

# Das intensive forstliche Umweltmonitoring: Wandel und Beständigkeit

## Konzept zur Weiterentwicklung des Level-II-Programms

INKEN KRÜGER<sup>1</sup>, HENNING ANDREAE<sup>2</sup>, INES CHMARA<sup>3</sup>, HANS-PETER DIETRICH<sup>4</sup>, NADINE EICKENSCHIEDT<sup>5</sup>, STEFAN FLECK<sup>6</sup>, MARTIN GREVE<sup>7</sup>, JULIANE HENRY<sup>8</sup>, ANDREA HÖLSCHER<sup>9</sup>, PHILIP MUNDHENK<sup>3</sup>, HENNING MEESENBURG<sup>6</sup>, ANNE-KATRIN PRESCHER<sup>1</sup>, STEPHAN RASPE<sup>4</sup>, ALEXANDER RUSS<sup>10</sup>, ANDREAS SCHMITZ<sup>5</sup>, MAXIMILIAN STRER<sup>1</sup>, ULRIKE TALKNER<sup>6</sup>, LOTHAR ZIMMERMANN<sup>4</sup>, TANJA SANDERS<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Thünen-Institut für Waldökosysteme, <sup>2</sup>Staatsbetrieb Sachsenforst, <sup>3</sup>ThüringenForst, <sup>4</sup>Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, <sup>5</sup>Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, <sup>6</sup>Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, <sup>7</sup>Landesforsten Rheinland-Pfalz, <sup>8</sup>Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, <sup>9</sup>Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, <sup>10</sup>Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde

## 1 Motivation

Unsere Umwelt befindet sich in einem raschen Wandel nie gekannten Ausmaßes. In den letzten fünf Jahren haben anhaltende Trockenperioden und damit zusammenhängende Insektenkalamitäten sowie weitere Klimaextreme - wie z. B. Stürme - vermehrt zu großflächigen Schäden und heterogenen Strukturen in Wäldern geführt und die Forstwirtschaft vor große Herausforderungen gestellt. Das forstliche Umweltmonitoring ist jetzt mehr denn je gefragt, einerseits zur Überwachung der Folgen dieser klimatischen Veränderungen, vor allem in Bezug auf die Lieferung von Daten, die für den Umbau der Wälder und die Schaffung klimastabiler Bestandesstrukturen von immenser Bedeutung sind.

Das intensive forstliche Umweltmonitoring (Level II) liefert seit drei Jahrzehnten belastbare Daten und Erkenntnisse über den Zustand und die Entwicklung von Wäldern. In Anbetracht der aktuellen Situation sind jedoch eine Anpassung und Modernisierung des Level-II-Programms zwingend notwendig. Es gilt, die Auswirkungen von Klimawandel und Witterungsextremen auf die Wälder noch stärker als bisher in den Fokus zu nehmen, diese umfassend zu erklären und Informationen für die Politik, für die Wirtschaft und für die forstliche Praxis bereitzustellen. Dazu müssen zukünftig:

- der Wasserverbrauch und der Wasserbedarf verschiedener Baumarten und Bestandesformen standortspezifisch genau untersucht und interpretiert werden,
- Schäden und Schadverläufe zeitnah dokumentiert und die damit einhergehenden Strukturveränderungen genau erfasst werden,
- die Resilienzeigenschaften gegenwärtiger und zukünftiger Zielbaumarten und Bestandesformen verstanden werden, um waldbauliche Empfehlungen auch in Zukunft auf belastbare Daten stützen zu können,
- die Einflussgrößen und Dynamiken des Kohlenstoffhaushalts der Wälder quantifiziert und
- die Triebkräfte für Biodiversität und deren Veränderungen im Wald erfasst werden.

Gleichzeitig erwächst auch aus verschiedenen politischen Initiativen auf Landes-, Bundes- und Europaebene ein zusätzlicher Informationsbedarf, der eine Neubewertung und Erweiterung der bisherigen Monitoringkonzepte erfordert.

