

Zeitverzögerte Reaktion des Wachstums der Buche nach extrem warm-trockenen Jahren

Buchenforschung in der Abteilung Umweltkontrolle der NW-FVA

Johannes Eichhorn, Uwe Paar & Markus Wagner

Das forstliche Umweltmonitoring an der NW-FVA

Die natürliche zeitliche Veränderung durch abiotische und biotische Einflüsse führt zu einer Variabilität der Lebensbedingungen in Waldökosystemen. Hinzu kommt, dass die Ansprüche der Gesellschaft an den Wald weit gefächert sind und auch diese einem Wandel im Laufe der Zeit unterliegen. Mit Köhlerei und Glashütten, Streunutzung und Waldweide, die jeweils etwa bis Mitte des 19. Jahrhunderts stattfanden (BÜRGI 1998) sowie Säure- und Stickstoffeinträgen aus anthropogenen Quellen bis hin zum Klimawandel sind beispielhaft Einflüsse benannt, die über die letzten zwei Jahrhunderte für Veränderungen der standörtlichen Bedingungen in Wäldern stehen. Auch der Bedarf der Öffentlichkeit an nachwachsenden Rohstoffen und Trinkwasser, an Erholungs-, Schutz- und Naturschutzleistungen des Waldes belegt, wie eng Veränderungen in Wäldern und die

Waldentwicklung mit gesellschaftlichen Wertvorstellungen und daraus folgenden Managementstrategien verknüpft sind. Die über Jahrhunderte reichende Veränderung der Wälder in Deutschland erschwert es, unter unseren Bedingungen zeitbezogen Referenzen unbeeinflusster Waldökosysteme festzulegen.

Aufgabe des Forstlichen Umweltmonitorings an der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) ist es, diese Veränderungen messend festzuhalten und zu dokumentieren. Die ältesten und bis heute existierenden Zeitreihen mit speziellen Messungen für das Forstliche Umweltmonitoring beginnen Ende der 1960er Jahre mit den heute als Intensivmessflächen ausgebauten Waldparzellen im niedersächsischen Solling. Wenig später schlossen sich die Messorte im hessischen Krofdorf sowie im Reinhardswald (1971) an.

Das Forstliche Umweltmonitoring erfasst mittel- bis langfristig Einflüsse der Umwelt auf die Wälder wie auch deren Re-

aktionen, zeigt Veränderungen von Waldökosystemen auf und bewertet diese auf der Grundlage von Referenzwerten. Es leistet Beiträge zur Daseinsvorsorge, arbeitet die Informationen bedarfsgerecht auf, erfüllt Berichtspflichten, berät auf fachlicher Grundlage und gibt Entscheidungshilfen im Sinne einer nachhaltigen Waldwirtschaft.

Das Forstliche Umweltmonitorings der Länder Hessen, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein ist eingebunden in das Europäische Waldmonitoring unter ICP Forests (Level I seit 1984, Level II seit 1994) und erfüllt die dort definierten Qualitätsstandards (FERRETTI & SCHRAUB 2014; <http://icp-forests.net>; Manual: <http://icp-forests.net/page/icp-forests-manual>; sowie EICHHORN et al. 2011). Das europäische Waldmonitoring ist heute hinsichtlich inhaltlicher Tiefe, räumlicher Repräsentanz, Langfristigkeit, Datenqualität und internationaler Vergleichbarkeit ein weltweit beispielhaftes Monitoring Programm.

Grundsätzlich werden im Forstlichen Umweltmonitoring walddflächenrepräsentative Übersichtserhebungen auf Rasterebene („Level I“), die Intensive Dauerbeobachtung ausgewählter Waldökosysteme (im wesentlichen „Level II“) sowie Forschungs- und Experimentalflächen unterschieden (FERRETTI & SCHRAUB 2014). Das Level-II-Programm bietet dabei ein besonders intensives Monitoring für eine geringere Anzahl von Flächen, während das Level-I-Programm weniger detaillierte Übersichtserhebungen an einer größeren Anzahl von Standorten auf einem regelmäßigen Stichprobenraster von 8 km x 8 km (in Südhessen z. T. verdichtet auf 4 km x 4 km) beinhaltet.

