



2 Lage der Versuchsflächen in Nordbayern; grüne Flächen symbolisieren bewaldete Gebiete. Quelle: Geobasisdaten, Bayerische Vermessungsverwaltung 2023

Pilzliche Schaderreger bei Buchenvitalitätsschwäche

Michael Muser, Nicole Burgdorf, Andreas Hahn

Wie vielen unserer Hauptbaumarten setzt die klimawandelbedingte Häufung von Hitze- und Trockenperioden auch der Rotbuche zu. Inwieweit pilzliche Schaderreger für die abnehmende Buchenvitalität verantwortlich sind, untersuchte die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) vom Frühjahr 2021 bis zum Herbst 2022 in vier nordbayerischen Buchenbeständen.

In den letzten Jahren haben die Klimaerwärmung und die Häufung von Wetterextremen in einigen Regionen zu deutlichen Vitalitätsverlusten bei Rotbuchen (*Fagus sylvatica*) geführt. Diese zeigen sich in Form von verstärkter Fruktifikation, verringertem Zuwachs, Laubverlust und frühzeitigem Blattabwurf (Abbildung 1). Besonders in exponierten und älteren Beständen sind auch starke Kronenschäden und Ausfälle zu verzeichnen (Eichhorn et al., 2003; Bogdziewicz et al., 2020; BMEL, 2021; Thurm et al., 2022). In Bayern ist dies vor allem im warm-trocke-

nen Unterfranken zu beobachten: Dort stocken 26% des bayerischen Buchenvorrats – und von dort stammen zwei Drittel der von 2015 bis 2021 gemeldeten Trockenschäden (Schißlbauer et al., 2022). Neben abiotischen Schadursachen wurden Schäden durch Insekten, z.B. durch den Kleinen Buchenborkenkäfer (*Taphrorychus bicolor*) und den Buchenprachtkäfer (*Agilus viridis*) angegeben. Der Befall mit Pilzen der Gattung Hallimasch und durch Schadpilze verursachte Rindennekrosen spielten unter den biotischen Schäden jedoch eine größere Rolle (Schißlbauer et al., 2022). Grundsätzlich treten an Rotbuchen eine Vielzahl von Schadorganismen auf, die teils schwer zu unterscheidende Symptome verursachen (Hendry et al., 1998; Bressemer, 2008). Über zwei Vegetationsperioden hinweg verschaffte sich die Abteilung »Waldschutz« der LWF auf vier Versuchsflächen in Nordbayern einen Überblick über relevante pilzliche Pathogene.

Untersuchungsflächen

Im Winter 2020/21 wählte die LWF vier geschädigte Rotbuchen-Bestände in Nordbayern aus, um deren Vitalitätszustand zu beschreiben und die Bandbreite der Pathogene zu ermitteln. Auf den Untersuchungsflächen hatten in den vorangegangenen

Nr. und Bestand	1 Bamberg	2 Ebrach	3 Nürnberg	4 Würzburg
Höhe ü. NN [m]	360	415	380	335
Ø Temperatur [°C] 1991–2020	8,93	8,46	9,27	9,54
Differenz Ø Temperatur [°C] 2011–2020 vs. 1991–2020	+ 0,47	+ 0,51	+ 0,52	+ 0,60
Ø Niederschlag [mm] 1991–2020	775	790	759	687
Differenz Ø Niederschlag [mm] 2011–2020 vs. 1991–2020	-73	-48	-61	-77

3 Klimatische Kennwerte der Beobachtungsflächen
Quelle: DWD 2023

Jahren maximal leichte Eingriffe stattgefunden. In allen Beständen gab es eine Spreitung des Vitalitätszustands, so dass sich der Schadverlauf bei verschiedenen Vitalitätsklassen beobachten ließ. Die vier Bestände (Abbildung 2) befinden sich auf Höhen zwischen 335 und 415 m ü. NN; Steil- und Randlagen wurden gemieden. Alle Standorte wiesen im Zeitraum von 2011 bis 2020 im Verhältnis zum 30-jährigen Mittel geringere Niederschläge und gestiegene Temperaturen auf (Abbildung 3).

