



Wandel und Beständigkeit des intensiven Umweltmonitorings

Das intensive forstliche Umweltmonitoring liefert einen einzigartigen Datensatz zu Umwelteinflüssen und ihren Wirkungen auf den Wald. Die fortschreitende Veränderung unserer Umwelt und der Wälder sowie der technische Fortschritt erfordern eine Anpassung des Messprogramms. Davon profitiert auch die Forstpraxis.

TEXT: INKEN KRÜGER, AUTORENGRUPPE INTENSIVES FORSTLICHES UMWELTMONITORING¹

Die Umwelt befindet sich in einem raschen Wandel nie gekannten Ausmaßes, der die Forstwirtschaft vor große Herausforderungen stellt. Der Klimawandel stresst unsere Wälder auf vielfältige Weise und hat bereits zu teils gravierenden und großflächigen Schäden geführt. Zunehmend heterogene Waldstrukturen und die Einbringung zusätzlicher Baumarten werden die Wälder von morgen prägen. Das forstliche Umweltmonitoring muss diesen Wandel abbilden und ist jetzt mehr denn je gefragt, Informationen für den Umbau der Wälder und die Schaffung klimastabiler Bestandesstrukturen zu liefern.

Das intensive forstliche Umweltmonitoring (Level II) liefert seit drei Jahrzehnten belastbare Daten und Erkenntnisse über den Zustand und die Entwicklung von Wäldern. In dieser Zeit haben sich die beobachteten Altbestände weiterentwickelt, wurden vielfach durchforstet und/oder durch Schadereignisse verändert. Auch diesem Wandel des Untersuchungsobjekts muss Rechnung getragen werden.

Um weiterhin belastbare Aussagen treffen und praxisnahe Empfehlungen geben zu können, ist eine Anpassung des Level-II-Programms notwendig. Der Wasserbedarf verschiedener Baumarten und Bestandesformen soll standortsspezifisch untersucht und interpretiert, Schäden und Schadverläufe zeitnah dokumentiert und die damit einhergehenden Strukturveränderungen genau erfasst werden. Die Resilienzeigenschaften gegenwärtiger und zukünftiger Zielbaumarten und Bestandesformen sollen verstanden,



Foto: S. Ecker/LWF

Abb. 1: Drohnen-Aufnahme der Level-II-Fläche 901 Altdorf

die Einflussgrößen und Dynamiken des Kohlenstoffhaushalts der Wälder quantifiziert und die Triebkräfte für Biodiversität und deren Veränderungen im Wald erfasst werden. Vor diesem Hintergrund haben die Vertreter aus Bund und Ländern ein angepasstes und zukunftsorientiertes Konzept für das Level-II-Programm erarbeitet, das Schritt für Schritt umgesetzt werden soll.

Drei Jahrzehnte solide Datenbasis

Seit 1994 werden an ausgesuchten Untersuchungsflächen im Rahmen des Level-II-Programms die Art und Stärke von Umwelteinflüssen und deren Auswirkungen auf den Wald analysiert [1]. Die Zielsetzung des Programms hat sich dabei sukzessive

erweitert: Zum ursprünglichen Hauptschwerpunkt der Säureeinträge kamen Fragen zur Stickstoffbelastung und zu den Folgen des Klimawandels hinzu. Seit Dezember 2013 stellt die „Verordnung über Erhebungen zum forstlichen Umweltmonitoring“ auf Grundlage des § 41a Bundeswaldgesetz (BWaldG) den rechtlichen Rahmen des Level-II-Programms in Deutschland dar.

Berechnung und Prognose von Ökosystemleistungen unterstützen Waldbesitzende und Forstverwaltungen bei der Bewirtschaftung der Wälder. Die harmonisierte Datenerhebung sichert die Einhaltung von Berichtspflichten der Bundesländer sowie auf nationaler und internationaler Ebene und dient als Grundlage für die Steuerung und Erfolgskontrolle von Luftreinhaltemaßnahmen sowie für wissenschaft-

liche Auswertungen (mehr als 200 Artikel seit 2013).

