Konsequenzen des Klimawandels auf die Baumartenmischung des Wienerwaldes aufgrund historischer Trockenstressreaktionen

TORSTEN W. BERGER
EMILIA WINTER ARTUSIO
KLAUS DOLSCHAK
PROJEKTTEAM

Kenntnisse über die Trockenstressreaktionen heimischer Baumarten sind entscheidend, um klimabedingte Verschiebungen ihrer Verbreitungsgebiete abzuschätzen. Die Rotbuche, dominierende Baumart im Wienerwald, wird jedoch als besonders empfindlich auf Bodentrockenheit und hohe Lufttemperaturen beschrieben. Zahlreiche, andere Baumarten sind derzeit nur in geringem Ausmaß beigemischt.

Schlussfolgerungen aus dem WiwaKonKlim-Projekt

- Mittlere Zuwachsreaktionen auf akuten Trockenstress zeigen, dass Lärche und Schwarzkiefer am trockenresistentesten sind. Die Buche im Wienerwald rangiert am viertletzten Platz von 14 untersuchten Baumarten.
- Auf frischen Standorten mit optimaler Nährstoffversorgung ist die Anfälligkeit der Buche für Trockenstress erhöht.
- Langfristige Wachstumsprognosen für zukünftige Klimaszenarien zeigen jedoch neutrale Reaktionen für Buche und Traubeneiche. Klarer Gewinner ist die Zerreiche. Abnehmendes Wachstum zeigen Lärche, Schwarzkiefer, Rotkiefer, Fichte und Bergahorn.

Im Projekt WiwaKonKlim werden Standortsfaktoren, dendrochronologische und dendrochemische Analysen sowie ökohydrologische Modelle mit einem einzigartigen Datensatz aus Boden- und Blattdaten der Jahre 1984, 2012 und 2022 verschnitten. Die zentrale Arbeitshypothese lautet, dass der Klimawandel Vitalität und Wachstum der gegenwärtig dominierenden Buche im Wienerwald negativ beeinflusst, und dass Anpassungen in der zukünftigen Baumartenmischung notwendig sind, um wesentliche Ökosystemfunktionen zu sichern.

Die Forschung konzentrierte sich auf folgende Fragen:

- Wie sensibel reagiert die Buche im Vergleich zu den anderen vorkommenden Baumarten auf Trockenstress?
- Wie beeinflussen Standortsfaktoren (Klima, Boden, Lage) die baumartenspezifische Empfindlichkeit?
- Kann man anhand retrospektiver Analysen historischer Trockenstressreaktionen und Wachstumsbedingungen die Zukunftsfähigkeit verschiedener Baumarten unter veränderten Klimabedingungen modellieren?

Der Wienerwald im sommerwarmen Osten von Österreich, der häufig unter Trockenperioden leidet, bietet ideale Bedingungen für diese Untersuchungen. Das allgemeine Ziel ist es, Grundlagen für eine klimafitte Bewirtschaftung von Laubwäldern zu erstellen.

Methodik

1984 wurden 152 Altbuchenbestände erfasst. 2012 untersuchte man bei 97 verbliebenen Beständen erneut Boden- und Blattproben (Berger et al., 2016). Diese Standorte wurden 2022 im Rahmen dieses Projektes erneut aufgesucht, wobei 62 Standorte für eine Wiederholungsaufnahme verfügbar waren. Erstmals berücksichtigten wir auch beigemischte Baumarten (jeweils 7 Bäume pro Standort). Am häufigsten beigemischt waren Traubeneiche, Zerreiche und Lärche, die auf 27, 12 bzw. 12 der 62 Standorte vorkommen. Ein Versuchsstandort mit Buche, Fichte, Lärche und Douglasie wurde zusätzlich aufgenommen. Mit 5 mm-Zuwachsbohrern entnahm man von allen „Baumgruppen“ (sieben Bäume einer Art, zwei Wiederholungen pro Baum) etwa 2200 Stammbohrkerne. Deren Jahrringe wurden für die dendrochronologische Untersuchung datiert und vermessen. Für Hainbuche, Linde und Spitzahorn war eine Datierung nicht möglich, wohl aber für die 14 in Tabelle 1 aufgelisteten Arten. Zur Bestimmung des Trockenstresses wurde eine bodenhydrologische Modellierung durchgeführt (Dolschak et al., 2019). Das Modell simuliert den Wasserhaushalt auf den einzelnen Standorten in täglichen Schritten. Anhand der simulierten Bodenfeuchte, verschiedener Transpirationsparameter