Der Erkenntnisbeitrag des forstlichen Umweltmonitorings soll nachfolgend an einem Beispiel erläutert werden: In diesem wird mit den Daten des Intensiven Umweltmonitorings eine Bewertung der Wachstumsreaktion der Buche in Folge



Abb. 1: Messfläche des intensiven Umweltmonitorings (Nordhessen)

Foto: J. Eichhorn

extrem warm-trockener Sommer vorgekommen.

Buche in Hessen

Hessen liegt im Zentrum des europäischen Buchenvorkommens. Mit einem Anteil von 31 % ist die Rotbuche die häufigste Baumart in hessischen Wäldern. Ihr Flächenanteil hat sich in den letzten 20 Jahren durch gezielte waldbauliche Maßnahmen erhöht. Für die Forstwirtschaft sind neben der Boden pflegenden Wirkung dieser Baumart, ihre Naturnähe, ihr Naturverjüngungspotenzial, die vielfältigen Optionen in der Mischung mit anderen Baumarten sowie die Holznutzung von Bedeutung.

Die Buche zeichnet sich durch eine hohe Konkurrenzkraft auf unterschiedlichen Standorten aus. Im Zuge des Klimawandels werden allerdings eine geringere Wasserverfügbarkeit bereits zu Beginn der Vegetationsperiode sowie die Häufung von Trockenperioden während der Sommermonate erwartet. Beide Faktoren können die Buche in ihrer Vitalität und Produktivität beeinträchtigen. Für die in langen Zeiträumen produzierende Buchenwirtschaft stellt der Klimawandel folglich eine besondere Herausforderung dar.

Methoden

Flächen

Im Rahmen des Beispiels werden Daten der Intensivmessfläche Zierenberg verwendet, eine von aktuell acht überwiegend mit Buche bestandenen Level-II-Flächen des Intensiven Monitorings der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt.

Fruchtbildung der Buche

Die jährliche Produktion an Samen (Fruchtbildung, Fruktifikation) kann bei schwer fruchtigen Baumarten wie der Buche eine erhebliche Änderung interner Kreisläufe bewirken. In der terrestrischen Bonitur der Waldzustandserhebung (Hessen 139 Plots auf einem 8 km x 8 km Netz) wird unterschieden: „ohne Fruchtbildung“: Sie tritt nicht oder nur

Tab 1.: Übersicht Wachstum Buche, sieben Intensive Monitoring Flächen Hessens

Indikator (jeweils Relation vom Mittel 1998–2002)	2003	2004	2005	2006
Radialzuwachs	107	57	84	84
Höhentriebentwicklung	102	70	55	95

in unbedeutender Ausprägung auf. Fruchtbildung wurde nach Absuchen der Krone mit dem Fernglas auch in einem vertretbaren Zeitaufwand nicht festgestellt. (2) „gering“: Fruchtbildung tritt nur vereinzelt auf, sie ist nicht auf den ersten Blick erkennbar. Es muss bewusst mit dem Fernglas danach gesucht werden. (3) „mittel“: Fruchtbildung ist so ausgebildet, dass sie unmittelbar – auch ohne Fernglas – erkennbar ist. Das Erscheinungsbild des Baumes wird durch die Fruchtbildung beeinflusst, jedoch nicht geprägt. (4) „stark“: Fruchtbildung fällt ins Auge, ist auf den ersten Blick erkennbar, prägt das Erscheinungsbild des Baumes.

Jahrringentwicklung

Das jährliche Wachstumsverhalten von Bäumen lässt sich auch ohne regelmäßige Messungen rekonstruieren, wenn man den Bäumen Bohrkerne entnimmt und die Jahrringbreiten vermisst (Dendrochronologie). Im Rahmen einer bundesweiten Studie wurden von Beck (vgl. BECK 2010) an Buchen-Intensiv-Monitoringflächen Bohrkerne für Zeitreihenanalysen der jährlichen Wachstumsraten der Bäume untersucht. Die erstellten Zeitreihen wurden dankenswerter Weise durch den Autor zur Verfügung gestellt. An jeder Intensiv-Monitoringfläche wurden mindestens 20 den Bestand dominierende Bäume in Brusthöhe mit je zwei Bohrkernen beprobt. Zusätzlich existieren für ausgewählte Level-II-Flächen hochauflösende Stammumfangmessungen zur Erfassung des Zuwachsverlaufs der Jahrringe innerhalb der Wachstumsperiode.

