

25 Jahre Waldklimastationen in Bayern

Für politische wie forstwirtschaftliche Entscheidungen ist es von grundlegender Bedeutung, die Umweltveränderungen und ihre Risiken frühzeitig zu erkennen und Entwicklungen abzuschätzen. An den bayerischen Waldklimastationen werden kontinuierlich die Witterung gemessen, der Eintrag schädlicher Luftschadstoffe erfasst und zeitgleich die Folgen für die Gesundheit der Wälder registriert. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Standortbedingungen in den Wäldern nach 1990 stärker ändern als erwartet und rascher als im gesamten Jahrhundert zuvor. Die drei wichtigsten Triebkräfte des Standortwandels sind: Versauerung, Stickstoffeutrophierung und Klimawandel.

*Hans-Peter Dietrich, Stephan Raspe,
Lothar Zimmermann, Joachim Stiegler,
Hans-Joachim Klemmt*

Die Folgen des Klimawandels für den Wald richtig einzuschätzen und daraus zuverlässige Empfehlungen für die Forstwirtschaft abzuleiten, ist für eine vorsorgende Umwelt- und Forstpolitik unerlässlich. Heute erscheint es daher selbstverständlich, Umwelteinflüsse und ihre Auswirkungen in den Wäldern zu erfassen. Als im Jahr 1991 die ersten sieben Waldklimastationen (WKS¹⁾ in typischen Waldregionen Bayerns ihren Messbetrieb aufnahmen, war der Klimawandel jedoch eher ein Thema der Wissenschaft und nicht in aller Munde. Die Entscheidung zur Einrichtung von Waldklimastationen war insofern sehr vorausschauend. Gäbe es diese Mess- und Beobachtungsstationen nicht, an denen kontinuierlich die Witterung und damit auch die Klimaänderung gemessen, der Eintrag schädlicher Luftschadstoffe erfasst und zeitgleich die Folgen für Gesundheit



*Freilandmessstelle Waldklimastation
Berchtesgaden*

Foto: C. Happe-Wagner

und Vielfalt der Wälder und Waldböden registriert werden, müsste man sie heute erfinden. (Foto)

Die ersten Messstationen

Auf Grundlage von Beschlüssen des Bayerischen Landtages (1984, 1986 und 1991) wurde in Bayern frühzeitig die forstmeteorologische und -hydrologische Beratung intensiviert [6, 7]. Zunächst nur sektoral orientierte Beobachtungsnetze zum Gesundheitszustand der Waldbäume (Waldzustandserhebung seit 1983) oder der Waldböden (Waldbodeninventur 1987) wurden

¹⁾ Aufbau und der Betrieb der Waldklimastationen werden von der Bayerischen Forstverwaltung finanziert und zuletzt 2011 mit Projektmitteln der Europäischen Union gefördert.

durch ein Messnetz von Bayerischen Waldklimastationen in charakteristischen Waldregionen ergänzt. Die Erfahrungen der Waldschadens- und Waldökosystemforschung in den 1980er-Jahren und die offenen Fragen zu den Auswirkungen des sauren Regens führten zu dieser Entscheidung.

„Mit dem Waldklimamessnetz“, schrieb der ehemalige Bayer. Landwirtschaftsminister Simon Nüssel in einer Pressemitteilung 1990, „werden Forstleute und Wissenschaftler über ein Beobachtungssystem verfügen, das die wesentlichen Daten zur Einschätzung des Wachstums und der Vitalität der Wälder liefert. Es wird auch möglich sein, frühzeitig Klimaveränderungen im Wald, die aktuelle Schadstoffbelastung der Niederschläge, Bodenfeuchtigkeit und

Schneller Überblick

- Die Inbetriebnahme von Waldklimastationen vor 25 Jahren war eine Entscheidung mit Weitblick.
- Forstliches Umweltmonitoring ist heute ein einzigartiges Instrument der Umweltvorsorge in Europas Wäldern.
- Luftschadstoffe und Klimawandel haben die Standortbedingungen in den Wäldern in nur wenigen Jahrzehnten stark verändert.

Qualität der Sickerwässer in das Grundwasser zu ermitteln und entsprechende Maßnahmen zum Schutz der Wälder einzuleiten“. Nüssel nannte dies „eine entscheidende Voraussetzung zur Erhaltung des Ökosystems Wald“.