Je Bestand wurden 20 Bäume ausgewählt, an denen Mitarbeitende der Abteilung »Waldschutz« phytopathologische Probenahmen und Untersuchungen durchführten. Diese Bäume umfassten sowohl einen Querschnitt über alle Schadstufen als auch über die sozialen Klassen nach Kraft, d.h. von vorherrschenden (Klasse 1) bis hin zu unterständigen Bäumen (Klasse 5).

Vitalitätsverlauf

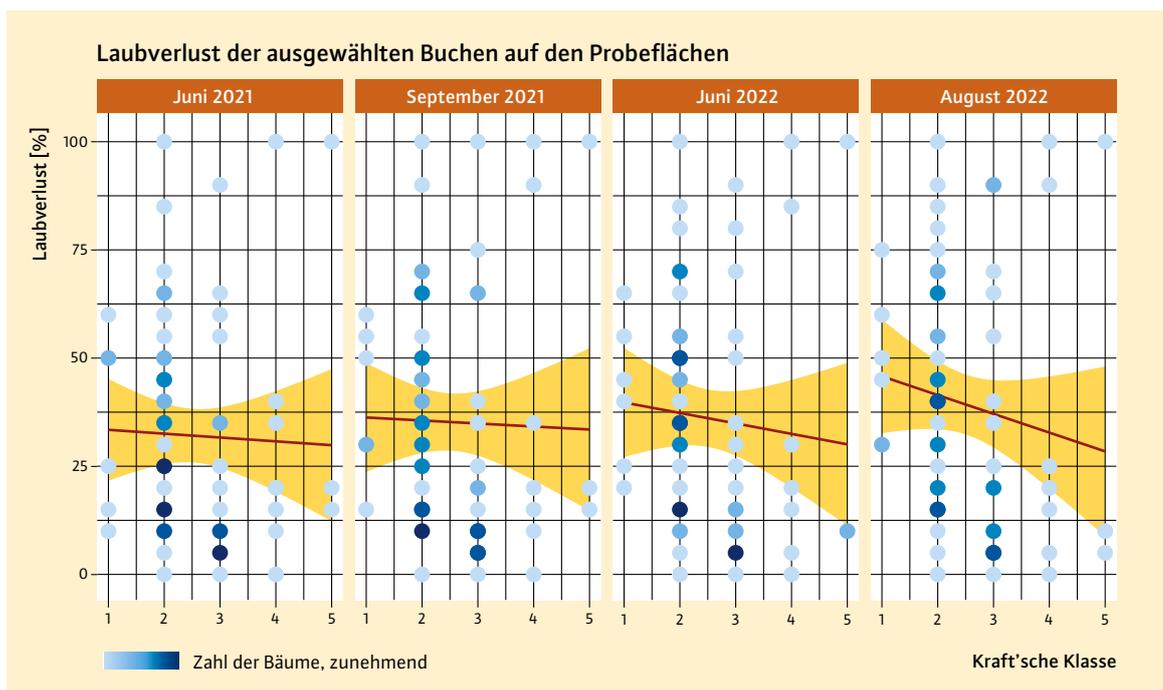
Im Juni und September 2021 sowie im Juni und August 2022 bonitierte man den Laubverlust optisch in 5-%-Schritten. Zu diesen Zeitpunkten waren die Buchen vollständig ausgetrieben (Juni) bzw. befanden sie sich nach der heißesten Periode im Jahr vor dem ersten Laubfall (September bzw. August). Da 2022 die Gefahr eines frühzeitigen Laubfalls bestand, wurde die Bonitur auf August vorverlegt.

An den vier Standorten verschlechterte sich der Belaubungszustand der Bäume von Juni 2021 bis August 2022 um durchschnittlich 7,5%. Es gab deutliche Unterschiede zwischen den sozialen Klassen: Während der Laubverlust bei den vorherrschenden und herrschenden Bäumen (Kraft'sche Klassen 1 und 2) anstieg, bauten mitherrschende Bäume ihre Krone leicht aus (Abbildung 4).

Selten Käfer und Läuse, ...