Klimatische Wasserbilanz und Feldkapazität

Die klimatische Wasserbilanz (KWB) ist eine einfache Methode, um die Wasser-

versorgung von Vegetationsbeständen abzuschätzen (MÜLLER 2006, SPELLMANN et al. 2007, 2011, SUTMÖLLER et al. 2009). Die KWB ist die Differenz aus dem gefallenen Niederschlag und der potenziellen Verdunstung. Damit kann die KWB als Richtwert für die potenzielle, niederschlagsbezogene Wasserverfügbarkeit interpretiert werden. Geht man davon aus, dass der Bodenwasserspeicher in der Nicht-Vegetationszeit vollständig aufgefüllt wird, steht zu Beginn der Vegetationsperiode zusätzlich die für die Bestände erreichbare, potentielle Bodenwassermenge zur Verfügung. Diese wird als nutzbare Feldkapazität (nFK) bezeichnet und kann zur Einschätzung der Wasserversorgung der Waldstandorte mit der KWB verrechnet werden (KWB+nFK).

Ergebnisse

In der jüngeren Vergangenheit hat sich aus meteorologischer Sicht vor allem das Jahr 2003 als extremes Trockenjahr mit überdurchschnittlich hohen Temperaturen und vergleichsweise geringen Niederschlägen während der Vegetationsperiode ausgezeichnet.

Nach EICHHORN et al. (2008) hat die Buche in verschiedenen Wachstums- und Vitalitätsindikatoren nicht im Jahr 2003 sondern erst im darauffolgenden Jahr 2004 deutlich reagiert (Tab. 1).

Dieser Befund konnte quantitativ nachgewiesen werden für das Durchmesserwachstum, das Höhenwachstum, die Belaubungsdichte der obersten Baumkronen sowie für die Fruchtbildung der Buche. Vielfach, so etwa ausgeprägt beim Trieb längenwachstum, setzte sich die Reduktion auch noch 2005 fort. 2004 reduzierte sich der Derbholzzuwachs an Biomasse um 50%.

Wie ist zu erklären, dass das Wachstum der Buche erst eine um ein Jahr zeitversetzte Reaktion erkennen lässt?

