

35 Jahre Waldklimastationen

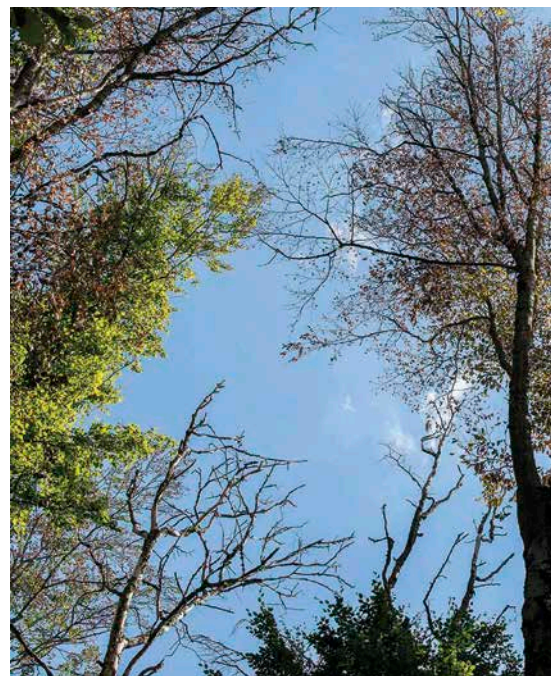
Trockenstress und Spätfrost – wie Extremereignisse das Waldwachstum beeinflussen

Lothar Zimmermann, Joachim Stiegler, Christoph Josten, Stephan Raspe

Die Gesundheit des Waldes zeigt sich immer auch in seinem Wachstum. Manchmal reicht schon eine einzige Nacht mit eisigen Lufttemperaturen, um frisch ausgetriebene Blätter so zu schädigen oder absterben zu lassen, dass das Waldwachstum erheblich beeinträchtigt wird. Aber auch Sommer mit extremer Hitze und wenig Wasser führen zu einer Reduktion des Zuwachses.

1 Abgestorbene Buchenkronen.

Foto: Stephan Thierfelder



Dieser Beitrag schließt eine Artikelserie in LWF aktuell zum 35-jährigen Bestehen des forstlichen Umweltmonitorings in Bayern ab. Er thematisiert die Auswirkungen von Extremereignissen der letzten Jahrzehnte auf die Jahringbreiten sowie die Grundflächenentwicklung der Bestände an den Waldklimastationen (WKS). Schon zum Start des intensiven forstlichen Umweltmonitorings Anfang der 1990er Jahre war bekannt, dass die Wachstumsreaktionen der Bäume vor allem auf Witterungseinflüsse zurückzuführen sind. Das regelmäßige Monitoring der Witterung an den Waldklimastationen

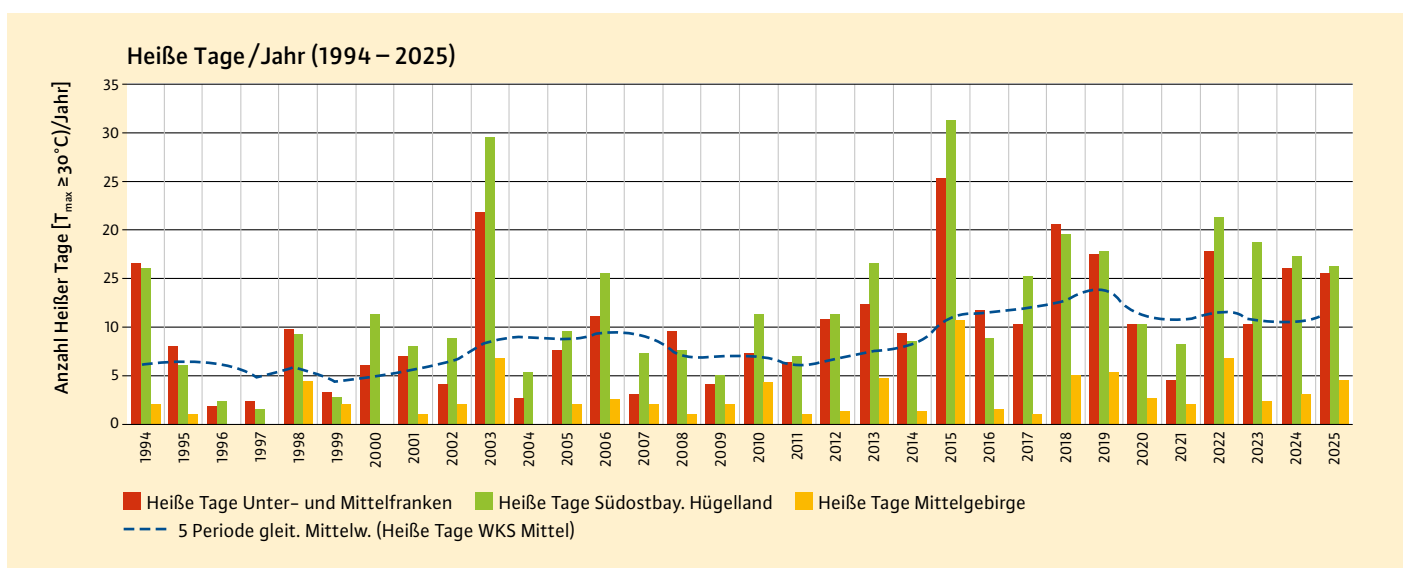
in Kombination mit der genauen Beobachtung des Waldwachstums sowie der Phänologie liefert wichtige Informationen, um das Baumwachstum noch besser zu verstehen.