An der Waldklimastation (WKS) Ebrach wurden zehn der 20 Probebäume aus Gründen der Verkehrsicherung gefällt. Nur einer der zehn gefällten Bäume wies starken Käferbesatz im Stamm auf: Dort hatten sich flächig Buchenborkenkäfer angesiedelt. Buchenprachtkäfer (*Agrilus viridis*) und/oder Kleine Buchenborkenkäfer (*Taphrorychus bicolor*) waren in allen Kronen zu finden. Dabei wurden 28% der *A. viridis*- und 16% der *T. bicolor*-Fälle in vitalitätsgeschwächten Kronenbereichen nachgewiesen. Alle übrigen Funde sowie Holzbrüter waren in bereits abgestorbenen Astpartien.

Die verbliebenen noch stehenden 70 Beobachtungsbäume – zehn an der WKS Ebrach und je 20 auf den drei weiteren Flächen – untersuchte die LWF auf Nekrosen, Fäulen oder Hinweise auf Insektenfraß im unteren Stammbereich. Die Buchenwollschildlaus (*Cryptococcus fagisuga*) wurde in geringen Dichten



4 Laubverlust von Rotbuchen auf den Untersuchungsflächen in der Vegetationsperiode 2021 und 2022 nach Kraft'scher Klasse; je dunkler das Blau, desto mehr Bäume sind den jeweiligen Punkten zugeordnet (z. B. wiesen im Juni 2021 verhältnismäßig viele Buchen der Kraft'schen Klasse 2 25 % Laubverlust auf). Der Verlauf der roten Linie zeigt an, ob der Laubverlust von der sozialen Klasse unabhängig ist (waagrechte Linie) oder ob der Laubverlust mit der sozialen Stellung zunimmt (diagonaler Verlauf von links oben nach rechts unten).



5 von oben nach unten: Fäule und Rhizomorphen von Hallimasch am Stammfuß von Rotbuche (a), rot-orangene Fruchtkörper des Roten Pustelpilzchens (b) sowie Haupt- (Oval) und Nebenfruchtform (Pfeile) der Pfennig-Kohlenkruste (c)

Fotos: Michael Muser, LWF

an fünf Bäumen beobachtet. Sie schaffen Eintrittspforten für das Scharlachrote Pustelpilzchen (*Neonectria coccinea*), das in Rinde und Kambium Mikronekrosen verursacht. Starker Befall von weiter zurückliegenden *C. fagisuga*-Saugschäden fand sich an zwei Bäumen. Tierische Erreger spielten bei den Schäden im Stammbereich folglich eine eher untergeordnete Rolle. Buchenborkenkäfer und Holzbrüter befielen fast ausschließlich bestehende Nekrosen.

... aber viele Pilze

An einem Drittel aller Beobachtungsbäume wurden im Stammanlauf Fäulen verschiedenster Größen gefunden, die Arten der Gattung Hallimasch (*Armillaria* spp.) verursacht hatten (Abbildung 5a). Auffällig war auch der starke Besatz mit dem Scharlachroten Pustelpilzchen (*Neonectria coccinea*), dessen Fruchtkörper sich an einem Viertel der Buchen befanden (Abbildung 5b). Im stärkeren Kronenholz der zehn gefällten Bäume war durchwegs die Pfennig-Kohlenkruste (*Biscogniauxia nummularia*) vertreten (Abbildung 5c). In den anderen drei Beständen bestätigten besiedelte Astabbrüche auch dort ihr Vorkommen. In dem Bestand bei Ebrach war der Buchenkrebs (*Neonectria ditissima*) in Kronen der Altbäume auffällig; an der Verjüngung verursachte er Schäden in Form von Längsrissen. Fruchtkörper der Haupt- und Nebenfruchtform der Brandkruste (*Kretzschmaria deusta*) fanden sich in drei Beständen an insgesamt sieben Bäumen. Arten der als Schaderreger verbreiteten Gattung *Phytophthora* konnten an den Wurzeln und Stammfußnekrosen der beprobten Buchen nicht nachgewiesen werden.