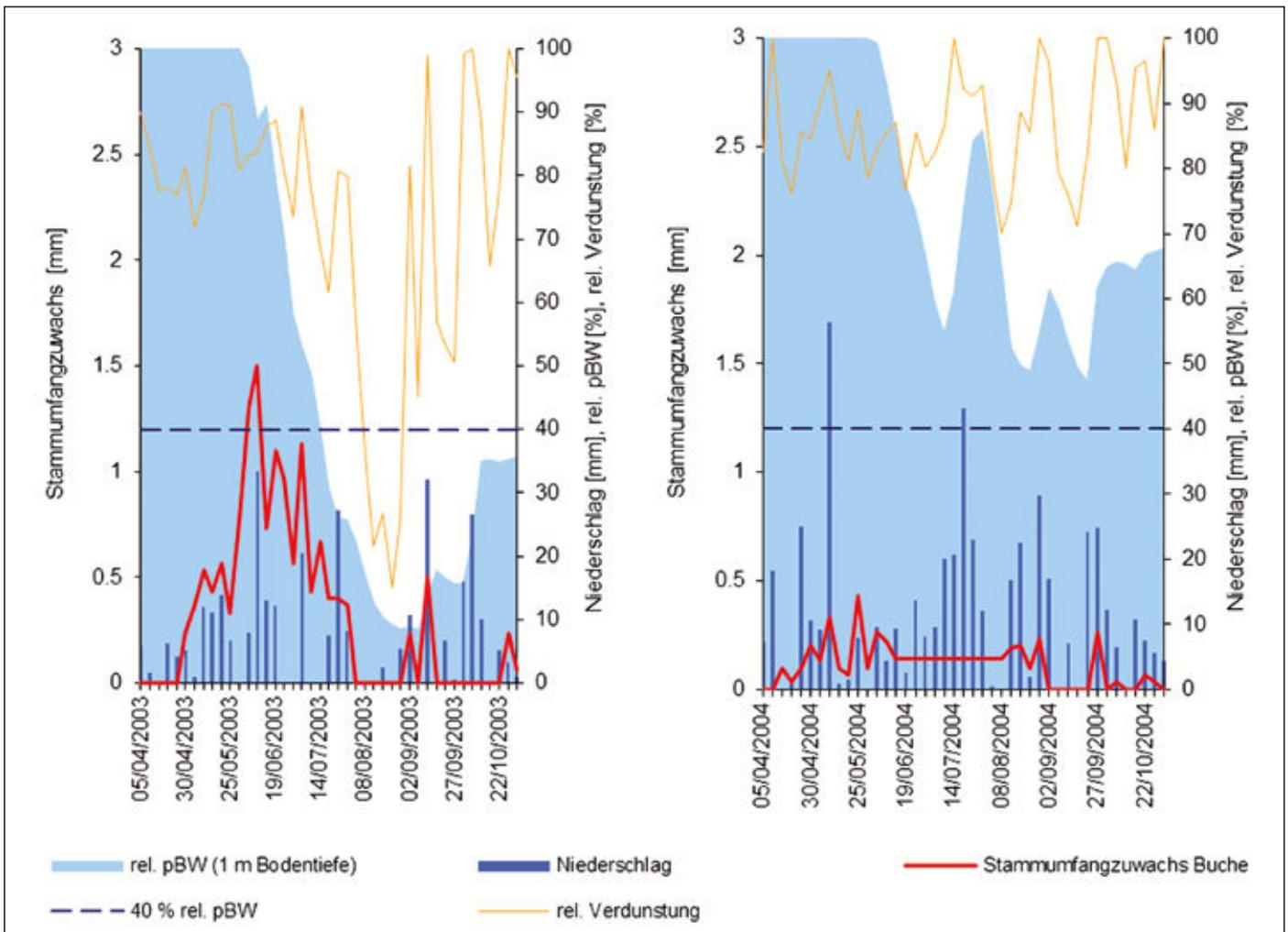


Abb. 2: Niederschlag, relativer Gehalt an pflanzenverfügbarem Bodenwasser (rel. pBW) bis 1 m Bodentiefe und rel. Verdunstung als Kriterien der Wasserversorgung sowie der Stammumfangzuwaches von Buchen für die Intensiv-Monitoringfläche Zierenberg 2003 und 2004 (jeweils April bis Oktober, Auflösung fünftägig)

Eine erste Erklärung für die zeitverzögerte Wachstumsreaktion der Buche liefert eine zeitlich höher aufgelöste Betrachtung des Wachstumsverlaufs der Buchenstämme im Vergleich mit verschiedenen klimatisch-hydrologischen Indikatoren. Beispielhaft ist dieser Vergleich in Abb. 2 für die Intensiv-Monitoringfläche Zierenberg für die Monate April bis Oktober der Jahre 2003 und 2004 in jeweils fünftägiger Auflösung dargestellt. Dem mittleren absoluten Stammumfangzuwachs der Buche sind die Niederschlagssumme, der relative Anteil pflanzenverfügbaren Bodenwassers (in 1 m Bodentiefe) sowie die relative Verdunstung gegenübergestellt. Die Angaben zu Stammumfangzuwachs und Niederschlag beruhen auf Messwerten, die übrigen Parameter auf Ergebnissen einer Wasserhaushaltsmodellierung (WAGNER et al. 2013). Mit einer gestrichelten Linie ist der Grenz-

wert von 40 % pflanzenverfügbarem Bodenwasser markiert. Nach Untersuchungen von GRANIER et al. (1999) für Eiche und Fichte kommt es bei Unterschreitung dieses Grenzwertes zur Einschränkung der Transpiration infolge des Schließens der Stomata und folglich zu reduziertem Wachstum. ANDERS et al. (2002) bestätigen diesen Befund und haben bei Unterschreiten des relativen pflanzenverfügbaren Wassergehaltes von 60 % eine Verlangsamung und bei Unterschreiten eines Wertes von 40 % ein Erliegen des Wachstums der Buche festgestellt.