Tabelle 1: Rangmittel der drei Trockenheitsreaktionen Resistenz, Erholung und Resilienz für 14 Baumarten, standardisiert auf das Wachstum der Buche (Fagus sylvatica) am selben Standort (Differenz). Die Farbskala hebt die am meisten (blau) und am wenigsten (rot) trockenresistenten Baumarten hervor. N ist die Anzahl der verwendeten datierten Stammbohrkerne pro Baumart (modifiziert aus Winter Artusio et al., 2025).

Baumart	N	Rangmittel
Bergahorn	13	11,00
Buche	855	9,00
Douglasie	14	11,67
Esche	49	12,67
Fichte	69	6,00
Lärche	155	2,00
Roteiche	14	7,00
Rotkiefer	40	4,33
Schwarzerle	21	8,67
Schwarzkiefer	74	7,33
Tanne	32	7,00
Traubeneiche	313	7,67
Vogelkirsche	14	4,67
Zerreiche	155	6,00

sowie der klimatischen Wasserbilanz nach Jahr, Standort und saisonalen Beobachtungszeiträumen konnten folgende vier Trockenjahre für die weitere Analyse identifiziert werden: 1983, 2000, 2003 und 2015. Die zwei Jahre vor bzw. nach dem Trockenjahr wurden als Vor- bzw. Nachperiode definiert.

Zuwachsreaktion auf Trockenstress von Buche im Vergleich zu 13 beigemischten Baumarten

Die Trockenheitsreaktion einer Baumart lässt sich in drei Komponenten unterteilen:

- Resistenz: Wie stark bricht das Wachstum während einer Trockenperiode ein? (= Jahrringbreite während der Trockenheit / Jahrringbreite während der Vorperiode),
- Erholung: Wie gut erholt sich der Baum nach einer Trockenperiode im Vergleich zur Dürrephase? (= Jahrringbreite während der Nachperiode / Jahrringbreite während der Trockenheit),
- Resilienz: Wie nah kommt das Wachstum nach einer Trockenphase wieder an das Vorniveau heran? (= Jahrringbreite der Nachperiode / Jahrringbreite der Vorperiode).

Es wurden die mittleren jährlichen Medianwerte der Trockenheitsreaktionen von 13 Baumarten und der Vergleich zur Buche (Differenzwerte auf denselben Standorten) berechnet. In allen Fällen ist die Resistenz kleiner als Null, was darauf hinweist, dass die bodenhydrologisch identifizierten vier Trockenjahre tatsächlich mit einer reduzierten Jahrringbreite verbunden sind. Diese drei Parameter ermöglichen es, unterschiedliche physiologische Reaktionsmuster der Baumarten zu erkennen. Beispielsweise zeigt die Schwarzkiefer eine geringe Resistenz (0,75), erholt sich jedoch schnell (1,70). Die Buche reagiert schwach auf Trockenheit (alle drei Parameter liegen zwischen 0,93 und 0,96), zeigt aber unter feuchten Bedingungen stark positive Wachstumsraten. Für die Analyse wurden die drei Parameter zunächst separat für die 14 Baumarten (standardisiert auf das Wachstum der Buche am selben Standort) gereiht. Anschließend wurden die drei Einzelränge pro Baumart gemittelt und in Tabelle 1 dargestellt. Die daraus resultierende Gesamtreihung der Baumarten von sehr trockenresistent zu wenig trockenresistent lautet: Lärche > Rotkiefer > Vogelkirsche > Fichte = Zerreiche > Tanne = Roteiche > Schwarzkiefer > Traubeneiche > Schwarzerle > Buche > Bergahorn > Douglasie > Esche.