Verbreitung und Befall mit Hallimasch

In Europa sind fünf baumschädigende Arten der Gattung Hallimasch beschrieben. Da diese forstlich relevanten Arten morphologisch und genetisch kaum zu differenzieren sind, beschränkte man sich im Rahmen der Untersuchungen auf den Nachweis der Gattung. Um die Verbreitung von Hallimasch in den Beständen zu ermitteln, wurden an den 70 Rotbuchen verschiedene Methoden angewendet:

- *Makroskopische Untersuchung* der Stammanläufe auf Fäulen, Nekrosen und Rhizomorphen
- *Wurzelproben* aller Probestämme; anschließende Oberflächendesinfektion und Auslage auf Nährmedien
- *PCR-Analyse* mit gattungsspezifischen Primern nach Lochman et al. (2004) an Holzproben für Nachweise im Holzkörper
- *Metabarcoding* von Bohrspanproben aus den vier Beständen

Für die PCR-Tests und das Metabarcoding wurde an der Probestelle auf etwa 1 m Höhe die Rinde entfernt. Anschließend entnahm man mit Hilfe einer oberflächensterilen Bohrmaschine Bohrspanproben im rindennahen Splintholz.

In den vier Untersuchungsbeständen war Hallimasch der am häufigsten nachgewiesene Pilz. Die Anzahl der Hallimasch-Nachweise variierte je nach Methode: Die *makroskopische Untersuchung* der Stammanläufe ergab, dass 33% der Probestämme durch Hallimasch verursachte Fäulen aufwiesen. Durch Kultivierung der *Wurzelproben* auf Nährmedium war *Armillaria* spp. bei der Hälfte der 70 Bäume im Wurzelraum nachweisbar. Bei der *PCR-Analyse* von Bohrspanproben gab es bei 33% der Buchen positive Nachweise. Überraschenderweise wurde bei dieser Untersuchungsmethode Hallimasch insbesondere im gesund scheinenden Splintholz detektiert und ließ sich vor allem in Proben von Rotbuchen mit geringeren Laubverlusten nachweisen (Abbildung 6). Als *Metabarcoding* wird die Sequenzierung von DNA aus Umweltproben bezeichnet, die aus einer Vielzahl von unterschiedlichen Arten (z. B. Pilzen) bestehen kann. Im Rahmen der Untersuchungen isolierte man zunächst DNA aus getrockneten, gemahlten Holzspänen, anschließend wurde die pilzliche Barcode-Region (ITS-Bereich) der in der Probe befindlichen Arten vervielfältigt und sequenziert. Die DNA-Sequenzierung über die *Illumina MiSeq*-Technologie führte vielfach zum Nachweis von Arten der Gattung Hallimasch. Wie erwähnt ist eine sichere Zuordnung auf Artebene aufgrund der nahen Verwandtschaft der Hallimasch-Arten und der damit einhergehenden Ähnlichkeit in der pilzlichen Barcode-Region schwierig. In den Bohrspanproben aus kleinen Nekrosen wurde über das Metabarcoding vielfach DNA identifiziert, die dem Scharlachroten Pustelpilzchen (*N. coccinea*) zugeordnet werden konnte. Auch die Brandkruste (*K. deusta*) war nachweisbar, ebenso wie *Fusarium* spp., *Diplodia mutila* und mehrere andere Pilze.

Diskussion

Die Beobachtungen zum Verlauf des Laubverlusts dienten primär dazu, die Schadintensität und das Voranschreiten der Schäden zu dokumentieren. Die geringe Individuenzahl lässt statistisch gesicherte Aussagen nicht zu – Studien von Thurm et al. (2022) in Mecklenburg-Vorpommern und von Mathes et al. (TUM, Lehrstuhl für Wald- und Agroforstsysteme; unveröffentlicht) decken sich jedoch mit den Ergebnissen unserer Untersuchungen des Vitalitätszustands. Thurm et al. stellten fest, dass besonders alte Bestände und Bestände mit geringerer Dichte eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für Laubverluste aufweisen. Zudem beobachteten Mathes et al., dass bisher bedrängte Bäume profitieren, wenn sich durch das Kronensterben der vormals dominanten Bäume die Konkurrenz um Licht und Wasser verringert. Die hier vorgestellten Untersuchungen ergaben, dass am aktuellen Schadgeschehen folgende Schadpilze am auffälligsten beteiligt sind:

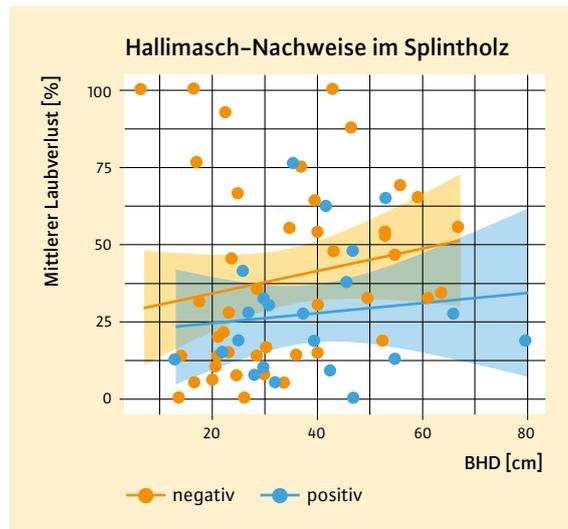
- Arten der Gattung Hallimasch (*Armillaria* spp.)
- Scharlachrotes Pustelpilzchen (*Neonectria coccinea*)
- Pfennig-Kohlenkruste (*Biscogniauxia nummularia*)

Das beobachtete Spektrum an Schadpilzen an der Rotbuche deckt sich mit den in Nordwestdeutschland festgestellten Arten (Langer et al., 2020).

Die Bandbreite der bestimmten Pilze mag für Praktiker erschreckend klingen – aus Waldschutzsicht ist dies aber ein gutes Ergebnis: Es wurde kein neuer Schaderreger entdeckt, der wesentlich zum Schadschehen beigetragen hatte. Anfangs bestand durchaus die Befürchtung, dass die Schäden an Buchen mit einem neuen Schaderreger in Zusammenhang stehen könnten.

Schäden durch *Armillaria* spp. in Form von Stammfußnekrosen konnten durch Rhizomorphen und per PCR bestätigt werden. In dieser Untersuchung fielen aber besonders die hohen Nachweisraten in asymptomatischem Gewebe von augenscheinlich gesunden Stämmen auf. Möglicherweise besitzt Hallimasch die Fähigkeit, unerkant als Endophyt im Pflanzengewebe auszuharren und erst bei für den Pilz günstigen Bedingungen erkennbare Schäden zu verursachen. Sein häufiges Auftreten bei den PCR-Nachweisen durch Bohrspaltenproben sowie im Metabarcoding deuten auf eine latente Durchseuchung von Hallimasch im Holzkörper der untersuchten Rotbuchen hin. Ob dies eine beginnende frische Hallimasch-Infektion darstellt oder in einer dauerhaften endophytischen Besiedelung begründet sein könnte, lässt sich aus den Untersuchungen nicht ableiten.

Die exemplarisch untersuchten Äste waren, insbesondere in Würzburg und Ebrach, häufig von einer intensiven, schnell fortschreitenden Weißfäule der Pfennig-Kohlenkruste geprägt, oft assoziiert mit *N. coccinea* und Prachtkäferbefall (*Agrilus viridis*). Neben den direkten Schäden lassen (Grün-)Astabbrüche Eintrittspforten für weitere Erreger entstehen. Zudem reduzieren sie das Kronenvolumen und lassen Licht an zuvor beschattete Stellen vordringen. Im Umfeld der Versuchsstandorte zeigte sich, dass sich die Pfennig-Kohlenkruste in warm-trockenen Regionen Nordbayerns von der Krone den Stamm hinab ausbreiten kann. Die Nachweise durch das Metabarcoding bestätigen, dass der Pilz dazu fähig ist, endophytisch im Gewebe zu überdauern (Nugent et al., 2005; Luchi et al., 2006). Nach Stressereignissen kann die Erkrankung – ähnlich dem Diplodia-Triebsterben oder der Ahorn-Rußrindenkrankheit – dann schnell voranschreiten (Luchi et al. 2016). *B. nummularia* war in den Befunden des Metabarcodings nicht stark vertreten, was durch den Schwerpunkt der Beprobungen auf bodennahe Nekrosen zurückzuführen sein kann. Hier waren selten symptomatische Ausbrüche zu sehen. Dagegen scheint sich der Befall mit der Pfennig-Kohlenkruste im Kronenbereich stärker auszuwirken: Dort führt er zu (Grün-)Astabbrüchen und somit zu Kronenverlusten.