Witterungsextreme

Hitze

Durch den Klimawandel verschieben sich nicht nur die Durchschnittswerte, zum Beispiel durch einen Anstieg des Jahresmittelwerts der Lufttemperatur, sondern es kommt auch zu einer stärkeren Streuung der Messwerte. Das bedeutet, dass extreme Wetterereignisse wie länger anhaltende Trockenperioden oder die Anzahl Heiße Tage/Jahr ($T_{max} \geq 30^\circ C$) häufiger werden (Folland et al. 2001). Zur besseren Übersicht werden die hier betrachteten zwölf WKS zu drei Regionen (Unter- und Mittelfranken, südostbayerische Hügelland, Mittelgebirge) aggregiert, um sie mit der gemessenen Grundflächenentwicklung zu vergleichen (Abbildung 6). Während der letzten 35 Jahre gab es

treme Wetterereignisse wie länger anhaltende Trockenperioden oder die Anzahl Heiße Tage/Jahr ($T_{max} \geq 30^\circ C$) häufiger werden (Folland et al. 2001). Zur besseren Übersicht werden die hier betrachteten zwölf WKS zu drei Regionen (Unter- und Mittelfranken, südostbayerische Hügelland, Mittelgebirge) aggregiert, um sie mit der gemessenen Grundflächenentwicklung zu vergleichen (Abbildung 6). Während der letzten 35 Jahre gab es



2 Anzahl Heiße Tage/Jahr (1990–2025) an den Waldklimastationen, aggregiert nach Regionen sowie WKS-Mittel.

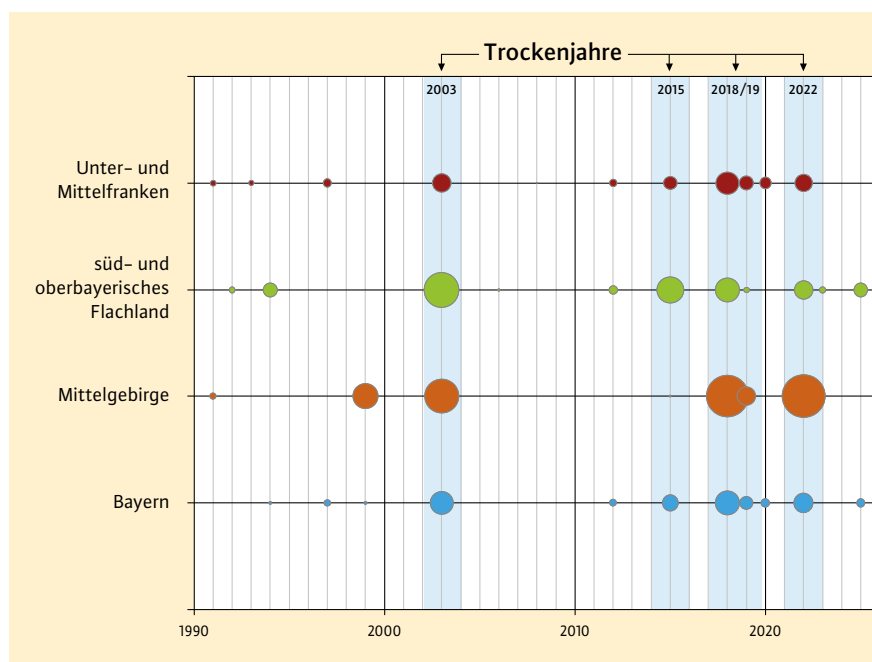
3 Vorkommen von Trockenstress an den Waldklimastationen in verschiedenen Regionen Bayerns von 1990 bis 2020. Je größer die Kreise, desto ungewöhnlicher war der Trockenstress in den jeweiligen Regionen.