Mit Blick auf die Klimaforschung ergänzte der ehemalige Forschungsreferent des Bayer. Landwirtschaftsministeriums, Hubertus Wild: „Mit dem Netz von Waldklimastationen kann die Lücke im meteorologischen Bereich geschlossen werden.“ Weiter schrieb er: „Aus forstlicher Sicht ist hierbei vor ertragskundlichen Überlegungen vor allem die Frage von Bedeutung, ob und wie sich die Wuchsbedingungen im Hinblick auf die Eignung unserer Baumarten verändern. Da Waldbestände (...) zum Teil über 300 Jahre alt werden, und über diesen langen Zeitraum mit den standörtlichen Bedingungen fertig werden müssen, liegt die Kenntnis möglicher Veränderungen der Standortbedingungen im Interesse einer verantwortungsvollen Verjüngungsplanung“.

Das intensive Umweltmonitoring ist heute ein einzigartiges Instrument der Umweltbeobachtung und -vorsorge in Europas Wäldern.

Mit den langfristigen und kontinuierlichen Messungen an den WKS war es erstmals für Waldgebiete in Bayern möglich:

- wachstums- und vitalitätsrelevante Klimadaten zu erhalten,
- Bodenfeuchte auf unterschiedlichen Waldstandorten als Grundlage für die forstliche Standortkartierung zu messen,
- Stoffeinträge in Waldökosysteme zu ermitteln,
- Sickerwasserqualität unter Wald abzuschätzen und
- Stoffkreisläufe von Waldökosystemen zu bilanzieren.

Das Messsystem heute

Weitere forstliche Dauerbeobachtungsflächen und ein bestehendes Depositionsmessnetz wurden damals in das neu entwickelte Messkonzept überführt. Bis 1995 erfolgte der weitere Ausbau des Netzes der Waldklimastationen (aktuell sind es 19 WKS). Aufbau und Messprogramm sind von Preuhsler [6] und im online-Portal der LWF (www.lwf.bayern.de/boden-klima/umweltmonitoring/index.php) beschrieben. Nahezu zeitgleich und fachlich abgestimmt wurden vergleichbare Intensivmessflächen in allen Bundesländern eingerichtet [2, 8]. Solche

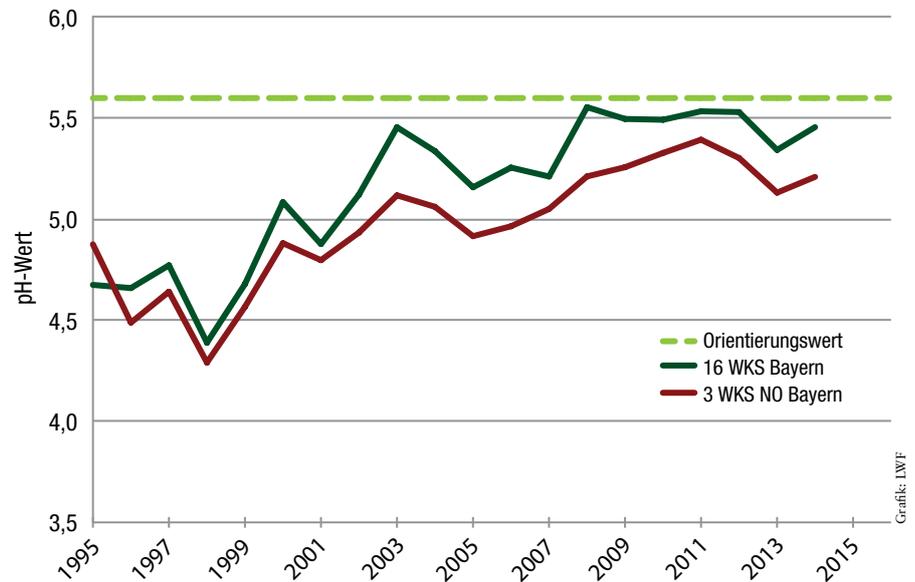


Abb. 1: Entwicklung der pH-Werte im Freilandniederschlag an Bayerischen Waldklimastationen; Orientierungswert entspricht dem natürlichen Kohlensäuregehalt im Niederschlag.