Themenfelder der Zukunft

Die langfristige, zeitnahe und umfassende Datenerfassung an den Level-II-Flächen ist einzigartig. Sie erlaubt eine vielfältige Nutzung der Daten zu Waldwachstum, Waldzustand sowie Wasser- und Nährstoffkreisläufen für Fragestellungen, die für den Klimaschutz und die Klimaanpassung in Deutschland und Europa eine entscheidende Rolle spielen. Das Level-II-Programm war bisher auf die langfristige und kontinuierliche Erfassung von Veränderungen im Wald ausgerichtet. Die derzeitige Dynamik des raschen Wandels der Umwelt- und Klimabedingungen erfordert jedoch eine zeitnahe Abschätzung zukünftiger Entwicklungen.

Aus der forstlichen Praxis, der Politik und der Öffentlichkeit steigt die Nachfrage nach Informationen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald und zur Rolle des Waldes bei Klimaschutz und Klimaanpassung spürbar an. Die Verschiebung der Prioritäten im Forschungsbedarf zeigt sich auch in den Waldstrategien der Bundesregierung und der EU. Das intensive forstliche Umweltmonitoring kann besonders zu den folgenden Fragestellungen wertvolle Beiträge leisten:

- *Waldbau/Waldmanagement (insbesondere auf Grundlage von Daten zur Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit)*
- *Ökosystemleistungen/Verlust von Waldfunktionen (insbesondere mit Bezug zum Wasserhaushalt)*
- *Auswirkungen von Stoffeinträgen (insbesondere in Interaktion mit den klimatischen Veränderungen)*
- *Klimaschutzleistung des Waldes sowie Anpassung des Waldes an den Klimawandel*

Erhebungskonzept

Das deutsche Level-II-Programm ist in das europäische ICP-Forests-Programm integriert. Dessen Handbücher geben das Erhebungskonzept vor [2]. Dadurch ergibt sich die wertvolle, europaweite Harmonisierung der Messmethoden. Zusätzliche Regelungen des deutschen Level-II-Programms, die über die ICP-Forests-

„Der Klimawandel und die rasanten Veränderungen unserer Wälder erfordern fünf zentrale Anpassungen im forstlichen Umweltmonitoring.“

INKEN KRÜGER

Handbücher hinausgehen (z. B. Spezifikationen der Messmethoden und -dichte), werden in Form von spezifischen Leitfäden in Abstimmung von Bund und Ländern festgelegt. Um der in Kapitel 2 beschriebenen Nachfrage nach zusätzlichen Informationen aus dem Wald begegnen zu können, sollen die Leitfäden um die im Folgenden vorgestellten fünf Säulen erweitert werden.

Säule 1: Erfassung der Dynamik

Die Erfassung der Dynamik von Prozessen und Strukturen in Waldökosystemen wird insbesondere angesichts

Schneller ÜBERBLICK

- » **Die Daten des intensiven forstlichen Umweltmonitorings bilden die Grundlage für eine Vielzahl an Produkten und die Einhaltung von Berichtspflichten**
- » **Die fortschreitende Veränderung der Umwelt, die gesteigerte Nachfrage nach Informationen und technische Entwicklungen erfordern eine Erweiterung des Messkonzepts**
- » **Das bundesweit abgestimmte Erhebungskonzept ermöglicht erweiterte Auswertungen z. B. zur Klimaanpassung von Wäldern**

der Auswirkungen des Klimawandels zunehmend wichtig. Das Level-II-Programm war ursprünglich darauf ausgelegt, Waldökosysteme zu beobachten, die in Betrachtungsräumen von Jahrzehnten als stabil angesehen werden konnten. Um den heutigen und zukünftigen Bedingungen in deutschen Wäldern gerecht zu werden, sollen Messungen und Untersuchungen auf den Level-II-Flächen auch in Übergangssituationen (starke Auflichtung bis hin zu vollständigem Waldverlust und Neubegründung) fortgeführt und die Wirkung von Umwelt- und Klimaeinflüssen auf Waldökosysteme in verschiedenen Entwicklungsphasen stärker in den Fokus gerückt werden. Um die höhere Heterogenität der Struktur und die in ihren Prozessen und Eigenschaften auf immer kürzeren zeitlichen Skalen verlaufenden Veränderungen abzubilden, sind folgende Anpassungen der Aufnahme- und Auswertungsmethoden unabdingbar:

- *Entwicklung und Weiterentwicklung von abgestimmten Leitfäden und passenden Datenstrukturen zum Einsatz von Nahbereichsfernerkundung (Einsatz von Drohnen, LIDAR)*
- *Einbeziehung von bisher nicht berücksichtigten Nebenbaumarten bzw. Zukunftsbaumarten*
- *Verstärkte Entwicklung von länderübergreifenden Auswertungsstrategien*
- *Etablierung eines neuen Flächenkonzepts, um die Auswirkungen unterschiedlicher Bewirtschaftungsstrategien zu untersuchen (s. Säule 4)*
- *Entwicklung bzw. Ergänzung zwischen Bund und Ländern abgestimmter Leitfäden zur flächenrepräsentativen Erfassung von Umweltparametern auf heterogenen Flächen; dies umfasst neben einem Katalog mit Kriterien zur Stratifizierung von Flächen auch das abgestimmte Vorgehen bei Modellierungen von Ökosystemleistungen*

Säule 2: Prüfung der Flächenauswahl

Das Level-II-Netz bildet mit seinen typischen Beständen für die verschiedenen Waldgebiete in Deutschland einen Depositions-, einen Boden- und einen Klimagradienten ab. In Anbetracht der aktuellen Strukturveränderungen ist die Untersuchung weiterer Baumarten und Baumartenmischungen unterschiedlicher Altersklassen



notwendig. Zur Auswahl geeigneter Flächen können Gradienten von Umweltfaktoren unter Einbeziehung von Baumeigenschaften, Waldstrukturen und Wasserhaushaltstypen genutzt werden. Da alle Mess- und Untersuchungsparameter Veränderungen unterliegen, soll regelmäßig eine umfassende Prüfung der Gradienten erfolgen und mit Zukunftsprojektionen abgeglichen werden.

Für die ausgewählten Parameter – sowohl bestehende als auch neu hinzukommende – ist ein Abgleich mit ihrer Verteilung in deutschen Wäldern notwendig. Daten aus flächenrepräsentativen Netzwerken (BWI, BZE, WZE) können herangezogen werden, um sicherzustellen, dass die Bandbreite an verschiedenen Standort- und Struktureigenschaften sowie Extremstandorte vertreten sind. Zusätzlich müssen besonders relevante Zukunftsbaumarten identifiziert werden, die als Grundlage für die Einbeziehung zusätzlicher Flächen dienen.

Säule 3: Innovation – von Einzelbaumaufnahmen zur flächigen Erfassung

Technische Innovation und wissenschaftlicher Fortschritt eröffnen neue Möglichkeiten, wissenschaftliche Fragen besser zu beantworten. Zurzeit bietet die rasche Entwicklung von Fern- und Nahbereichserkundungsmethoden die Chance der Erweiterung des Level-II-Monitorings um Methoden zur flächigen Erfassung von Parametern. Mit Drohnen oder Laserscannern kann z. B. die Strukturvielfalt auf den Flächen in wiederholbarer Weise erhoben werden; Daten von Level-II-Flächen können als Vergleichs- und Validierungsmaterial (ground truthing) für satellitengestützte Fernerkundung dienen.

Die technische Weiterentwicklung von Sensoren eröffnet den verstärkten Einsatz von zukunftsfähigen Messgeräten (z. B. in Bezug auf Safffluss, Bodenfeuchte, Radialwachstum). Dies kann helfen, Messdichten und -frequenzen auf den Flächen zu steigern. Zunehmende Automatisierung und Fernübertragung ermöglichen eine schnellere Übertragung der Daten (Nowcasting). Die Beschleunigung der Datenbereitstellung ist ausschlaggebend, um zeitnah Informationen zum Wald an verschiedene Zielgruppen zu liefern (z. B. Informa-



Foto: A. Russ/LEF

Abb. 2: Erfassung der Kronenraumstruktur mit hemisphärischer Photogrammetrie

tionen zur Bodenfeuchte für Pflanzungen und Holzerntemaßnahmen).