Die Vegetationsperiode 2003 weist für Zierenberg mit 16,0 °C die höchste Mitteltemperatur und mit 250 mm die zweitniedrigste Niederschlagssumme zwischen 1990 und 2009 auf, was zu einer starken Austrocknung des Bodens mit einem durchschnittlichen relativen pflanzenverfügbaren Bodenwassergehalt von nur

49 % führte. Dennoch ist in der Jahressumme kein deutlicher Zuwachseinbruch feststellbar.

Eine genauere Betrachtung des zeitlichen Verlaufs des Wachstums in der Vegetationsperiode zeigt, dass zu Anfang der Vegetationsperiode bei guter Wassersättigung des Bodens ausgang der Nichtvegetationszeit 2002/2003 hohe Zuwächse bestanden. Ein Einbruch des Wachstums ist erstmals um den 20. Juli deutlich zu erkennen. Zu dieser Zeit schreitet infolge zunehmend geringerer Niederschläge der Austrocknungsprozess des Bodens so weit voran, dass der relative pflanzenverfügbare Bodenwassergehalt unter den Grenzwert von 40 % fällt. Wachstumsunterbrechungen treten auf. Ab dieser Zeit erfolgt das Wachstum nur noch vorübergehend und in direkter zeitlicher Verbindung mit Niederschlagsereignissen. Die relative Verdunstung fällt in den Phasen

der Wachstumsunterbrechung auf unter 60 %. Sie eignet sich daher ebenfalls gut als Indikator für Wassermangel.

Das Stammumfangwachstum bei Buchen erfolgt üblicherweise zu einem großen Teil bereits in der ersten Hälfte der Vegetationsperiode, etwa bis Ende Juli (BOURIAUD et al. 2004, SCHMITT et al. 2002). Bis zu diesem Zeitpunkt war die Wasser-
verfügbarkeit 2003 jedoch ausreichend. Der Zuwachs konnte dadurch in der Jahressumme 2003 insgesamt ein normales bis gutes Niveau erreichen. Nach Untersuchungen von LISTING (2011) an hessischen Buchenwaldstandorten wird die Wachstumskulmination der Stammdurchmesser im Mittel bereits in der ersten Juni-
woche erreicht: Dieser Wert stellt neben der Dauer der Vegetationszeit einen wichtigen Einfluss auf den Gesamtjahreszuwachs dar.

Bedingt durch eine in der Nichtvegetationszeit 2003/2004 erneut gute winterliche Auffüllung der Bodenwasserspeicher in Verbindung mit hohen Niederschlägen in der Vegetationszeit wird 2004 die kritische Grenze des relativen pflanzenverfügbaren Bodenwassergehalts zu keinem Zeitpunkt unterschritten. Dennoch ist ein erheblicher Einbruch des Durchmesserwachstums festzustellen. 2004 wird insgesamt nur etwa ein Drittel des Stammumfangzuwachses des Vorjahres erreicht.

Es stellt sich die Frage, wie die geringe Wasserverfügbarkeit und die hohe Temperatur des Vorjahres auf die Kohlenstoffassimilation des nachfolgenden Jahres wirksam sein konnte.

2003 wies im Vergleich der Jahre 1994 bis 2013 mit 17,2 °C an den hessischen Buchenflächen des Level-I-Rasters die höchste Mitteltemperatur jeweils für den Zeitraum Beginn der Vegetationszeit bis zum 31. Juli auf. Zusammen mit den Jahren 2009 und 2011 wurde 2004 mit der Waldzustandserhebung der bislang höchste Anteil mittel und stark fruktifizierender älterer Buchen bestimmt (PAAR et al. 2011). Bei ca. 90 % aller älteren Buchen in der Stichprobe der Waldzustandserhebung ist eine mindestens mittelstark ausgeprägte Fruktifikation, bei über der Hälfte der älteren Buchen ist sogar eine starke Fruktifikation zu verzeichnen. 2004 ist hessenweit als extremes Mastjahr zu bezeichnen.