Der Ausfall von Einzelbäumen und ganzen Waldbeständen durch Trockenheit, Stürme oder biotische Schaderreger haben schon jetzt bundesweit auf rund 280.000 ha Waldfläche und auf etwa einem Fünftel der Level-II-Flächen zu starken Veränderungen geführt (Stand 2021). Die Baum- und Waldverluste werden auch hier in den nächsten Jahren und Jahrzehnten noch weiter zunehmen. Die immer größere Heterogenität der künftigen

Bestandesstrukturen (andere Baumarten, mehr Baumarten und Altersklassen auf kleineren Flächen, zunehmender Anteil an Jungbeständen usw.) verlangt, dass die Level-II-Flächen diese wachsende Vielfalt und den Wandel der Waldstrukturen zuverlässig abbilden.

Vor diesem Hintergrund wird ein angepasstes und zukunftsorientiertes Konzept für das Level-II-Programm erarbeitet und Schritt für Schritt umgesetzt.

## 2 Ausgangslage

### 2.1 Drei Jahrzehnte solide Datenbasis

Das mehrstufige forstliche Umweltmonitoring entstand in Deutschland als Reaktion auf die gravierenden Waldschäden der 1980er-Jahre, die auf Luftschadstoffe zurückgeführt wurden. So wurden in der Bundesrepublik Deutschland 1984 erstmalig eine bundesweite Waldzustandserhebung (Level I) und in der DDR 1986 eine ökologische Waldzustandskontrolle durchgeführt. Ziel dieser Erhebungen war es, den Zustand der Wälder und das Ausmaß der luftschadstoffbedingten Waldschäden langfristig zu beobachten. Ab 1994 wurde zusätzlich ein intensives forstliches Umweltmonitoring an ausgewählten Flächen (Level-II-Programm) als Teil des internationalen Kooperationsprogramms ICP Forests im Rahmen der 1979 verabschiedeten Genfer Luftreinhaltekonvention („Convention on Long-range Transboundary Air Pollution“ (CLRTAP)) europaweit und in den EU-Mitgliedstaaten verpflichtend etabliert. Ziel war es, die Art und Stärke von Umwelteinflüssen und deren Auswirkungen auf den Wald zu analysieren und Ursache-Wirkungszusammenhänge zu erklären. In der Regel wurden für die Etablierung der Level-II-Untersuchungsflächen in den Bundesländern standort- und baumartentypische Waldbestände in größeren Waldgebieten ausgewählt, oft Reinbestände der Hauptbaumarten Buche, Fichte, Kiefer und Eiche im Baumholzalter, aber auch länger beobachtete Untersuchungsflächen aus anderen Programmen. Neu hinzukommende Umweltbelastungen haben seitdem sukzessive die Zielsetzung der Untersuchungen stark erweitert: Zum Hauptschwerpunkt der Säureeinträge kamen z.B. Fragen zur Stickstoffbelastung und die Folgen des Klimawandels als weitere Schwerpunkte hinzu. Seit Dezember 2013 stellt die „Verordnung über Erhebungen zum forstlichen Umweltmonitoring“ (ForUmV, BGBl. I S. 4384) auf Grundlage des § 41a Bundeswaldgesetz (BWaldG) den rechtlichen Rahmen des intensiven Monitorings an den Level-II-Flächen in Deutschland dar. Ein Durchführungskonzept konkretisiert die darin enthaltenen Vorgaben [1].

Die im Rahmen des Level-II-Programms bereitgestellten Daten und Informationen ermöglichen sowohl die Erfüllung von Aufgaben der Politikberatung, als auch die Bereitstellung von Informationen für die Öffentlichkeit [2]. Sie sichern auch die Einhaltung von internationalen Berichtspflichten und unterstützen Waldbesitzende und Forstverwaltungen bei der Bewirtschaftung der Wälder. Zusammen mit anderen bundesweiten Inventuren (z.B. Bundeswaldinventur) sind die Datenreihen des forstlichen Umweltmonitorings (Waldzustandserhebung, Bodenzustandserhebung im Wald und intensives forstliches Umweltmonitoring an Level-II-Flächen) die wichtigste überregionale Datengrundlage zum Wald in Deutschland. Sie liefern aktuelle Informationen und Grundlagendaten aus 14 Erhebungsbereichen (Kronenzustand, Zuwachs/Ertrag, Phänologie, Biodiversität und Bodenvegetation, Ozonschäden, Meteorologie, Boden und Bodenlösung, Nadel-/Blattanalytik, Streufall, Deposition, Luftqualität und Blattflächenindex), die nach europaweit harmonisierten und somit vergleichbaren Verfahren erhoben und gemessen werden [3]. Aufgrund dieses umfassenden Erhebungsprogramms können Belastungen und Risiken frühzeitig erkannt, Ursache-Wirkungsbeziehungen jeweils aktuell eingeschätzt und faktenbasierte Interpretationen für die Gegenwart und die erwartete zukünftige Entwicklung erstellt werden.