Ausblick

Der ungebremste Klimawandel wird zu einer weiteren Zunahme von Wetterextremen führen, die mit einer Schwächung von Buchenaltbeständen einhergeht (Lindner et al., 2010; McDowell & Allen, 2015). Im Wechselspiel von abiotischem und biotischem Stress haben die Bestände einerseits mit Schädlingsabwehr und andererseits mit physiologischen Prozessen als Reaktion auf Dürrestress zu kämpfen (Gomez-Gallego et al., 2022). Um die durch Hallimascharten und andere Organismen verursachten Schadverläufe an Wurzeln nachverfolgen sowie die Stammholzentwertung und den Verlauf des Kronenverfalls besser abschätzen zu können, werden künftig Untersuchungen an noch größeren Individuenzahl notwendig sein. Dafür ist auch ein vermehrter Einsatz von modernen molekularbiologischen Methoden zur besseren räumlichen und zeitlichen Auflösung erforderlich. So könnten Modelle weiterentwickelt und ergänzt werden, die versuchen, Kippunkte unter sich ändernden Umweltbedingungen zu ermitteln.

Zusammenfassung

Die Extremjahre seit 2018 führten bei Rotbuchen im warm-trockenen Nordwesten Bayerns verstärkt zu Absterbeerscheinungen und frühzeitigem Blattabwurf. Die LWF untersuchte vier Buchenbestände hinsichtlich ihrer Vitalität und stellte fest, dass sich die Belaubung von Juni 2021 bis August 2022 um 7,5 % verschlechtert hatte. Um neben den abiotischen Einflussfaktoren mögliche weitere vitalitätsmindernde Treiber zu identifizieren, bestimmte man pilzliche Pathogene an Wurzeln, Stammfußläufen und im Splintholz. Dabei ließen sich in Wurzeln, Stammfußläufen und im asymptomatischen Splintholz häufig Arten der Gattung Hallimasch (*Armillaria* spp.) nachweisen. Oft vertreten waren auch das Scharlachrote Pustelpilzchen (*Neonectria coccinea*) und die Pfennig-Kohlenkruste (*Biscogniauxia nummularia*).

6 Nachweise der Gattung Hallimasch in Bohrspaltenproben aus dem Splintholz der 70 Probebäume mittels PCR in Abhängigkeit von Brusthöhendurchmesser (BHD) und durchschnittlichem Laubverlust (Juni 2021 bis August 2022). Jeder Punkt steht für einen Probebaum: Blaue Punkte stehen für Bäume mit Hallimasch-Nachweis, orange für Bäume ohne Hallimasch-Nachweis.

Literatur

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

Projekt

Das Projekt »Baumarten unter Trocken- und Hitzestress. – Phytopathologische Probleme (Z074)« (Laufzeit: 15.07.2020–14.05.2023) wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten finanziert. Dank gebührt auch den technischen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern Alexandra Nannig, Sarah Widmann und Christoph Holland für ihre tatkräftige Unterstützung.

Autoren

Michael Muser war bis Mitte Mai 2023 Mitarbeiter in der Abteilung »Waldschutz« und bearbeitete das Projekt Z074. Dr. Nicole Burgdorf leitete das Projekt und ist als phytopathologische Expertin auch darüber hinaus mit der Thematik beschäftigt. Dr. Andreas Hahn leitet die Abteilung.
Kontakt: nicole.burgdorf@lwf.bayern.de