Neue statistische Verfahren und Modellierungsansätze ermöglichen neue Auswerteverfahren. Geplant ist, insbesondere die Einbindung der an Level-II-Flächen erhobenen Daten in Prognosen (z. B. der Bodenfeuchte) und andere Modellierungen (z. B. zum Zusammenhang zwischen Stressfaktoren und der Resilienz der Wälder) sowie in Baumarteneignungsempfehlungen zu forcieren.

Säule 4: Ergänzung um Flächenvarianten

Zur Abbildung der steigenden Vielfalt der Waldstrukturen und zur

Beantwortung der aktuellen Fragen aus Politik und Praxis sind zusätzliche Flächenvarianten notwendig. Besonders die Beobachtung verschiedener Baumarten (über die vier Hauptbaumarten hinaus), unterschiedlicher Altersstrukturen bzw. Entwicklungsstadien sowie waldbauliche Versuche (insbesondere bzgl. der Behandlung nach einer Störung), aber auch Versuche unter kontrollierten klimatischen Bedingungen sind notwendig. Um den Aufwand vertretbar zu halten, wird hier ein neues Flächenkonzept erstellt, das sich an dem Konzept von Zweifel et al. orientiert [3].

AUSGEWÄHLTE PRODUKTE

Ergebnisse aus Level II werden im Rahmen der jährlichen Waldzustandsberichte der Länder und auf den Webseiten der forstlichen Versuchsanstalten veröffentlicht. Informationen zur Bodenfeuchte finden sich z. B. für die Bundesländer:

- » Baden-Württemberg: Bodenfeuchte-Monitoring <https://kurzlinks.de/054c>
- » Bayern: Waldklimastationen Witterungs- und Bodenfeuchtereport <https://kurzlinks.de/sc5z>
- » Rheinland-Pfalz: Bodenfeuchte-Monitoring <https://kurzlinks.de/yvs6>

- » Thüringen: Forstliche Witterungsberichte, Berichte zu Waldbodenfeuchte & Trockenstress <https://kurzlinks.de/6r7o>
- » Sachsen: Bodenfeuchteampel <https://kurzlinks.de/kacq>

Vollversion des Artikels

<https://blumwald.thuenen.de/level-ii/ueber-level-ii/konzept-zur-weiterentwicklung-des-level-ii-programms-2024>

Die Einrichtung von Vergleichsflächen in Nachbarschaft bestehender Level-II-Flächen stellt eine kosteneffiziente Möglichkeit dar, eine größere Vielfalt an Waldtypen und -strukturen abzubilden und die Untersuchungen entlang von bundesweiten Gradienten zu ergänzen. Zusätzlich zu den Level-II-Flächen, bestehend aus Waldmessfläche und zugehöriger Freifläche, auf denen mindestens alle obligatorischen Parameter gemessen werden, können eine oder mehrere weitere Flächenvarianten hinzukommen und als Vergleichsflächen betrieben werden. Auf diesen Flächenvarianten, die sich in ausgewählten Eigenschaften von der zentralen Level-II-Fläche unterscheiden, können zielgerichtete Untersuchungen und Teilprogramme durchgeführt werden. Damit sind sie insbesondere dafür prädestiniert, die Waldbaustrategien der Länder mit Daten und Ergebnissen aus dem Level-II-Programm zu unterstützen.

Die ausgezeichnete Erkenntnislage an den Level-II-Flächen soll zukünftig noch mehr für externe wissenschaftliche Forschungen geöffnet werden. Die bestehende Infrastruktur und die Langzeitdokumentation bilden einen Kristallisationspunkt, an dem Forschungsprojekte anknüpfen können. Für alle Level-II-Flächen sollen außerhalb der Kernflächen Forschungsbestände ausgewiesen werden, auf denen im gegenseitigen Einverneh-



Abb. 3: Ein Mitarbeiter der LWF liest Daten zum Saftfluss und zum Radialwachstum an einer Douglasie auf einer Level-II-Fläche in Bayern aus.

men Versuche bzw. Probenentnahmen durchgeführt werden können.