besonders in den Jahren mit Extrem Sommern wie 2003, 2015, 2018/19 und 2022 eine hohe Anzahl *Heißer Tage* in allen Regionen Bayerns (Abbildung 2). Gleichzeitig verdeutlicht das 5-jährige gleitende Mittel (gepunktete Linie) einen steigenden Trend im Zeitraum 1990–2025. Der Vergleich der 32-jährigen Periodenmittel 1961–1993 mit 1994–2025 (nicht in Abbildung 2 dargestellt), zeigt eine Zunahme der mittleren jährlichen Anzahl von Heißen Tagen um mehr als das Doppelte (+122%). Im WKS-Mittel entspricht dies einer Zunahme von 4,1 auf 9,0 Tage.

Fröste

Andere Witterungsextreme wie strenge Fröste ($T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$ bis -15°C) nehmen allerdings durch die Klimaerwärmung ab (DWD & Extremwetterkongress Hamburg 2025). Gleichzeitig beginnt die Vegetationszeit früher. Damit steigt auch das Risiko, dass Fröste zeitlich mit dem Blattaustrieb zusammenfallen und zum Absterben der wasserreichen Blätter führen. Damit handelt es sich zwar nicht um ein Extremereignis im klassisch meteorologischen Sinn, wohl aber um ein physiologisches Stressereignis. Dieses kann sich durch die Reduzierung der Photosyntheseorgane bis hin zum völligen Ausfall negativ auf das Wachstum auswirken.



Da bei Spätfrösten der Zeitpunkt des Auftretens für die phänologische Entwicklung eine entscheidende Rolle spielt, haben wir den Zeitpunkt des Blatt- und Nadelaustriebs für die Hauptbaumarten der Waldklimastationen ermittelt. Für die Untersuchungen wurde das Phänologiemodell von Menzel (1997) angewendet. Anschließend wurden Fröste in der Woche vor und nach diesen Austriebszeitpunkten identifiziert. Seit dem Jahr 2000 traten an den WKS lokal in der Zeit des Blatt- und Nadelaustriebs regelmäßig leichte Luftfröste bis zu -2°C auf. Regional lagen die Temperaturen in dieser sensiblen Phase der Vegetationsentwicklung jedoch nur selten unter -2°C . In den Jahren 2011, 2017 und 2019 war dies vor allem im süd- und ostbayerischen Flachland der Fall. In den Mittelgebirgen trat vor allem 2011 und 2020 starker Spätfrost auf. Spätfröste sind meist lokal begrenzt und ihre Wirkung hängt von der physiologischen Entwicklung der jeweiligen Baumart ab (Zimmermann & Raspe 2011). Daher muss hierbei immer der Blick auf den einzelnen Bestand gerichtet werden, wie dies in Abbildung 6 erfolgt.

Trockenheit

Auch die Wasserversorgung ist für die Vitalität und das Wachstum der Bäume von großer Bedeutung. Um die Intensität des Trockenstresses an den Waldklimastationen trotz ihrer unterschiedlichen klimatischen Lage und Speicherleistung der Böden vergleichbar zu machen, wurde mit

dem Wasserhaushaltsmodell LWF-Brook 90 die tatsächliche Transpiration modelliert. Anschließend wurde die Differenz zur potenziell möglichen Verdunstung der Bäume sowie der Bodenwasservorrat berechnet. Als Intensitätsmaß für den Trockenstress haben wir für alle Tage, an denen der Füllstand der Bodenspeicher weniger als 40% der nutzbaren Feldkapazität betrug, diese Transpirationsdifferenz aufsummiert und als prozentuale Abweichung zum langjährigen Mittelwert 1991–2020 dargestellt (Abbildung 3). Seit Beginn dieses Jahrtausends ist es bereits fünf Mal zu außergewöhnlich trockenen Sommern in allen Regionen Bayerns gekommen. Besonders ausgeprägt war der Trockenstress in den Jahren 2003 und 2018 (Trockenstressintensitätsindex bayernweit: +300%). Während 2003 die höchsten Abweichungen im süd-bayerischen Flachland (+711%) auftraten, lagen sie 2018 in den Mittelgebirgen (+816%). Auch 2022 war die Abweichung des Trockenstressindex mit +863% in den Mittelgebirgen besonders stark.