Wechselwirkung zwischen Standort und Trockenstress

Der Zusammenhang zwischen Standortsfaktoren und Trockenstress wurde bisher kaum untersucht. Beobachtungen zeigen, dass die Buche auf nährstoffarmen (Abb. 1a) und trockenen Standorten (Abb. 1b) weniger sensibel auf Trockenheit reagiert. Dies deutet auf eine bemerkenswerte Anpassungsfähigkeit hin. Bei Stickstoffmangel und bei Wasserknappheit investiert sie stärker in eine intensive und tiefreichende Durchwurzelung als in oberirdische Biomasse. Auf frischen Standorten mit optimaler Nährstoffversorgung erhöht sich hingegen die Anfälligkeit der Buche für Trockenstress.

Auch die Böden sind vom Klimawandel betroffen. Dies konnte anhand der Veränderung der Kohlenstoffvorräte bis in 90 cm Bodentiefe über einen Zeitraum von knapp vier Jahrzehnten nachgewiesen werden (Abb. 2). Unsere Ergebnisse zeigen eine Zunahme im Oberboden, möglicherweise durch höheren Streueintrag infolge gesteigerten Zuwachses. Ein Düngungseffekt durch stetig steigendes atmosphärisches CO_2 und hohe Stickstoffeinträge ist möglich. In 20-50 und 50-90 cm Bodentiefe hingegen nahmen die Kohlenstoffvorräte signifikant ab. Diese Verluste lassen sich unter anderem auf das zunehmend wärmere und feuchtere Klima und dem damit beschleunigten mikrobiellen Abbau zurückführen. Zudem vermuten wir einen geringeren Streueintrag abgestorbener Wurzeln in tiefere Bodenhorizonte. Insgesamt überstiegen die Verluste die Zunahmen deutlich. Der mittlere Nettoverlust an Kohlenstoff zwischen 1984 und 2022 betrug rund 17 t/ha, wobei die Abnahmen im letzten Jahrzehnt (2012-2022) etwa ebenso groß waren wie in den drei Jahrzehnten (1984-2012) zuvor.

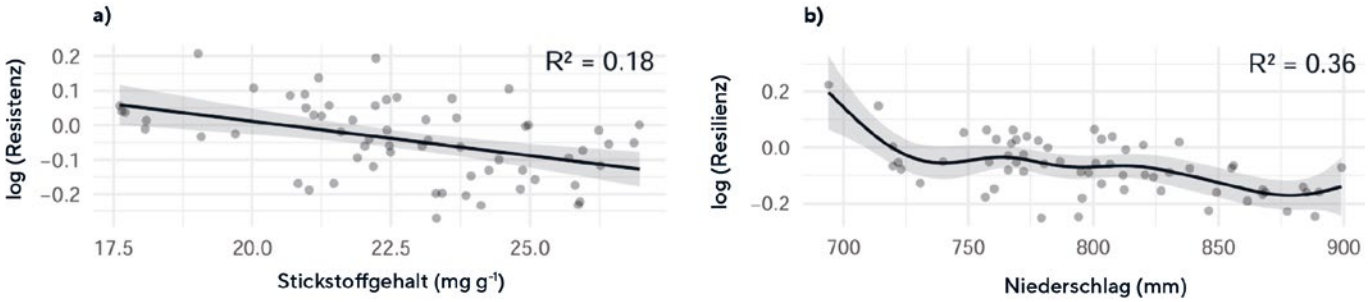

Abb. 1: a) Resistenz der Buche gegenüber Trockenstress in Abhängigkeit vom Stickstoffgehalt der Blätter und b) Resilienz der Buche nach Trockenstress in Abhängigkeit von der Niederschlagshöhe für alle 63 Standorte.

