

Welche Bäume prägen den Wald von morgen?

Natürliche Störungen beeinflussen die Struktur, Artenzusammensetzung und Dynamik von Wäldern. Während moderate Störungen die Biodiversität fördern, können häufige oder extreme Ereignisse Wälder destabilisieren und in ihrer Funktion schwächen. Durch den Klimawandel treten solche Störungen häufiger auf und sie werden intensiver. Dadurch wächst die Gefahr, dass große Flächen geschädigt werden und sich die Waldlandschaft langfristig verändert.

Resilienz im Klimawandel

Der Klimawandel führt in Mitteleuropa zu häufigeren und intensiveren Extremereignissen wie Dürren, Hitzewellen, Starkregen und Spätfrösten. Zunehmende Sommerdürre gilt als größtes Risiko für Wälder in gemäßigten Breiten. Gleichzeitig verändern sich die Winterbedingungen: Wärmere Winter führen zu einem früheren Vegetationsbeginn, wodurch empfindliche Entwicklungsphasen stärker mit Spätfrostergebnissen kollidieren. Auch Schädlingsdynamiken ändern sich, da viele Insekten schneller auf klimatische Schwankungen reagieren als Bäume.

Derartige Extremereignisse beeinflussen Wälder oft in Kombination und können sich gegenseitig verstärken. Besonders kritisch ist, dass solche Ereignisse unerwartet auftreten können und massive Folgen für Wachstum, Vitalität und Überlebensfähigkeit von Bäumen haben. Diese Entwicklung wirkt sich zunehmend

Von **Anke Jentsch**

Die Störungs- und Vegetationsökologin Anke Jentsch untersucht, wie sich extreme Wetterereignisse auf Baumarten europäischer und tropischer Waldökosysteme auswirken. Ihr Ziel: die **Resilienz artenreicher Wälder** im Klimawandel zu verstehen.



Die Widerstandsfähigkeit von Wäldern hängt stark von ihrer biologischen und genetischen Vielfalt ab.



Foto: P. Wolff

Störungsökologin Anke Jentsch entnimmt Blattproben aus dem Kronendach der Bäume – hier im tropischen Amazonas-Regenwald von Peru.

Ein Buchenwaldbestand am Schneeberg im Fichtelgebirge im Mai mit braunen Spätfrostschäden im Kronendach.

auf die Stabilität, Produktivität und Funktionsfähigkeit von Waldökosystemen aus und stellt die Forstwirtschaft vor große Herausforderungen. Forschungsvorhaben – etwa bei uns an der Professur für Störungsökologie und Vegetationsdynamik an der Universität Bayreuth – zielen darauf ab, die Widerstandsfähigkeit (Resilienz) europäischer Wälder im Klimawandel besser zu verstehen und Strategien für eine nachhaltige Anpassung zu entwickeln. Dabei stehen Baumartenvielfalt, genetische Diversität, Herkunft, ökophysiologische Prozesse sowie das Blattmikrobiom im Fokus.

Biodiversität und genetische Variation

Die Widerstandsfähigkeit von Wäldern hängt stark von ihrer biologischen und genetischen Vielfalt ab. Historische Bewirtschaftungsformen haben in vielen

Eine höhere Diversität (...) erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass einzelne Bäume oder Populationen an neue Bedingungen angepasst sind.

Regionen zu einer Vereinheitlichung der Baumarten geführt, etwa durch die Dominanz von Fichtenbeständen. Dies kann die Anpassungsfähigkeit an sich verändernde Umweltbedingungen einschränken. Eine höhere Diversität – sowohl zwischen Arten als auch innerhalb von Arten – erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass einzelne Bäume oder Populationen an neue Bedingungen angepasst sind. Neben der Einführung neuer, klimaresistenter Arten betrachten wir daher auch die Nutzung der vorhandenen genetischen Vielfalt heimischer Arten als wichtige Strategie.

Spätfrost und Frühjahrsphänologie

Spätfroste sind ein zentrales klimatisches Risiko für Laubmischwälder in der gemäßigten Klimazone. Trotz globaler Erwärmung bleibt die Häufigkeit von Spätfrostereignissen weitgehend konstant, doch

zahlreiche Baumarten werden anfälliger. Grund dafür ist die Verschiebung der Phänologie: Frühere Blattaustriebs- und Blühzeiten erhöhen die Wahrscheinlichkeit, dass empfindliches Gewebe Frost ausgesetzt ist.