Permanent-Maßbänder für die Grundflächenentwicklung

Um die Wachstumsreaktionen der Bäume auf diese Stressfaktoren zu untersuchen, werden an den Waldklimastationen die Baumdurchmesser mithilfe von Permanent-Umfangmessbändern jährlich ermittelt. Die Anzahl der gemessenen Bäume schwankt je nach WKS und betrachteter Baumart zwischen 20 bis 109



4 Spätfrostschäden an jungen Fichten.

Foto: Michael Forster



5 Durch Frost abgestorbene, frisch ausgetriebene Blätter. Foto: Michael Friedel

(Abbildung 6). Die Permanent-Maßbänder haben durch eine Nonius-Ableseskala eine Genauigkeit von 0,1 mm.

Der Beobachtungszeitraum seit der Jahrtausendwende bildet eine aussagekräftige Zeitreihe, um die Auswirkungen der genannten Extremereignisse auf das Wachstum zu untersuchen. Dieser Zeitraum dient auch als Referenzperiode, zu der die gemittelten Zuwachswerte der einzelnen Jahre ins Verhältnis gesetzt werden. Hierbei wurden ausschließlich Bäume mit im dargestellten Zeitraum lückenlosen Messdaten berücksichtigt.

Extremereignisse und Wachstumsreaktionen

Extremereignisse wirken sich deutlich auf das Baumwachstum aus. Infolge der Trockenjahre 2003 sowie 2018/2019, aber auch nach dem Spätfrostereignis 2011, liegen die Zuwachswerte im Vergleich zur Referenzperiode überwiegend im negativen Bereich. Die Baumarten reagieren unterschiedlich auf Trockenperioden: Bei manchen Arten lag die Durchmesserentwicklung trotz der extremen Witterung kaum unter oder sogar über dem Niveau der Referenzperiode. Zu den beeinflussenden Faktoren zählen neben der Baumart insbesondere die Standortverhältnisse sowie regionalklimatische Unterschiede; ebenso können Hiebsmaßnahmen, Intensität der Fruktifikation und waldschutzrelevante Aspekte eine Rolle spielen (Stiegler et al. 2019).

Die Intensität des Trockenstresses an den WKS wurde zur besseren Übersicht in zwei Klassen eingeteilt: moderat (mehr als +25%) und stark (mehr als 100% der Tdiff-Summe über dem langjährigen Mittel). Zwischen 2000 und 2024 wurden an den WKS 50 Trockenstress-Wertespannen erreicht (Abbildung 3). In 36 Fällen (72%) trat eine Wachstumsreduktion auf, in 14 Fällen (28%) nicht.

Als physiologisch wirksamer Spätfrost wird definiert, wenn die minimale Temperatur innerhalb einer Woche vor oder nach dem Austriebszeitpunkt -2°C bzw. -3°C unterschreitet. Von 54 Spätfrostfällen kam es in 35 Fällen (65%) zu einer Wachstumsreduktion, in 20 Fällen (35%) wurde keine Reduktion beobachtet. In sieben Fällen war die Reduktion mit Trockenstress verknüpft; in einem Fall an der WKS Altdorf im Jahr 2020 blieb das Wachstum trotz gleichzeitigem Spätfrost und Trockenstress unbeeinträchtigt.

6 Prozentuale Abweichung des Grundflächenzuwachs vom jeweiligen Mittel (2000–2024) sowie Markierungen für das Auftreten von Spätfrost und Trockenstress in den einzelnen Jahren. Die zwölf betrachteten Waldklimastationen wurden in drei verschiedene Regionen gegliedert.

Unter- und Mittelfranken

Bei den Kiefern der Waldklimastationen Altdorf (ALT) und Dinkelsbühl (DIN) fällt nach 2007 eine im Vergleich zu den Vorjahren deutlich gestiegene Grundflächenzunahme auf. Im Jahr 2007 herrschten günstige Wuchsbedingungen mit überdurchschnittlich hohen Niederschlagswerten vor, die das Dickenwachstum nachhaltig förderten. Der sprunghafte Wechsel im Zuwachsverhalten ab 2007 erschwert die Interpretation des Baumwachstums hinsichtlich anderer Einfluss-

Region	WKS	Höhenlage [m]	Baumart
Unter- und Mittelfranken	ALT	406	Kiefer
	DIN	468	
	ROT	470	Traubeneiche
	WUE	330	Buche
Süd- und ostbayerisches Flachland	AOE	415	Fichte
	EBE	540	
	FRE	508	Buche
	RIE	475	
	FRE	508	Stieleiche
Mittelgebirge	ROK	670	Fichte
	FLO	840	
	BBR	812	Buche
	MIT	1025	
Bayern	ALLE		Alle