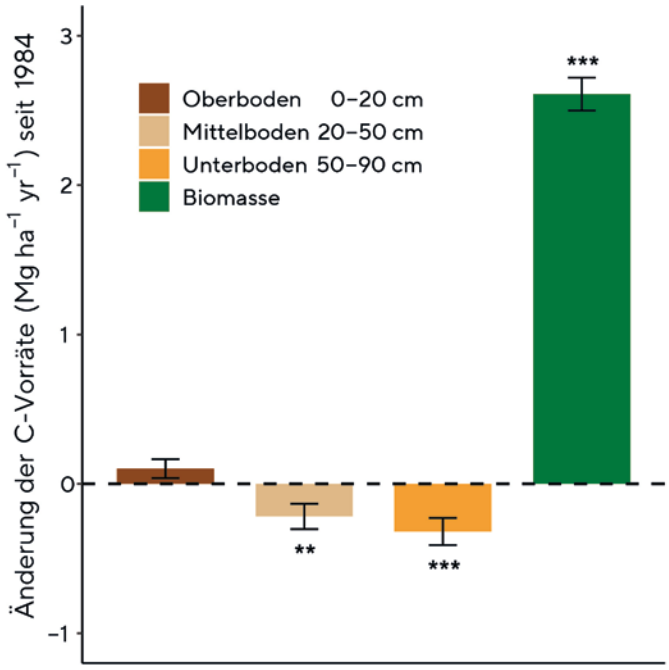

*Abb. 2: Änderung der organischen Kohlenstoffvorräte im Mineralboden und der oberirdischen Biomasse in Buchenbeständen des Wienerwaldes (Mittel ± Standardfehler, N = 62) zwischen 1984 und 2022. Signifikante Abweichungen von Null: ***p<0.001; **p<0.01 (modifiziert aus Mayer et al., 2025).*

Zukunftsfähigkeit der verschiedenen Baumarten unter sich veränderten Klimabedingungen

Wir analysierten die historischen Wachstumsbedingungen von acht der 14 Baumarten für den Zeitraum 1931–2022. Es wurde der Alterstrend aus den Jahrringchronologien entfernt, um die mittleren standörtlichen Wachstumsbedingungen der jeweiligen Jahre zu ermitteln. Parallel dazu wurden auf Basis meteorologischer Tagesdaten verschiedene Wachstumsfaktoren berechnet: Lufttemperatur, Transpirationssumme und -defizit, klimatische Wasserbilanz, modellierte Bodenfeuchte sowie verfügbarer Wassergehalt.

Anschließend wurden die Korrelationskoeffizienten zwischen den Jahrringabweichungen von der Mittellinie und den Wachstumsfaktoren bestimmt. Auf dieser Basis modellierten wir die Jahrringabweichungen unter zukünftigen Klimabedingungen bis 2100. Dafür wurden drei Klimaszenarien berücksichtigt: Baseline (keine Klimaänderung), RCP 4.5 (moderate Treibhausgasreduktionen) und RCP 8.5 (keine Treibhausgasreduktionen). Die Ergebnisse zeigen, dass die Zerreiche als einzige Baumart durchgehend positiv auf die projizierten Klimabedingungen reagiert und somit als klarer Gewinner hervortritt. Buche und Traubeneiche waren weitgehend neutral ohne deutliche Unterschiede zwischen den Szenarien. Lärche, Schwarzkiefer, Rotkiefer, Fichte und Bergahorn wiesen hingegen deutlich negative Wachstumsreaktionen auf, insbesondere unter RCP 8.5. Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass sich die kurzfristige Wachstumsreaktion auf akuten Trockenstress (z.B., Lärche ist klarer Gewinner) von der langfristigen Wachstumsprognose (Lärche als einer der Verlierer) unterscheiden kann.

Literatur

Kann beim Erstautor angefordert werden:
torsten.berger@boku.ac.at

Projektteam:
Univ.-Prof. Dr. Torsten W. Berger [1,*], Emilia Winter Artusio BSc. [1,2], Dr. Klaus Dolschak [1], Dr. Mathias Mayer [1], Univ.-Prof. Dr. Michael Grabner [2], Dr. Michael Tatzber [3], Dr. Iftekhar U. Ahmed [3], Elisabeth Wächter [2], Isolde K. Berger [1], Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Wanek [4], Ing. Pétra Berger [1,4]

[1] Institut für Waldökologie, BOKU
[2] Institut für Holztechnologie und Nachwachsende Rohstoffe, BOKU
[3] Abteilung Immissions- und Pflanzenanalyse, BFW
[4] Zentrum für Mikrobiologie und Umweltwissenschaften, Universität Wien
[*] E-Mail: torsten.berger@boku.ac.at