Wie frostempfindlich Bäume sind, ist eng mit der evolutionären Anpassung einer Art an ihr Herkunftsklima verknüpft. Frosttolerante Arten treiben häufig früher aus, während empfindlichere Arten ihre Entwicklung verzögern. Diese Unterschiede sind oft phylogenetisch konserviert. Das heißt: Bestimmte biologische Merkmale wie DNA-Sequenzen oder Proteinstrukturen sind über sehr lange Zeiträume und Arten hinweg beinahe unverändert geblieben. Dies begrenzt die erfolgreiche Einführung neuer Baumarten aus wärmeren Regionen.

Gleichzeitig zeigen unsere Studien, dass die Frosttoleranz innerhalb einer Art variieren kann. Unterschiede zwischen Herkünften (Provenienzen) sowie frühere Stressbedingungen – etwa Trockenheit oder Erwärmung – beeinflussen die Kältetoleranz. Unsere Experimente mit jungen Schwarzkiefern belegen beispielsweise deutliche Unterschiede zwischen Populationen sowie eine erhöhte Frosttoleranz nach Trockenstress.

Dürre und physiologische Reaktionen

Trockenheit mit Wassermangel wirkt sich direkt auf zentrale physiologische Prozesse von Bäumen aus. Sie führt zur Schließung der Spaltöffnungen, reduziert die Leitfähigkeit im Wasserleitsystem und kann den Wassertransport unterbrechen. In der Folge wachsen die Bäume schlechter, verlieren verfrüht ihre Blätter und können im Extremfall sogar absterben. Die Reaktion auf Trockenheit unterscheidet sich zwischen Baumarten und funktionellen Gruppen. Nadelbäume sind oft weniger resistent gegenüber Dürre, verfügen jedoch über eine höhere Regenerationsfähigkeit. Laubbäume sind häufig widerstandsfähiger, erholen sich aber langsamer.

Die Bayreuther Experimente zu den Auswirkungen des Klimawandels auf europäische Waldbaumarten zeigen, dass auch innerhalb von Arten erhebliche Unterschiede in der Dürretoleranz

Die Reaktion auf Trockenheit unterscheidet sich zwischen Baumarten und funktionellen Gruppen.

Das Auftreten von Spätfrösten im Frühjahr bestimmt maßgeblich die Verbreitungsgrenze der Rotbuche.

existieren: Populationen aus trockeneren Herkunftsgebieten sind oft besser an Trockenstress angepasst. Diese innerartliche Vielfalt ist ein entscheidender Faktor dafür, wie gut Wälder sich in Zukunft anpassen werden können.

Kombinierte Stressfaktoren und Störungen

Wirken mehrere Stressfaktoren gleichzeitig, stellt das eine besondere Gefahr dar. Kombinationen aus Dürre, Hitze, Spätfrost und biotischen Störungen können zu großflächigem Waldsterben führen. Dürre begünstigt beispielsweise Insektenbefall, da geschwächte Bäume weniger Abwehrstoffe produzieren und ihre Kohlenstoffreserven erschöpfen. Insekten reagieren aufgrund ihrer kurzen Generationszeiten und hohen Mobilität besonders schnell auf klimatische Veränderungen. Dadurch können sie sich unter günstigen



Bedingungen massenhaft vermehren. Auch andere Störungen wie Windwurf oder Pilzkrankheiten beeinflussen die Walddynamik. Sie können einerseits neue Lebensräume schaffen und die Biodiversität fördern, andererseits aber die Stabilität von Wäldern langfristig gefährden. Die Bayreuther Forschungsaktivitäten widmen sich daher den Auswirkungen solcher Störungsinteraktionen auf die Widerstandsfähigkeit europäischer Waldbaumarten.

Ökologisches Gedächtnis und Resilienz

Einer unserer zentralen Ansätze zur Erklärung von Anpassungsprozessen ist das Konzept des „ökologischen Gedächtnisses“. Frühere Stressereignisse können physiologische Anpassungen auslösen, die die Widerstandsfähigkeit gegenüber ähnlichen Belastungen erhöhen. So kann eine moderate Vorbelastung die Toleranz gegenüber späteren Extremereignissen verbessern. Allerdings hat dieses Anpassungspotential Grenzen. Wiederholte oder besonders intensive Störungen können dazu führen, dass Wälder sich nicht mehr gut regenerieren können und es zu



Eschen sind besonders frostempfindlich, wie hier in einem Experiment zu sehen.

langfristigen Schäden kommt. Die Balance zwischen Widerstandsfähigkeit und Erholungsfähigkeit ist daher entscheidend für die Stabilität von Waldökosystemen. Experimentelle Ansätze ermöglichen es, die Wirkung kombinierter Stressfaktoren systematisch zu untersuchen und Schwellenwerte sowie Kippunkte zu identifizieren. Dabei ziehen wir häufig funktionelle Pflanzenmerkmale heran, um Reaktionen verschiedener Arten vergleichbar zu machen.