Tab. 2: Wachstums- und Vitalitätsindikatoren der siebeb Buchen-Intensivmessflächen in Hessen. Mittel der Jahre 1998 bis 2002 im Vergleich zu 2004, dem Jahr der stärksten Reaktion der Buche in Hessen nach dem besonders trocken-warmen Jahr 2003

Kompartiment	Biomasse (t ha ⁻¹ a ⁻¹) Mittel 1998–2002	Biomasse (t ha ⁻¹ a ⁻¹) 2004
Stammholz, Zweige	6,7	3,3
Blätter	3,3	3,6
Fruchtkompartimente	1,8	4,6
Summe	11,8	11,5

Veränderte Kohlenstoffallokation der Buche

Im Hinblick auf eine Reaktion der Buche nach 2003 ist neben einem Ausbleiben erhöhter Mortalität festzuhalten, dass auch die Gesamtbiomasse-Wuchseleistung mit einem Wert von 11,5 t je Hektar und Jahr in der Größenordnung der in der Witterung weniger auffälligen Jahre davor verblieb (s. Tab. 2). Die trockenwarme Witterung 2003 führte bei der Buche nicht zu einem Einbruch der Photosyntheseleistung. Allerdings verschob sich die Allokation der Photosyntheseprodukte wesentlich vom Stammzuwachs hin zu Frucht-Kompartimenten. Quantitativ entspricht die Abnahme des Stamm- und Derbholzwachstums etwa der Biomassebildung für Fruchtkompartimente.

2004 wiesen etwa 80 % der beobachteten Altbuchen einen deutlich erkennbaren Fruchtbehang auf. Als Konsequenz auf die extremen Bedingungen 2003/2004 veränderte die Buche 2004 ihre Wachstumsstrategie. Holzproduktion, Eroberung von Standraum als Konkurrenzvorteil und individuelle Baumstabilität treten zurück gegenüber der Sicherung der Fruchtbildung, der natürlichen Verjüngung und so der Erhaltung der Art.

Der Einfluss der starken Fruktifikation ist daher eine wahrscheinliche Erklärung für die um ein Jahr verzögerte Zuwachsreaktion (DROBYSHEV et al. 2010; GRUBER 2003; PIOVESAN & ADAMS 2001; REICHSTEIN et al. 2013).

Die Kohlenstoffallokation der Buche stellt ein wichtiges Muster der Reaktion der Baumart auf Witterungs- und Klimaveränderungen dar. Die Fähigkeit der Buche, ihre Kohlenstoffallokation Klima- und Witterungsbedingungen anzupassen, ist als Hinweis auf eine hohe Anpassungsfähigkeit der Buche an verän-

derliche Umweltbedingungen zu interpretieren. Aus forstbetrieblicher Sicht stellen die Ergebnisse jedoch eine, bei Klimaerwärmung deutlich reduzierte verwertbare Holzproduktion der Buche in Aussicht.

Die annuelle Mortalität der Buchen auf dem hessischen Netz der Waldzustandserhebung verblieb auch in den Jahren nach 2003 bei geringen 0,1 bis 0,2 % der Stichprobenbäume. Die statistische Stabilität hessischer Buchenbestände mag darin begründet sein, dass die Waldböden sowohl in der Nichtvegetationszeit 2002/2003 als auch nachfolgend 2003/2004 gut wassergesättigt waren. Bei aufeinanderfolgenden extrem trocken-warmen Jahren kann das Anpassungsvermögen der Buche jedoch an Grenzen stoßen. Eine Häufung von extrem trocken-warmen Jahren ist durch die Klimaerwärmung wahrscheinlicher geworden.