■ Trockenjahr (TJ)
■ Spätfrost (SF)

faktoren wie Trockenheit und Spätfrost deutlich. Die Zuwächse an Kiefern brechen zwar häufig ein – etwa in den Jahren 2003, 2019 oder 2022 –, doch nicht immer sind Extremereignisse die Ursache. So sind beispielsweise im Trockenjahr 2015 keine Zuwachsdefizite zu verzeichnen. Ausschlaggebend hierfür könnte die noch gute Wasserversorgung bis in den Mai 2015 gewesen sein (Zimmermann & Raspe 2015). Für das seit 2018 tendenziell nachlassende Dickenwachstum dürften neben den häufigeren und intensiveren Trockenperioden des letzten Jahrzehnts u. a. auch das Diplodia-Triebsterben und verstärkter Mistelbefall mitverantwortlich sein.

In unteren bis mittleren Lagen werden auch die Baumarten Traubeneiche an den WKS Rothenbuch (ROT) und Würzburg (WUE) sowie die Buche an der WKS Würzburg untersucht. Die Auswirkungen der vergangenen Trockenjahre auf die Grundflächenentwicklung sind gering, wie die moderate Reduktion 2003 zeigt. Nennenswerte Zuwachseinbußen in begrenztem Umfang sind nur an der WKS Würzburg in den Jahren 2015 und 2018 festzustellen; hier wird das Dickenwachstum der Eichen zusätzlich durch wiederholten Raupenfraß gebremst. Die Traubeneichen an der höher gelegenen WKS Rothenbuch verzeichnen keine tro-

ckenheitsbedingten Zuwachseinbußen. Einzig der Spätfrost im Jahr 2011 zeigt sich in geringeren Zuwachswerten.

Auf die Buchen an der WKS Würzburg wirken sich nahezu alle Extremereignisse zeitnah und länger andauernd auf das Wachstum aus; insbesondere die Jahre nach dem Trockenereignis 2018/19 sind geprägt von einer bis heute anhaltenden »Zuwachsdpression«.

Süd- und ostbayerisches Flachland

Die Ergebnisse der Zuwachsentwicklung bei Fichten in dieser Region basieren auf Untersuchungen an den WKS im Ebersberger Forst (EBE) sowie im Altöttinger Forst (AOE), wo sich deutliche Reaktionen auf Extremereignisse zeigen. Neben trockenheitsbedingten Auswirkungen auf die Grundflächenentwicklung zeigen die Bäume an der WKS Altötting im Spätfrostjahr 2011 einen starken Zuwachseinbruch. Trockenjahre beeinflussen das Baumwachstum oft bis ins Folgejahr.

Bei in dieser Klimaregion untersuchten Buchen an den WKS Freising (FRE) und Riedenburg (RIE) stellt sich die Situation sehr differenziert dar: Eine direkte Reaktion der Buchen auf Extremereignisse in den Jahren 2003 (Trockenheit) und 2011 (Spätfrost) ist an beiden Stationen zu erkennen. An der WKS Riedenburg kommt es zusätzlich – und zwar beginnend mit

der Trockenperiode 2018/2019 – vermehrt zu Einbrüchen im Zuwachsverhalten. Das Trockenjahr 2015 hingegen zeigt an beiden Stationen keine Auswirkungen: Alle Buchen verzeichnen in diesem Jahr sogar überdurchschnittlich hohe Zuwächse. Ursache hierfür war vermutlich das erst relativ späte Einsetzen des Trockenstresses im Verlauf der Wachstumsperiode gegen Mitte Juli bzw. Anfang August in diesem Jahr.

In Riedenburg und Freising werden zudem Traubeneiche (RIE) und Stieleiche (FRE) untersucht. Zuwachseinbußen bei den Eichen aufgrund von Trockenereignissen sind an der WKS Freising im Jahr 2019 (-34%) sowie an der WKS Riedenburg im Jahr 2015 (-25%) zu verzeichnen. Insgesamt zeigt die als trockenresistent eingestufte Eiche (Klemmt et al. 2018, Wachtveitl et al. 2024) die geringsten trockenheitsbedingten Zuwachseinbußen.