Die Handbücher des ICP Forests und die zwischen Bund und Ländern verbindlich abgestimmten Leitfäden zur Datenerhebung legen Messmethoden und Verfahren fest und garantieren so die Qualität und Vergleichbarkeit der erhobenen Daten. Die Messdaten werden entsprechend der Verpflichtungen aus §41a BWaldG und ForUmV sowie gemäß den Richtlinien des ICP Forests einmal jährlich an die zentrale Datenbank von ICP Forests

übermittelt. Die Strukturen der Datenbank ermöglichen sowohl die Aufbereitung und Lückenfüllung von aktuellen Datensätzen als auch die Übertragung von Altdaten, so dass das Auswerte-Potential der vorhandenen Datenbasis weiter gesteigert werden kann. Eine Arbeitsgruppe mit Vertreter\*innen aus Bund und Ländern (ForUmV-BLAG) stimmt regelmäßig neue Auswertungsansätze und die Prämissen zur Weiterentwicklung des Monitoringprogramms ab.

Darüber hinaus bilden die Beobachtungen auf den Level-II-Flächen eine wichtige Grundlage für die internationale Berichterstattung im Rahmen der CLRTAP, für Forest-Europe-Berichte sowie seit 2018 für die europäische Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen (NEC-RL). Sie sind aber auch grundlegend für die nationale Berichterstattung im Rahmen des Waldberichts der Bundesregierung, die Länderinitiative Kernindikatoren (LiKi) und nicht zuletzt für landesinterne Berichterstattungen in den Bundesländern.

Allein in den letzten zehn Jahren erschienen mehr als 200 Artikel in internationalen Fachzeitschriften, die auf den Daten bzw. der Infrastruktur von Level II basieren. Im Vordergrund standen dabei insbesondere die Auswirkungen des Klimawandels in Zusammenhang mit anthropogenen Stoffeinträgen. Besonders stark nachgefragt werden für wissenschaftliche Auswertungen Daten zu Zuwachs/Ertrag, zum Boden, zu Blatt-/Nadelanalysen, zur Meteorologie, zum Kronenzustand und zur Deposition. Länderspezifische Auswertungen und Angebote für die forstliche Praxis und die Öffentlichkeit komplettieren die Nutzung der Daten des forstlichen Umweltmonitorings auf allen Ebenen (z.B. Informationen zur Bodenfeuchte, Forstliche Witterungsberichte, Bodenfeuchteampel). Ein Teil der Themenfelder, für die aktuell verstärkte Nachfrage besteht, wurde bereits 2013 in der ForUmV benannt (z.B. Waldumbau, Baumarteneignung), die dramatische Entwicklung der letzten Jahre erfordert jedoch eine Erweiterung des bisherigen Themenspektrums.

## 2.2 Themenfelder der Zukunft

Die langfristige, zeitnahe und integrierende Datenerfassung an den Level-II-Flächen ist einzigartig. Sie erlaubt eine vielfältige Nutzung der Daten für Fragestellungen zu Waldwachstum, Wasser- und Nährstoffkreisläufen, die im Sinne von Klimaschutz und Klimaanpassung mittlerweile weit über die ursprünglichen Kernziele des Umweltmonitorings hinausgehen. Die Erfassung aller Ökosystemtriebkraft und die Auswahl der Flächen entlang von Depositions-, Boden- und Klimagradienten bietet eine wichtige Ergänzung zu den ebenfalls in §41a BWaldG verankerten flächenrepräsentativen Erhebungen (Waldzustandserhebung, Bodenzustandserhebung im Wald) und schafft auch in Zukunft die Voraussetzung zur Einschätzung der Waldentwicklung auf der Basis von Ursache-Wirkungsbeziehungen.