Säule 5: Verknüpfung mit anderen Netzwerken

Die Erhebung von Parametern nach harmonisierten Methoden ist eine der größten Stärken des Level-II-Programms. Sie ist nicht nur für den Datenaustausch zwischen Projektpartnern und für bundesweite Auswertungen essenziell, sondern auch Grundbedingung für die Herstellung von Verbindungen mit anderen Netzwer-

ken. Die ICP-Forests-Handbücher legen Erfassungsmethoden fest, sind aber bezüglich der Auswertungsmethoden weitestgehend offen. Zur besseren Vergleichbarkeit ist es notwendig, einheitliche Methoden für Standardauswertungen, insbesondere bezüglich Ökosystemleistungen (z. B. Kohlenstoffspeicherung, Wasserbilanz, Nährstoffbilanz), und deren bundesweite Darstellung zu bestimmen.

Synergien ergeben sich schon heute durch die Verknüpfung der Level-II-Ergebnisse mit den bestehenden

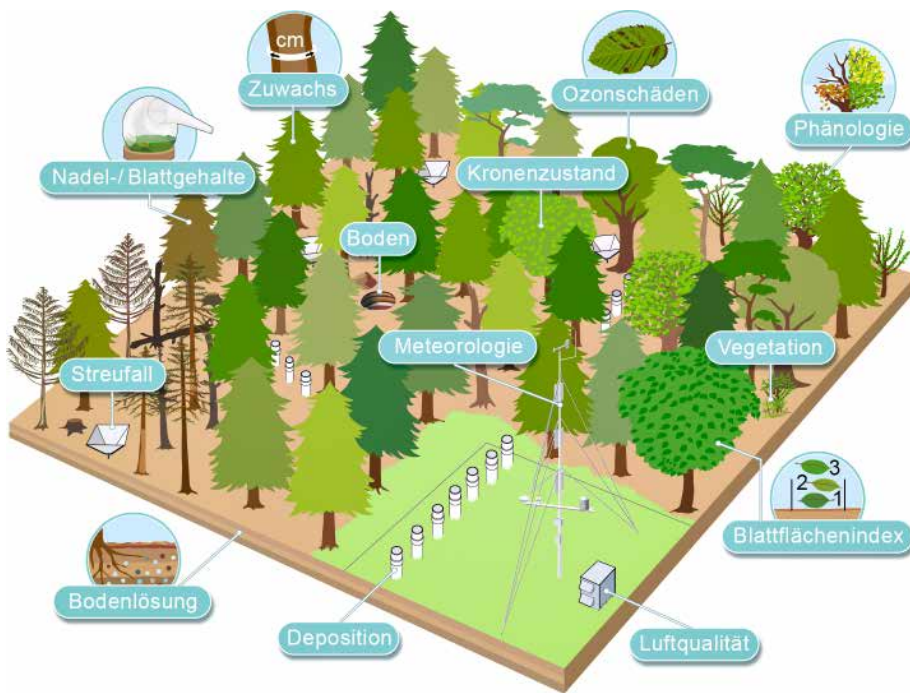


Abb. 4: Erhebungsbereiche des Level-II-Programms

flächenrepräsentativen Erhebungen der BWI, der BZE und der WZE. Zukünftig sollten auch Erhebungen, die derzeit in der Entwicklung stehen – insbesondere jene, die für das sich derzeit in der Konzeption befindende nationale Biodiversitätsmonitoring im Wald (NaBioWald) angedacht werden –, durch abgestimmte Verfahren mit den Level-II-Erhebungen in Verbindung gebracht werden. International ist die stärkere Zusammenarbeit mit Forschungsverbänden wichtig, um den Klimawandel oder die Biodiversität betreffende Fragestellungen vergleichend auswerten zu können. Hier muss die Möglichkeit geprüft werden, in mehreren Netzwerken durchge-

führte Erhebungen als Verbindungsglieder im Sinne einer Verknüpfung zu nutzen. Des Weiteren sollte eine stärkere Integration der Level-II-Flächen in das LTER-Netzwerk angestrebt werden.