Mittelgebirge

Die Reaktion der Fichten an den beiden WKS Rothenkirchen (ROK) und Flossenbürg (FLO) auf die Extremereignisse ist markant: Zuwachseinbußen treten während bzw. nach fast jedem Extremereignis auf. Beide Hochlagen-Stationen konnten das Trockenjahr 2015 unbeschadet überstehen. Ab 2018 werden die Auswirkungen

Anzahl	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
109	-40	-37	-38	-55	-25	-22	-30	33	-6	38	22	24	39	33	8	48	13	-6	2	-18	6	20	-8	29	-30
97	-68	-30	2	-63	-13	-19	-28	65	48	18	25	2	19	1	-19	12	16	20	36	-12	17	-16	-14	-1	2
59	-25	21	-16	-6	6	2	12	17	7	-11	-7	-34	-20	-8	9	35	-6	-9	12	-4	-18	-4	45	21	-21
56	-33	22	19	-8	-17	-29	-22	23	10	13	-6	-15	36	24	21	-19	16	-12	-22	-3	-2	19	-4	-14	-11
20	-22	23	30	-14	-30	9	7	76	35	14	35	-10	3	27	18	23	-5	-3	-18	-24	-54	-23	-30	-56	-11
56	33	12	46	-32	-14	5	-22	25	1	15	0	-59	-4	-28	27	-24	28	27	-14	-26	-3	30	0	-19	-4
108	31	41	57	-11	-27	16	-28	16	7	3	10	-2	19	-9	21	-30	-6	-1	-18	-30	1	16	-14	-38	-23
99	7	15	17	-18	17	20	-10	16	22	17	-16	-47	-12	-11	-25	8	-22	-37	7	2	2	9	9	-6	37
45	2	18	25	-11	19	9	-10	6	10	43	9	-14	-5	1	2	17	5	-38	-6	-1	-16	-27	-1	-53	15
45	-6	-2	5	-8	-22	-10	12	35	14	24	-37	6	10	-19	-6	-16	-4	-4	-1	-34	9	14	14	27	-4
51	-14	4	-25	-20	-17	-24	-3	22	9	19	-27	2	18	-6	0	-25	27	-11	5	-17	18	10	20	-10	46
80	-40	27	25	-15	-23	-23	-1	23	5	31	11	-34	38	5	29	15	-1	17	-21	-22	2	9	-42	-31	17
57	0	42	30	-5	13	0	11	32	20	41	11	-12	27	6	3	10	7	10	-52	-17	-46	-4	-52	-26	-47
98	-26	42	-6	-16	-79	-39	5	35	-7	5	-14	-43	18	9	-29	-3	20	14	34	-20	-14	63	26	-40	65
56	-8	-10	-1	-1	6	23	21	27	38	25	5	-53	43	23	-7	22	-4	-6	8	-35	-59	-32	16	-17	-22
1036	-13	13	10	-19	-13	-5	-6	28	14	19	-2	-19	15	2	1	3	4	-4	-1	-17	-7	9	0	-12	4
-5 bis -10																									
<-10				TJ								SF				TJ		TJ	TJ				TJ		

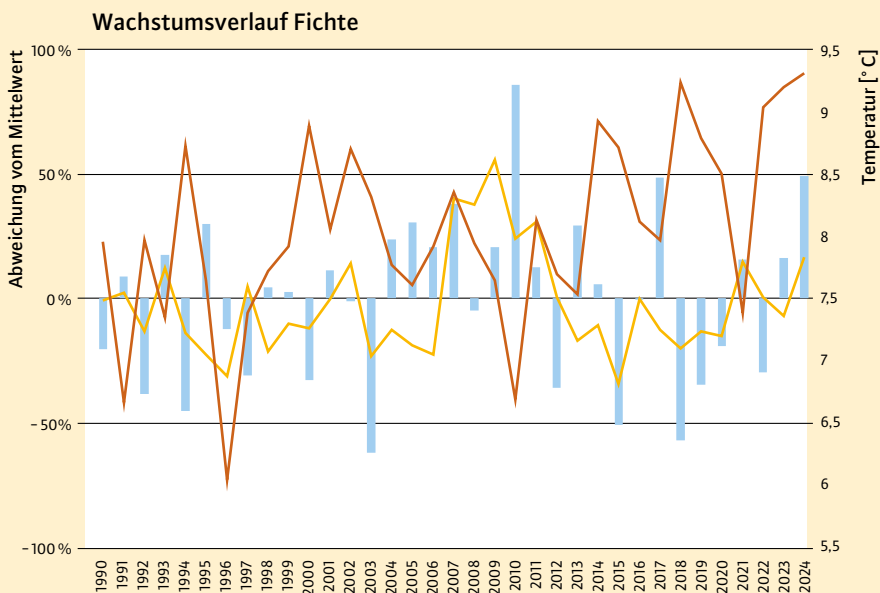
7 Ausschnitt einer Fichten-Jahringprobe von der WKS Riedenburg II: Markiert sind die Trockenjahre 2003, 2015, 2018 und 2022. Der vermeintlich besonders schmale Ring vor 2003 ist keine Jahringgrenze, sondern eine Wuchsanomalie. Die Abbildung ist nicht maßstabsgetreu.