Die Nachfragen nach zusätzlichen Informationen zu den Auswirkungen des Klimawandels stammen sowohl aus der forstlichen Praxis und der Politik als auch aus der forstlichen und ökologischen Forschung [4], welche die an den Level-II-Flächen erhobenen Daten weiterverarbeitet und in Prognosen, Modelle, Baumarteneignungsempfehlungen usw. einbindet. Die Verschiebung der Prioritäten im Forschungsbedarf zeigt sich auch in den Waldstrategien der Bundesregierung und der EU. Auf EU-Ebene sind hier insbesondere die Ergänzung der NEC-Richtlinie um die Dokumentation der Wirkung von Immissionen auf Waldökosysteme zu nennen, sowie die, im „European Green Deal“ verankerte, Initiative einer europaweiten Struktur zur Bereitstellung von Daten zum Zustand und dem Management des Waldes.

Das intensive Monitoring an den derzeit bundesweit 68 Level-II-Flächen kann diesbezüglich wertvolle Beiträge leisten. Dabei stehen Fragestellungen aus den folgenden Bereichen im Vordergrund:

- 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) und
- Klimaschutzleistung des Waldes sowie Anpassung des Waldes an den Klimawandel.

Der Themenbereich **Waldbau/Waldmanagement** ist bereits in der Begründung der ForUmV verankert. So ist dort beispielsweise eine sich an verändernde Rahmenbedingungen angepasste Baumartenwahl als forstbetriebliches Steuerelement aufgeführt, welche sich auch aus Befunden des forstlichen Umweltmonitorings und der Bundeswaldinventur generiert. Auch die Waldstrategie 2050 verlangt Empfehlungen für eine klimaangepasste Baumartenwahl. Sie fordert darüber hinaus aber auch die Identifikation, Analyse, Bewertung, Vorbeugung und Bewältigung von Risiken sowie den Wissenstransfer in die forstliche Praxis. Im Bericht der deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) wird ein umfassendes Waldmonitoring, welches die Level II-Daten mit einbezieht, als Teil der wissenschaftlichen Entscheidungsgrundlagen genannt, auf denen ein angepasster Waldumbau basieren muss.

Der Klimawandel wirkt sich unmittelbar auf die standortspezifische Wasserverfügbarkeit und in der Folge auch auf grundlegende Waldfunktionen wie die Nährstoffspeicherung (basische Kationen, Stickstoff) und Kohlenstoffspeicherung des Ökosystems aus, die als **Ökosystemleistungen** und Ausstattung für die nächste Waldgeneration verloren zu gehen drohen, wenn es bei fortschreitendem Klimawandel zu einer Degradierung der Standorte kommt. Zeitnahe Daten und Informationen zur standortsspezifischen Bodenfeuchte und Wasserverfügbarkeit haben in diesem Kontext eine besonders hohe Priorität. Auf Grundlage der Erhebungen an Level-II-Flächen stellt eine wachsende Zahl an Bundesländern der forstlichen Praxis regelmäßige Informationen zum Wasserhaushalt zur Verfügung, die in die Entscheidungsfindungen der Forstbetriebe z.B. zum Waldumbau einfließen. Ziel ist es, in allen Bundesländern eine möglichst vergleichbare Datenbasis zu schaffen, um besonders stark gefährdete Regionen in Deutschland zu identifizieren. Waldbesitzende können so besser bei aktuellen Fragestellungen zur Baumartenwahl, zu Bestandsstruktur oder zur Durchforstungsstärke beraten und Politik und Wirtschaft mit der Expertise zu Wasserflüssen im Wald unterstützt werden. Großer Untersuchungs- und Datenbedarf erwächst diesbezüglich auch aus dem Beitrag für die DAS und im Hinblick auf zukünftig erwartete Entwicklungen, die mithilfe von Ökosystemmodellen zum Wasser- und Stoffhaushalt erarbeitet werden. Daten und fachliche Expertise aus dem forstlichen Umweltmonitoring könnten hier beispielsweise in ressortübergreifende Strategien zum Umgang mit Wassermangelsituationen und zum Hochwasser- und Lawinenschutz eingehen.