Bedeutung funktioneller Merkmale

Funktionelle Merkmale wie spezifische Blattfläche, Holzdichte oder Wuchshöhe liefern wichtige Hinweise auf die ökologische Strategie von Pflanzen. Sie ermöglichen es, über Artgrenzen hinweg Muster zu erkennen und Vorhersagen über die Reaktion von Ökosystemen auf Umweltveränderungen zu treffen. Die Kombination solcher Merkmale mit experimentellen Daten und Modellen ist ein zentraler Bestandteil moderner ökologischer Forschung und trägt wesentlich zum Verständnis zukünftiger Waldentwicklungen bei.



Europäische Baumarten im Ökologisch-Botanischen Garten der Uni Bayreuth: Unter extremen Wetterbedingungen werden die Schwellenwerte ihrer Resilienz analysiert.

Mikrobiome und Phyllosphäre

In einem zunehmend wichtigen Forschungsbereich beschäftigen wir uns an der Universität Bayreuth damit, wie mikrobielle Gemeinschaften insbesondere auf Blattoberflächen – in der sogenannten Phyllosphäre – Waldbaumarten beeinflussen. Blätter sind Lebensraum für zahlreiche Bakterien und Pilze, die sowohl auf der Oberfläche als auch im Inneren des Gewebes vorkommen. Diese Mikroorganismen erfüllen vielfältige Funktionen: Einige wirken pathogen, viele jedoch neutral oder sogar positiv, indem sie Pflanzen vor Krankheiten schützen oder ihre Stressresistenz erhöhen. Wälder bieten durch ihre komplexe Struktur günstige Bedingungen für stabile mikrobielle Gemeinschaften, etwa durch hohe Luftfeuchtigkeit und vielfältige Mikrohabitate. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Arbeitsgruppen Störungsökologie und Vegetationsdynamik sowie Ökologische Mikrobiologie klettern ins Kronendach, um das Blattmikrobiom von den sonnenexponierten Blättern in den Baumwipfeln ebenso zu ernten wie in Stammnähe.

Fotos: J. Ehrmann, A. von Heßberg



Die Balance zwischen Widerstandsfähigkeit und Erholungsfähigkeit ist daher entscheidend für die Stabilität von Waldökosystemen.

Studierende und Nachwuchswissenschaftlerinnen bei der Montage der langen Folientunnel für die experimentelle Dürre-Manipulation.

neue Perspektiven für das Waldmanagement, etwa durch die gezielte Förderung nützlicher mikrobieller Gemeinschaften.

Fazit: Zukunftsforschung zu resilienten Wäldern

Die Zukunft europäischer Wälder hängt maßgeblich davon ab, wie gut sie sich an komplexe und sich überlagernde Stressfaktoren anpassen. Wichtige Einflussfaktoren sind:

- Vielfalt an Baumarten und genetischen Ressourcen
- Anpassung an lokale Standortbedingungen und Herkunft
- Berücksichtigung von Wechselwirkungen zwischen Klima, Insekten und Mikroorganismen
- Waldbauliche Nutzung von Erkenntnissen über Artenvielfalt, ökologisches Gedächtnis und funktionelle Merkmale

Die Kombination aus experimenteller Forschung und praktischer Anwendung liefert die Grundlage für ein nachhaltiges Waldmanagement. Ziel ist es, artenreiche Wälder so zu gestalten, dass sie auch unter zukünftigen Klimabedingungen stabil bleiben und ihre ökologischen sowie wirtschaftlichen Funktionen erfüllen können.

Prof. Dr. Anke Jentsch

ist Professorin für Störungsökologie und Vegetationsdynamik an der Universität Bayreuth. Sie forscht zu den Auswirkungen klimatischer Extremereignisse auf die Biodiversität und ist Mitglied im Forum Ökologie der BADW.