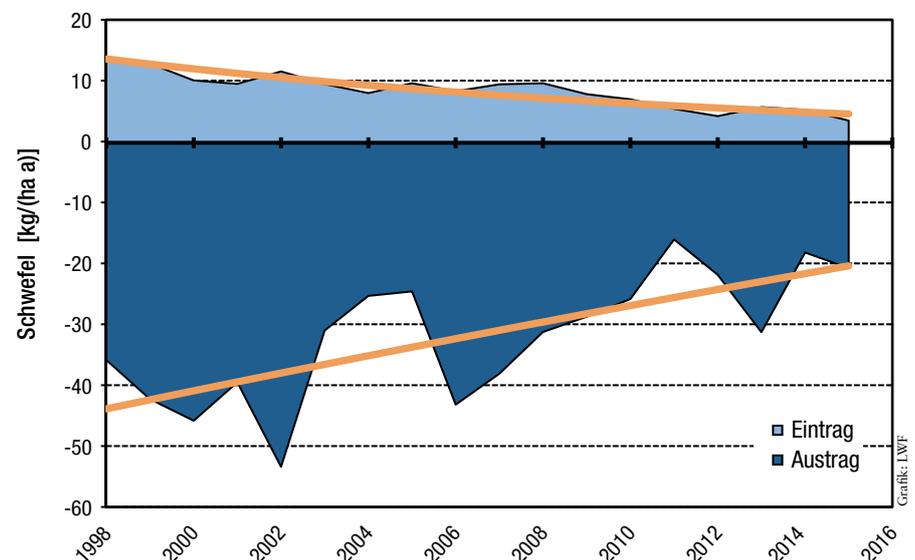


Abb. 2: Gegenüberstellung Schwefeleintrag und -austrag mit dem Sickerwasser in Waldbeständen am Beispiel der Waldklimastation Rothenkirchen

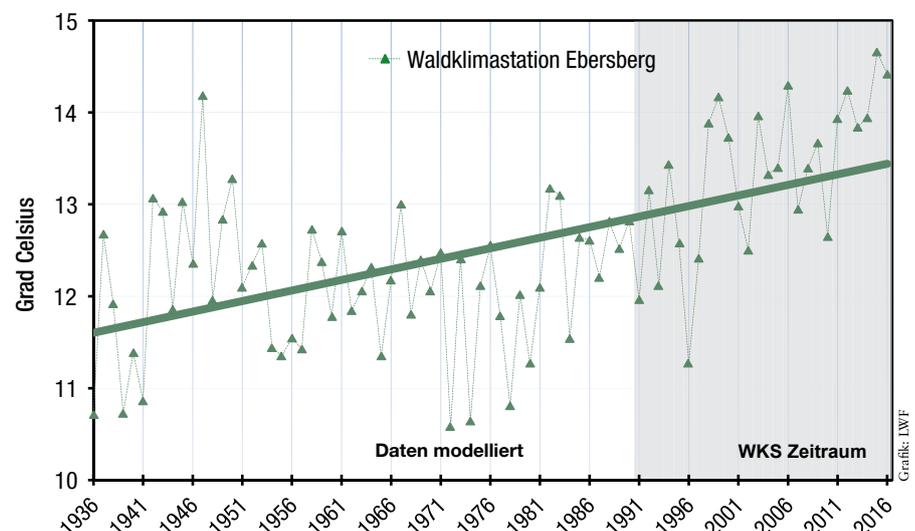


Abb. 3: Trend der Lufttemperatur im Sommerhalbjahr am Beispiel der Waldklimastation Ebersberg (Daten vor 1991 modelliert aus Daten umliegender DWD-Stationen)