Fazit

Das Fallbeispiel Zierenberg macht deutlich, dass in Bezug auf den Stammzuwachs in der Regel ein komplexes Wirkungsgeflecht sich wechselseitig beeinflussender klimatisch-hydrologischer sowie biologischer Faktoren besteht, welches auch Parameter wie z. B. die Fruktifikation bzw. die diese beeinflussenden Witterungsbedingungen mit einschließt. In Übereinstimmung mit den Beobachtungen von ZWEIFEL et al. (2009) zeigt sich, dass Analysen auf einer zeitlich höher aufgelösten Betrachtungsebene oft bessere Zusammenhänge zu jährlichen Zuwachsbeträgen erkennen lassen als solche, die auf aggregierten Jahreswerten beruhen. Das Fallbeispiel zur zeitverzögerten Reaktion des Wachstums der Buche nach extrem warm-trockenen Jahren veran-

schaulicht den Wert von Messreihen des intensiven Forstlichen Umweltmonitorings. Mit der Länge der Zeitreihen wächst die Chance zu weiteren Erkenntnissen der Resilienz von Baumarten unter den Bedingungen einer Klimaerwärmung.

Literatur

- ANDERS, S., BECK, W., BOLTE, A., HOFMANN, G., JENSEN, M., KRAKAU, U., MÜLLER, J. 2002: Ökologie und Vegetation der Wälder Norddeutschlands. Verlag Dr. Kessel, Oberwinter, 283 S.
- BECK, W. 2010: Auswirkungen von Trockenheit und Hitze auf den Waldzustand in Deutschland – waldwachstumskundliche Ergebnisse der Studie im Auftrag des BMELV. Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten – Sektion Ertragskunde: Beiträge zur Jahrestagung 2010, 56–65.
- BOURIAUD, O., BRÉDA, N., MOGUÉDEC, G., NEPVEU, G. 2004: Modelling variability of wood density in beech as affected by age, radial growth and climate. *Trees – Structure and Function* 18, 264–276.
- BÜRGI M. 1998 Waldentwicklung im 19. und 20. Jahrhundert: Veränderungen in der Nutzung und – Bewirtschaftung des Waldes und seiner Eigenschaften als Habitat – Schweizerischer Forstverein.
- DROBYSHEV, I., ÖVERGAARD, R., SAYGIN, I., NIKLASSON, M., HICKLER, T., KARLSSON, M., SYKES, M. T. 2010: Masting behavior and dendrochronology of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 259, 2160–2171.
- EICHHORN, J., DAMMANN, I., SCHÖNFELDER, E., ALBRECHT, M., BECK, W., PAAR, U. 2008: Untersuchungen zur Trockenheitstoleranz der Buche am Beispiel des witterungsextremen Jahres 2003. In: *Ergebnisse angewandter Forschung zur Buche*. Beiträge aus der NW-FVA, Band 3, 109–134.
- EICHHORN, J., ROSKAMS, P., FERRETTI, M., MUES, V., SZEPESE, A., DURRANT, D. 2011: ICP Forests Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of effects of air pollution on forests. part IV: Visual Assessment of Crown Condition and Damaging Agents (www.icp-forests.org).
- FERRETTI, M., SCHAUB, M. 2014: Monitoring European forests – Detecting and understanding changes. *For Ecol Manage* 311: 1–2.
- EICHHORN, J. UND ROSKAMS, P. 2014: Assessment of Tree Condition. In.: – FERRETTI, M., SCHAUB, M. 2014: Monitoring European forests – Detecting and understanding changes. *For Ecol Manage* 311. 139–167.
- GRANIER, A., BRÉDA, N., BIRON, P., VILLETTE, S. 1999: A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. *Ecological Modelling* 116, 269–283.
- GRUBER, F. 2003: Steuerung und Vorhersage der Fruchtbildung bei der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) durch die Witterung. 6 Beiträge. Schriften Forstl. Fak. Uni Göttingen und Nieders. Forstl. Ver. 136, Göttingen, 141 S.