Foto: Teresa Mühlbauer



8 Wachstumsverlauf der Fichte an der WKS Riedenburg II: prozentuale Abweichung vom mittleren Jahringbreitenindex, prozentuale Abweichung vom mittleren Bodenwasservorrat bis 40 cm Tiefe während der Vegetationsperiode sowie mittlere jährliche Lufttemperatur.

■ Bodenwasservorrat
 — Jahringbreitenindex (RWI) Fichte
 — Jahresdurchschnittstemperatur



gen der in kürzeren Abständen aufeinanderfolgenden Trockenperioden allerdings deutlich sichtbar. An der WKS Rothenkirchen wirkte sich zudem die Massenvermehrung des Borkenkäfers negativ auf das Wachstum aus. Betrachtet man nur die Zuwachseinbußen aufgrund der Trockenereignisse, sticht das Jahr 2018 an der WKS Flossenbürg hervor, dessen Auswirkungen sich auch in den Folgejahren noch bemerkbar machen. Deutlich sichtbar ist das überregionale Spätfrostereignis 2011; zudem fällt an beiden Stationen auch ein moderater Spätfrost 2019 mit einer Wachstumsreduktion zusammen, gefolgt von einem stärkeren Effekt 2020 in Flossenbürg.

An den Buchen der WKS Mitterfels treten im Untersuchungszeitraum keine außergewöhnlichen Trockenstressereignisse auf. An der WKS Bad Brückenau findet eine Wachstumsreduktion in den Trockenjahren 2003 und 2019 statt, nicht aber in den Jahren 2018 und 2022. Gravierend negative Effekte auf das Zuwachsverhalten sind ferner auf Spätfrostereignisse im Jahr 2011 (MIT) und 2020 (BBR, MIT) zurückzuführen. Ab 2019 ist an beiden Buchen-Standorten eine nachlassende Zuwachsentwicklung erkennbar, die an der WKS Mitterfels besonders ausgeprägt ist. Als Ursache werden die

Folgen der langanhaltenden Hitzeperiode diskutiert (Wachtveitl et al. 2024). Die Schäden sind hier offenbar schon so weit fortgeschritten, dass sich die Bäume nur langsam erholen. Dies wird auch mit einer zunehmenden Mortalität der Buche ab diesem Zeitpunkt untermauert. Hiebsmaßnahmen und Mastjahre während des Beobachtungszeitraums nehmen auf die Zuwachsentwicklung der (verbliebenen) Buchen kaum einen Einfluss. Lediglich die Mast im Jahr 2014 an der WKS Bad Brückenau führt zu nennenswerten Zuwachseinbußen.

Witterungsbedingte Mortalität vor allem im Sommer 2003 und nach 2022

An allen bayerischen Waldklimastationen sind infolge der beiden Trockensommer 2015 und 2018/2019 kaum Bäume unmittelbar abgestorben. Im Jahr 2015 erfolgte eine außerplanmäßige Nutzung von lediglich 16 Bäumen aus dem Untersuchungskollektiv (N=1.036), wobei es sich überwiegend um Fichten an der WKS Rothenkirchen handelte. Im Jahr 2018 wurden nur 14 Bäume außerplanmäßig genutzt. Damit bewegen sich die Werte im Bereich eines Normaljahres. Im Jahr 2003 und insbesondere beginnend mit dem Jahr 2022 sind deutlich mehr Ausfälle zu verzeichnen. Dies ist vor allem auf Borkenkä-

ferbefall in Fichtenbeständen (v.a. WKS Rothenkirchen) sowie Trockenschäden in Buchenbeständen zurückzuführen.

Trockenjahre und Jahringwachstum

Eine weitere Methode, um die Auswirkungen von Extremjahren auf das Wachstum zu beschreiben, ist die Messung von Jahringbreiten. Ein Beispiel stellt die Fichten-Fläche der WKS Riedenburg II nördlich des Altmühlkanals dar: Der Bestand befindet sich auf der Albhöhe, einem schwach geneigten Südwesthang mit tonigen Ausgangsubstraten, die teilweise mit Feinlehm überdeckt sind. Die Wasserspeicherkapazität des Standorts ist gering. Der Bestand ist etwa 70 Jahre alt, stammzahlreich und von einer geringen Baumdimension geprägt. Von zwölf zur Durchforstung ausgezeichneten Fichten konnten je zwei Bohrspäne gewonnen und im Jahrlinglabor der LWF aufbereitet und gemessen werden (Abbildung 7). Nach der Erstellung der Wachstumskurven fand eine Alterstrendbereinigung statt. Dadurch entsteht ein Jahringbreitenindex (RWI), der um den Mittelwert der gesamten Chronologie herum schwankt, um altersbedingte Zuwachseffekte auszuschließen (Abbildung 7).