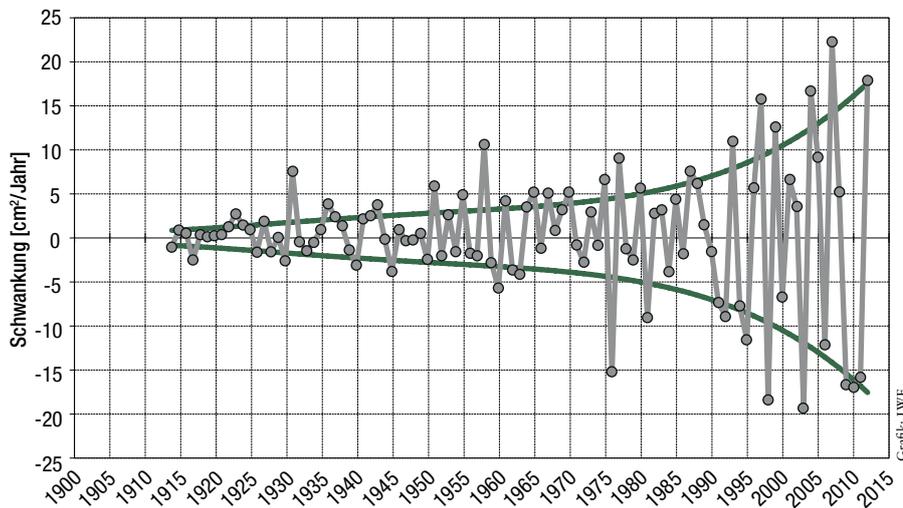


Abb. 4: Jahr-zu-Jahr-Schwankungen des Kreisflächenzuwachses 20 herrschender Buchen an der Waldklimastation Freising. Starke Zuwachsreaktionen nach 1990

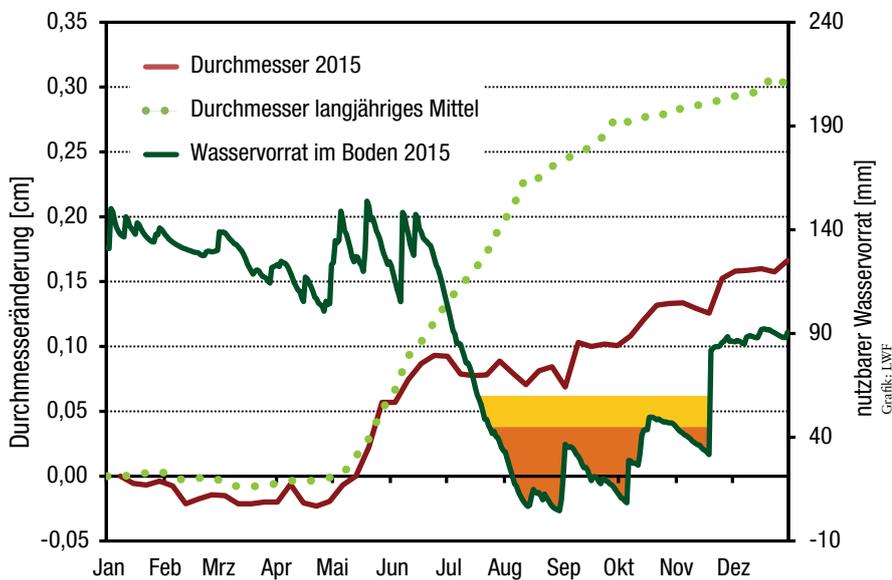


Abb. 5: Pflanzenverfügbare Wasservorrat und wöchentliche Durchmesseränderung herrschender Fichten an der Waldklimastation Ebersberg im Trockenjahr 2015. Phasen mit eingeschränkter Wasserversorgung sind farblich hervorgehoben (gelb = eingeschränkt; orange = mangelhaft).

Messflächen hoher Intensität (Level-II-Messflächen) entstanden in 42 europäischen Staaten im Rahmen des internationalen Kooperationsprogramms Forst (ICP Forests) auf Grundlage der Genfer Luftreinhaltkonvention (UN-ECE CLRTAP). Aufbau und Betrieb wurden über viele Jahre von der Europäischen Union gefördert. Bereits 1987 waren die Waldzustandserhebungen (Level I) europaweit im ICP Forests verbindlich aufeinander abgestimmt worden. Heute wird in den Wäldern vom Nordkap bis zu den Kanaren ein für terrestrische Ökosysteme einzigartiges Mess- und Beobachtungsnetz betrieben, das sich auf einheitliche Methodenstandards

