sparsames und wirksames Pflanzschema. *AFZ* 5/2020 S. 42-46

Kraus, D.; Krumm, F. (2013): Integrative Ansätze als Chance für die Erhaltung der Artenvielfalt in Wäldern, European Forest Institute. 300S. ISBN 978-952-5980-24-0

Mausolf, K.; Wilm, P.; Härdtle, W.; Jansen, K.; Schuldt, B.; Sturm, K. et al. (2018): Higher drought sensitivity of radial growth of European beech in managed than in unmanaged forests. In: The Science of the total environment 642, S. 1201-1208. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.065

Martinez del Castillo, E.; Zang, C.S.; Buras, A. et al. (2022): Climate-change-driven growth decline of European beech forests. Commun Biol 5, 163 (2022). <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03107-3>

Mette, T.; Dolos, K.; Meinardus, C.; Bräuning, A.; Reineking, B.; Blaschke, M. et al. (2013): Climatic turning point for beech and oak under climate change in Central Europe. In: Ecosphere 4 (12), art145. DOI: 10.1890/ES13-00115.1

Meyer, P.; Spínu, A.P.; Mölder, A.; Bauhus, J. (2022): Management alters drought-induced mortality patterns in European beech (*Fagus sylvatica* L.) forests. In: Plant biology (Stuttgart, Germany). DOI: 10.1111/plb.13396

Neufanger, M.; Utschig, H.; Zanker, T. (2011): Grundzüge der Bewirtschaftung von Buchen- und Buchenmischbeständen im Bayerischen Staatswald. AFZ 21/2011, S. 10-11

Ruppert, O.; Rothkegel, W. (2021): Der Verbuchung auf der Spur. LWFaktuell 3/2021, S. 37-41

Peter, J.; Rothkegel, W.; Ruppert, O. (2011): Vom Schatten ins Licht. LWFaktuell 80/2011, S. 5-7

Ruppert, O.; Rothkegel, W. (2018): die Saat im Wald – wieder entdeckt. LWFaktuell 1/2018, S. 37-40

Ruhm, W.; Englisch, M.; Starlinger, F.; Geburek, T.; Perny, B.; Neumann, M. (2016): Buche (Rotbuche, *Fagus sylvatica* L.). BFW-Praxisinformation 41 – 2016, S. 10-13

Rothkegel, W.; Ruppert, O.; Peter, J. (2012): Jungbestandspflege – wichtige Weichenstellung für zukünftige Wälder. LWFaktuell 86/2012, S. 4-7

Ruppert, O.; Rothkegel, W.; Tretter, S. (2021): Waldpflege im Klimawandel. LWFaktuell 1/2021 S. 31-35

Rothkegel, W.; Ruppert, O. (2020): Anreicherungskulturen. LWF-Merkblatt Nr. 46

Rubio-Cuadrado, Á.; Camarero, J.J.; del Río, M.; Sánchez-González, M.; Ruiz-Peinado, R.; Bravo-Oviedo, A. et al. (2018): Drought modifies tree competitiveness in an oak-beech temperate forest. In: Forest Ecology and Management 429, S. 7-17. DOI: 10.1016/j.foreco.2018.06.035

Schütt; Weigerber; Lang; Roloff; Stimm (2006): Enzyklopädie der Holzgewächse; III-2 *Fagus sylvatica*

Schuldt, B.; Buras, A.; Arend, M.; Vitasse, Y.; Beierkuhnlein, C.; Damm, A. et al. (2020): A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests. In: Basic and Applied Ecology 45 (5/6), S. 86-103. DOI: 10.1016/j.baae.2020.04.003

Sohn, J.A.; Saha, S.; Bauhus, J. (2016): Potential of forest thinning to mitigate drought stress. A meta-analysis. In: Forest Ecology and Management 380, S. 261-273. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.07.046

StMUV, 2021: Klima-Report Bayern 2021: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (Hrsg.), 196 S.

Thierfelder, S. (2020): Extremjahre im Laubwald, LWF-aktuell 125, S. 10-13

Walthert, L.; Ganthaler, A.; Mayr, S.; Saurer, M.; Waldner, P.; Walser, M. et al. (2021): From the comfort zone to crown die-back. Sequence of physiological stress thresholds in mature European beech trees across progressive drought. In: The Science of the total environment 753, S. 141792. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141792

Wilhelm, G.; Rieger, H. (2013): Naturnahe Waldwirtschaft mit der QD-Strategie, Ulmer-Verlag, ISBN 978-3-8001-7858-2

Keywords: European beech, beech, climate change, silviculture

Summary: The European beech (*Fagus sylvatica* L.) is the deciduous tree species, which has so far been attributed a central role for the forest of our regions. At present their role in forestry circles with regard to the climate change intensively discussed. There are many indications that beech will continue to be of great importance in Bavaria in the future, although heat-loving or drought-tolerant tree species more competitive as climate change progresses become. That is why silvicultural practices must be reconsidered. Thus, age-related vitality losses should be avoided in the case of economic priority function by reducing the production periods for value carriers be reduced. Likewise, a consistent, steady controlling support of the European beech and its mixed tree species in all stand phases is an important building block on the way to the climate-adapted forest.