- LISTING, M. 2011: Kurzfristige Durchmesserchwankungen bei Buche (*Fagus sylvatica* L.) und deren Beziehung zu Witterung und Bodenwasserhaushalt. Masterarbeit, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Universität Göttingen, 84 S. (unveröff.).
- MÜLLER, J. 2006: Effects of drought on the water balance of selected forest sites and the evaluation of a drought risk. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, 142, 142–148.
- PIOVESAN, G., ADAMS, J. M. 2001: Masting behaviour in beech: linking reproduction and climatic variation. *Can J Bot* 79:1.039–1.047.
- REICHSTEIN, M., BAHN, M., CIAIS, P., FRANK, D., MAHECHA, M. D., SENEVIRATNE, S. I., ZSCHEISCHLER, J., BEER, C., BUCHMANN, N., FRANK, D. C., PAPALE, D., RAMMIG, A., SMITH, P., THONICKE, K., VAN DER VELDE, M., VICCA, S., WALZ, A., WATTENBACH, M. 2013: Climate extremes and the carbon cycle. *Nature* 500: 287–295.
- SCHMITT, U., MÖLLER, R., ECKSTEIN, D. 2002: Seasonal wood formation dynamics of beech (*Fagus sylvatica* L.) and black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) as determined by the “pinning” technique. *J. Appl. Botany* 74: 10–16.
- SPELLMANN, H., SUTMÖLLER, J., MEESENBURG, H. 2007: Risikovorhersorge bei Fichte im Zeichen des Klimawandels – Vorläufige Empfehlungen der NW-FVA am Beispiel des Fichtenanbaus. *AFZ/Der Wald* 62, 1.246–1.249.
- SPELLMANN, H., ALBERT M., SCHMIDT M., SUTMÖLLER, J. & M. OVERBECK 2011: Waldbauliche Anpassungsstrategien für veränderte Klimaverhältnisse. *AFZ/Der Wald* 11, 19–23.
- SUTMÖLLER, J., FIEBIGER, C.; MEESENBURG, H. 2009: Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt von Wäldern – Modellgestützte Risikoabschätzung für ausgewählte Waldbestände im Hessischen Ried. In: Fakultät f. Forst- u. Umweltwissenschaften der Univ. Freiburg; Forstl. Versuchs- u. F. Anstalt Ba.-Wü. (Hrsg.): Bedeutung des Klimawandels für Bodenprozesse. Gemeinsames Kolloquium des Arbeitskreises „Waldböden“ der DBG und der Sektion „Wald- u. Wasser“ im DVFFA in Freiburg vom 24.–25. April 2008. *Ber. Freiburger Forstl. Forschung*, Heft 82, 111–121.
- WAGNER, M., SUTMÖLLER, J., RUDOLPH, J., HANSEN, J., EICHHORN, J., FLECK, S., SCHELER, B., MEESENBURG, H., DAMMANN, I., EVERS, J., PAAR, U., NAGEL, J., SPELLMANN, H. 2013: Auswirkungen des Klimawandels auf das Trockenstressrisiko von Buchenwäldern am Beispiel hessischer BZE- und Intensivmonitoring-Standorte. In: *Forstwissenschaftl. Fakultät der Uni Freiburg und FVA Baden-Württemberg (Hrsg.): Ausgleichs- und Reaktorfunktionen von Waldböden im Stoff- und Wasserkreislauf – FVA-Kolloquium in Freiburg am 4.–5. Oktober 2012*. *Ber. Freiburger Forstliche Forschung*, Heft 96, 179–197.
- ZWEIFEL, R., ETZOLD, S., EUGSTER, W. 2009: Einfluss des Klimas auf Zuwachs – Validierung mit EC-Messungen. *Schlussbericht VI.15: 1–21*.

Kontakt

Prof. Dr. Johannes Eichhorn
E-Mail: Johannes.Eichhorn@nw-fva.de
Dr. Uwe Paar
E-Mail: Uwe.Paar@nw-fva.de
Dr. Markus Wagner
E-Mail: Markus.Wagner@nw-fva.de
Abteilung Umweltkontrolle Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Grätzelstraße 2
37079 Göttingen

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbuch Naturschutz in Hessen](#)

Jahr/Year: 2014

Band/Volume: [15](#)

Autor(en)/Author(s): Eichhorn Johannes, Paar Uwe, Wagner Markus

Artikel/Article: [Zeitverzögerte Reaktion des Wachstums der Buche nach extrem warm-trockenen Jahren Buchenforschung in der Abteilung Umweltkontrolle der NW-FVA 69-73](#)