stützt. Über Ländergrenzen hinweg fließen vergleichbare Informationen in Maßnahmen zur Luftreinhaltung und deren Erfolgskontrolle ein. Sie erlauben eine sichere Risikoabschätzung und werden für praktische Empfehlungen forstwirtschaftlicher Maßnahmen benutzt. Die Standorte mit ihrem stetig wachsenden Datenschatz haben sich zunehmend zu Kristallisationspunkten forstlicher und ökologischer Forschung entwickelt. Lange Zeitreihen und eine verlässliche Datenquelle sind für die Entwicklung von Prognosemodellen z. B. zum Wasser- und Stoffhaushalt der Wälder oder zur Anbaueignung von Baumarten im Klimawandel inzwischen unentbehrlich.

Seit 20.12.2013 ist in Deutschland die Zusammenarbeit von Bund und Ländern im forstlichen Umweltmonitoring in der Verordnung über Erhebungen zum forstlichen Umweltmonitoring (ForUmV) verbindlich geregelt.

Umwelteinflüsse verändern die Standortbedingungen der Wälder in den letzten drei Jahrzehnten stärker und rascher als im gesamten Jahrhundert zuvor. Lange bewährte Planungsgrundlagen haben ihre Gültigkeit verloren.

Der Mensch hat die Struktur und die Zusammensetzung der Wälder in Mitteleuropa seit Jahrhunderten geprägt. Durch seine gestaltende und wirtschaftende Hand ist er in der Lage, den Zeittakt des Wandels in den Wäldern maßgeblich mitzubestimmen. Dabei ist es ein besonderes Privileg des Waldbesitzers, mit der Natur zu wirtschaften.

Der besondere Zeittakt in der Forstwirtschaft [4], der von der Lebensspanne oder den Produktionszeiträumen der Waldbäume bestimmt wird, lässt uns den Wandel der Wälder kaum wahrnehmen. Dem Nachhaltigkeitsgedanken der Waldgesetze verpflichtet, beeinflusst die naturnahe Forstwirtschaft bei guter fachlicher Praxis den Waldstandort und die Ressource Boden selbst nicht maßgeblich. Spätestens nach Einstellung der Streunutzung und Verzicht auf intensive Bodenbearbeitungen ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts schien dieser direkte menschliche Einfluss dauerhaft aus dem Wald gebannt. Durchgesetzt hatte sich das nahezu „eherne Gesetz des Standörtlichen“ in der Forstwirtschaft, auf dem alle entwickelten Planungsgrundsätze und Wirtschaftsregeln einschließlich der Standortkartierungen und forstlichen Ertragstafeln bis heute ruhen. Darin war die Vorstellung enthalten, dass sich die Standortbedingungen in Wäldern allenfalls „in Eiszeitaltern“ ändern würden. Umgekehrt aber auch, dass die Waldbestände in idealer Weise den Standortbedingungen durch geeignete Baumartenwahl angepasst werden sollten (Stichwort: „standortgerechte Baumartenwahl“).

Heute wissen wir, wie sehr der Mensch durch Luftverunreinigungen und Emission von Treibhausgasen den Waldstandort und die Waldgesundheit indirekt beeinträchtigen kann.

Die Triebkräfte des Standortwandels

Versauerung

Die Versauerung der Wälder durch Luftschadstoffe ist stark rückläufig. Erfolge der Luftreinhaltung sind sichtbar. pH-Werte im Niederschlag erreichen annähernd wieder „Mineralwasserqualität“.

Dank der enormen Anstrengungen zur Luftreinhaltung in den 80er- und 90er-Jahren, insbesondere der Entschwefelung der Kraftwerke und Verbrennungsanlagen, sind die Schwefeleinträge von ehemals mehr als 60 kg/ha und Jahr um bis zu 90 % auf nunmehr 5 bis 10 kg zurückgegangen. Der sprichwörtlich „saure Regen“ ist Geschichte. Die pH-Werte im Niederschlag haben annähernd wieder „Mineralwasserqualität“ erreicht (Abb. 1). Wegen der ebenfalls säurewirksamen Stickstoffeinträge werden jedoch noch immer kritische Belastungsschwellen (Critical Loads) der Versauerung an zahlreichen Waldorten überschritten. Der im Mineralboden deponierte Schwefel früherer Jahrzehnte wird mancherorts noch über Jahre mit dem Sickerwasser ausgetragen und trägt weiterhin zur Versauerung der Waldböden und zum Verlust von Nährstoffen bei (Abb. 2).