9 Eine Buche mit Permanent-Umfangmaßband sowie Dendrometer zur Beobachtung des Wachstums. Das Dendrometer wird gerade von einem Mitarbeiter der LWF kontrolliert

Foto: Tobias Hase, StMELF

Sowohl der RWI als auch der Bodenwasservorrat sind als prozentuale Abweichung vom Mittelwert für die letzten 35 Jahre dargestellt (Abbildung 8). Der Bodenwasservorrat wurde für die Vegetationsperiode bis 40 cm Tiefe mit LWF-Brook90 modelliert.

Die Wachstumskurve folgt nicht in jedem Jahr dem Verlauf des Bodenwasservorrats, ist diesem aber dennoch gut erkennbar angepasst. In Folge des Hitze- und Dürresommers 2003 erleiden die Fichten einen vier Jahre anhaltenden Zuwachseinbruch von durchschnittlich 19%. Erst 2007 erholen sie sich und es folgen fünf besonders gute Jahre mit durchschnittlich 38% breiteren Jahrringen als im Mittel. Erst mit dem niedrigen Bodenwasservorrat der Vegetationsperiode von 2012 sinkt auch die Zuwachskurve wieder ab. Der Trockenstress scheint auch dieses Mal für mehrere Jahre das Wachstum zu beeinträchtigen, denn trotz guter und durchschnittlicher Bodenfeuchte in den Jahren 2013 und 2014 bleibt der Zuwachs niedrig. Im besonders trocken-heißen Sommer 2015 bricht das Wachstum sogar um 34% ein. Im Extremjahr 2018 überschritt die Jahresdurchschnittstemperatur an der WKS Riedenburg erstmals 9°C, während der Bodenwasservorrat erstmals für drei Jahre in Folge deutlich unter dem Durchschnitt blieb – allerdings bei nur moderatem Wachstumsrückgang. Betrachtet man jedoch den Zeitraum von

2013 bis 2020 wird deutlich, dass acht Jahre in Folge kein überdurchschnittlich gutes Wachstumjahr verzeichnet wurde – im Mittel blieb das Wachstum um 15% zurück. Auffällig ist in diesem Zeitraum die Häufung besonders warmer Jahre mit Durchschnittstemperaturen von über 8,5°C. 2021 und 2024 deuten sich leichte Erholungseffekte an, es kann also bis jetzt kein dauerhaft rückläufiges Wachstum festgestellt werden.

Die vorliegenden Jahrringdaten bestätigen, dass Fichten sehr sensibel auf Tro-

ckenstress reagieren. Dies stimmt mit früheren Untersuchungen überein, die eine eingeschränkte Wasserversorgung in Kombination mit hohen Temperaturen als zentralen Treiber für vermindertes Wachstum der Fichte identifizieren (Zang et al. 2011; Obladen et al. 2021; Schmied et al. 2023). Die zunehmende Empfindlichkeit der Fichten gegenüber Trockenstress stützt die forstwirtschaftliche Anpassungsstrategie, Reinbestände in stabilere Mischbestände umzuwandeln.

Zusammenfassung

Im Rahmen des intensiven forstlichen Umweltmonitorings erfolgt an einem größeren Probekollektiv von Bäumen eine langfristige jährliche Umfangmessung. Die erhobenen Daten werden mit meteorologischen, phänologischen und bodenhydrologischen Informationen verknüpft, um die Wirkung extremer Witterungsereignisse auf das Waldwachstum beurteilen zu können. Analysiert wurde das Zuwachsverhalten der vier Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche im Zeitraum 2000–2024 an zwölf Waldklimastationen. Die Baumarten reagieren teilweise unterschiedlich und zum Teil auch zeitlich versetzt auf die Extremereignisse.

Autoren

Christoph Josten ist Mitarbeiter in der Abteilung »Waldbau, Waldwachstum, Inventuren« der LWF und wertet dort Jahrringproben aus, Joachim Stiegler ist in derselben Abteilung für das Messprogramm Waldwachstum im intensiven forstlichen Umweltmonitoring zuständig. Dr. Stephan Raspe leitet das Programm und Dr. Lothar Zimmermann betreut den Bereich Forstmeteorologie und -hydrologie, beide sind Mitarbeiter der Abteilung »Boden, Klima, Baumartenwahl«.

Kontakt: Lothar.Zimmermann@lwf.bayern.de

Literatur

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