Nutzen für die Forstpraxis

Das Level-II-Programm bietet mit den qualitativ hochwertigen Langzeitdaten und der bestehenden Infrastruktur ein weitreichendes Potenzial, das zur Bearbeitung der aktuellen Herausforderungen der Forstpraxis und der Forstpolitik beiträgt. Die hier vorgestellte Anpassung des Level-II-Erhebungskonzepts ermöglicht eine bessere Bewertung der Waldentwicklung und einen Informationsgewinn bezüglich der Veränderungsprozesse

und -dynamiken in Wäldern. In diesem Zusammenhang sind insbesondere auch die Risiken in Bezug auf das Wasserspeichervermögen, die Humus-, Nährstoff- und Kohlenstoffverluste und die Erosionsgefahr in absterbenden Beständen zu nennen. Die Anpassung des Monitorings verbreitert die Informationen zum Wasserhaushalt und zur Bilanzierung der Nährstoffflüsse an unterschiedlichen Standorten und bei variablen Bestandsituationen, die für die nachhaltige Bewirtschaftung unserer Wälder dringend benötigt werden. Ein verbessertes Verständnis von ökosystemaren Prozessen und den Einflussfaktoren auf die Ökosystemleistungen, insbesondere in verschiedenen Phasen der Waldentwicklung, ist für die Klimaanpassung des Waldes von großem forstpolitischen Interesse. Die Erkenntnisse können zur Ableitung forstwirtschaftlicher Maßnahmen genutzt werden und zur Weiterentwicklung der Waldstrategie 2050 beitragen.

Quelle: H. Gruber

Literaturhinweise:

[1] KRÜGER, I.; SANDERS, T. G. M.; HOLZHÄUSEN, M.; SCHAD, T.; SCHMITZ, A.; STRICH, S. (2020): *Am Puls des Waldes: Umweltwandel und seine Folgen - ausgewählte Ergebnisse des intensiven forstlichen Umweltmonitorings*. Berlin: BMEL, 51 p. [2] UNECE ICP FORESTS PROGRAMME CO-ORDINATING CENTRE, ed. (2022): *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests*. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany. [3] ZWEIFEL, R., et al. (2023): *Networking the forest infrastructure towards near real-time monitoring - A white paper*. *Science of The Total Environment* 872: 162167.

¹ *Autorengruppe intensives forstliches Umweltmonitoring: Henning Andreae (2), Ines Chmara (3), Hans-Peter Dietrich (4), Nadine Eickenscheidt (5), Stefan Fleck (6), Martin Greve (7), Martin Haßdenteufel (8), Juliane Henry (9), Andrea Hölscher (10), Jan Martin (11), Philip Mundhenk (3), Henning Meessenburg (6), Anne-Katrin Prescher (1), Stephan Raspe (4), Alexander Russ (12), Andreas Schmitz (5), Maximilian Strer (1), Ulrike Talkner (6), Lothar Zimmermann (4), Tanja Sanders (1)*
(1) Thünen-Institut für Waldökosysteme, (2) Staatsbetrieb Sachsenforst, (3) ThüringenForst, (4) Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, (5) Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, (6) Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, (7) Landesforsten Rheinland-Pfalz, (8) Landesamt für Umwelt- und Arbeitsschutz, (9) Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, (10) Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, (11) Landesforst Mecklenburg-Vorpommern, (12) Landeskompetenzentrum Forst Eberswalde



Dr. Inken Krüger

inken.krueger@thuenen.de

ist wissenschaftliche Mitarbeiterin im Thünen-Institut für Waldökosysteme, Arbeitsbereich Ökologie und Walddynamik und in der Koordination des intensiven forstlichen Umweltmonitorings (Level II) tätig.