Stickstoff

Ehemals im Mangel, heute im Überfluss.

Stickstoffeinträge aus der Verbrennung (Straßenverkehr, Industrie und Hausbrand) und landwirtschaftlichen Quellen bleiben ein dominierender Standortfaktor für die Wälder in den bevölkerungsreichen, hochindustrialisierten Regionen Mitteleuropas mit intensiver Landwirtschaft [9]. Trotz Bemühungen zur Emissionsminderung sind die Stickstoffeinträge in die Wälder zu hoch. Wir beobachten zunehmende Stickstoffsättigung in den Wäldern. Einerseits hat der zusätzliche Stickstoff aus der Luft das Wachstum der Waldbäume in der Vergangenheit stark gefördert und zur Vorratssteigerung in den Wäldern beigetragen; die von Natur aus stickstofflimitierten Wälder haben die Düngewirkung genutzt und mehr Stickstoff verwertet. Andererseits ist das Risiko der Stickstoffeutrophierung gewachsen (Nitrataustrag, Nährstoffverluste, Nährstoffstörung, Funktionsverlust der Wälder) und aktuell unvermindert hoch. An zwei Drittel der bayerischen WKS-Standorte werden kritische Belas-

tungsgrenzen für die eutrophierende Wirkung des Stickstoffs überschritten. Annähernd 30 % der Wälder in Bayern zeigen bereits Nitratausträge mit dem Sickerwasser von über 10 mg Nitrat/l [5].

Klimaerwärmung

Rasche Klimaerwärmung und die Häufung von extremen Wetterereignissen beeinflussen Wachstum und Vitalität. Sie erhöhen die Trockenstressrisiken der Baumarten. Besonders stark betroffen ist die Fichte.

Seit wenigen Jahrzehnten, insbesondere nach 1990, wird eine starke Erwärmung auch an unseren bayerischen Waldstandorten gemessen. Die Sommerhalbjahre sind dort in den letzten 80 Jahren bereits um bis zu 1,5 °C wärmer geworden (Abb. 3). Nach 1990 wurden wiederholt extrem trockene Sommer registriert (in Süddeutschland: 2003 und 2015). Die acht wärmsten Jahre seit Beginn der Wetteraufzeichnungen vor 150 Jahren traten nach 2000 auf.

In phänologischen Erhebungen an den Waldklimastationen beobachten wir einen früheren Blattaustrieb und eine Verlängerung der Vegetationsperiode. Wir erkennen starke artspezifische Unterschiede in der Trockenstressresistenz. In extremen Trockenjahren wie 2003 und 2015 war das Dickenwachstum bei vitalen Fichten bis in montane Berglagen im Vergleich zu den Vorjahren um 40 bis 60 % vermindert [10]. Die Fichte erweist sich v. a. auf wasserlimitierten Standorten als Baumart mit geringster Trockenresistenz. Der Zuwachs von Buchen und Eichen ist weniger stark beeinträchtigt. Im Flachland zeigen Fichten wie Buchen an allen WKS-Standorten Zuwachsanomalien, die sich in starken Zuwachsschwankungen in den letzten drei Jahrzehnten äußern (Abb. 4, [3]). Trockenheit ist wiederholt Auslöser dieser starken Zuwachsreaktionen (Abb. 5). Auf den bislang klimalimitierten Standorten in Berglagen können v. a. Baumarten wie Tanne oder Buche hingegen von mehr Sommerwärme profitieren. Den Jahrhundert Sommern folgten jeweils Borkenkäferkalamitäten. Das Anbaurisiko insbesondere der Fichten steigt [1].

Fazit

Nach 25 Messjahren an Waldklimastationen steht fest: die Standortbedingungen der Wälder ändern sich seit 1990 stärker als erwartet und rascher als im gesamten Jahrhundert zuvor. In nur einem Generatio-

nenschritt tritt eine deutliche Veränderung der Standortbedingungen auf. Ursache für die Veränderung sind die Luftschadstoffe und der Klimawandel. Die Wälder reagieren darauf. Sie wachsen besser als die Ertrags tafeln des letzten Jahrhunderts vorhersagten [11], aber das Anbaurisiko insbesondere der Fichte steigt infolge von Trockenheit, Wetterextremen und Insektenkalamitäten. Es besteht Bedarf zum Umbau in stabilere Mischwälder auf großer Fläche mit zukunftstauglichen Baumarten (Risikostreuung). Die Bayerische Staatsregierung hat deshalb im Zusammenhang mit dem Klimaprogramm 2050 ein Waldumbauprogramm eingeleitet. Die Ergebnisse des forstlichen Umweltmonitorings haben zwischenzeitlich vielfältig Eingang gefunden in aktuelle Planungs- und Beratungsgrundlagen und Prognosemodelle. Wie sich die Umweltbedingungen verändern, lässt sich nur schwer vorhersagen, umso wichtiger ist es, ihre Entwicklung und die Wirkungen auf das Ökosystem Wald zeitnah und kontinuierlich zu erfassen.

Literaturhinweise:

- [1] BIERMAYER, G.; TRETTER, S. (2016): Wie viel Fichte geht noch im Klimawandel? Lwf aktuell 108, 44-49. [2] BMVEL (2003): Forstliches Umweltmonitoring für den Wald der Zukunft, Hrsg. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft 27 S. [3] DIETRICH, H.-P.; NIKOLOVA, P.; BECK, W.; GRAMS, T.; SEIFERT, T.; SEIFERT, S. (2015): Vergleichende ökophysiologische und dendroklimatologische Bewertung der Auswirkungen von Wassermangel und Trockenheit auf verschiedene Baumarten an Bayerischen Waldklimastationen. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt M28 (LWF)-unveröffentlicht. [4] EICHHORN, J. (2015): Ziele des forstlichen Umweltmonitorings in der Waldökosystemforschung. In: Ergebnisse der Waldökosystemforschung im Solling, Jahrestagung der AFSV vom 11. - 14. September 2013 im Solling; Tagungsband S.16-20. [5] FALK, W.; STETTER, U.; RASPE, S. (2015): Stickstoff- und Nitratstatus bei der BZE II; Forstliche Forschungsberichte München 213/2015; S. 89 bis 96. [6] PREUHSLE, T.; GIETL, G.; GRIMMEISEN, W.; KENNEL, M.; LECHLER, H. H. (1992): Forschungsprojekt Waldklimastationen in Bayern; AFZ 10/1992 S. 529-533. [7] PREUHSLE, T.; GIETL, G. (1994): Langfristige Forschungsschwerpunkte im Waldökosystem-Monitoring an der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft; Forst und Holz 49. Jgg 4, S. 83-86. [8] SPLETT, P.; INTEMANN, H. (1992): Intensive Waldzustandsüberwachung auf Dauerbeobachtungsflächen in Deutschland; AFZ 22/1994 S. 1237. [9] RASPE, S.; DIETRICH, H.-P.; ZIMMERMANN, L. (2013): Stoffeinträge sind ein Standortfaktor. LWF aktuell 94, S. 18-22. [10] STIEGLER, J.; WÖRLE, A.; ZIMMERMANN, L.; DIETRICH, H.-P. (2016): Es war einmal ein heißer Sommer...: LWF-aktuell 110; S. 10-13. [11] PRETZSCH, H. (2016): Ertragsstapel-Korrekturfaktoren für Umwelt- und Mischungseffekte. AFZ-DerWald 187 (14), S. 47-50.

Hans-Peter Dietrich,
poststelle@lwf.bayern.de, ist mit
Dr. Stephan Raspe, Dr. Lothar
Zimmermann, Desirée Köhler,
Alfred Schubert, Dr. Uwe Blum
wiss. Mitarbeiter in der Abteilung
Boden und Klima; Joachim
Stiegler ist Mitarbeiter der Abtei-
lung Waldbau und Bergwald,
Dr. Thomas Kudernatsch ist wiss.
Mitarbeiter in der Abteilung Biodiversität, Naturschutz und
Jagd. Dr. Hans-Joachim Klemmt leitet die Abteilung Boden
und Klima. Alle LWF Freising