Der Themenkomplex **Stoffeinträge** hat als ursprüngliche Kernkompetenz der Level-II-Untersuchungen weiterhin Priorität. Hierbei steht zukünftig aber vor allem die Wechselwirkung zwischen Stoffeinträgen und Klimawandel im Fokus, die in allen Bundesländern insbesondere im Zuge der Wiederbewaldung von Kalamitätsflächen an Bedeutung gewinnt (z.B. Nährstoffverluste durch schnelleren Stoffumsatz, massive Vergrasung in Gebieten mit hohen Stickstoffeinträgen usw.). Darüber hinaus stellen bereits heute Daten zu den Stoffeinträgen einen wichtigen Bestandteil nationaler und internationaler Berichtspflichten dar (LiKi und dessen Weiternutzung auf Länderebene, Berichtspflichten im Rahmen von ICP Forests und der Working Group on Effects (WGE), NEC-Richtlinie, Waldbericht der Bundesregierung). Die Daten leisten einen erheblichen Beitrag zu Themenkomplexen, für die in politischen Initiativen weitreichender Informationsbedarf identifiziert wurde (z.B. Risikominimierung, Biodiversität). In der nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt werden z.B. Stoffeinträge als wichtige Treiber der Biodiversitätsdynamik angesehen und die Level-II-Daten zur Erfüllung der Berichtspflichten im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt genutzt.

Aufbauend auf den Walderhebungen der Länder und des Bundes, sieht die Waldstrategie 2050 die Etablierung eines Monitorings zum Klimawandel und seiner Folgen für den Wald vor. Das Monitoring soll sich an verändernde Anforderungen stetig anpassen, ohne dabei jedoch die Konsistenz der Zeitreihen zu gefährden. Der Klimawandel und seine vielfältigen Wirkungen sind auch in Bezug auf waldbauliche Fragen, zur Bewertung von Ökosystemleistungen und Stoffeinträgen immer mit zu berücksichtigen. Ein weiteres Ziel der Waldstrategie 2050 ist die kontinuierliche Dokumentation der **Klimaschutzleistung** des Waldes. Um diesen Informationsbedarf zu decken, können Level-II-Daten, insbesondere zu Kohlenstoffdynamik und –speicherung, verwendet werden.

## 2.3 Erforderliche Anpassungen

Um die oben genannten Themenfelder effizient und zeitnah zu bearbeiten, sind gezielte Anpassungen des Level-II-Programms erforderlich. Die Anpassungen ergeben sich aus den folgenden drei Faktoren:

(1) Das intensive forstliche Umweltmonitoring an Level-II-Flächen war bisher darauf ausgerichtet, eher langfristige und kontinuierliche Veränderungen im Wald zu erfassen. Die derzeitige Dynamik des raschen Wandels der Umwelt- und Klimabedingungen und ihrer Folgen erfordern aber zunehmend eine Abschätzung zukünftiger Entwicklungen. Aus der derzeitigen Dynamik ergibt sich damit die Herausforderung, alle Routinen und Prozesse auf den Level-II-Flächen neu zu überdenken und im Hinblick auf den wachsenden Informationsbedarf zu beschleunigen.

(2) Wie die Waldflächen so verändern sich auch die Level-II-Flächen. Der Bestockungswandel führt zu größerer Heterogenität, aber auch zu größerer Strukturvielfalt mit einem breiteren Baumartenspektrum mit neuen Zielbaumarten auf gleichem Standort. Derzeit nehmen die Störungen auf den Level-II-Flächen zu. Daraus ergibt sich die Herausforderung, den Umfang und die Intensität der Erhebungen auf den Messflächen an die aktuelle Entwicklung anzupassen, um Ursache-Wirkungsbeziehungen weiterhin zuverlässig abzubilden.

(3) Die Verfügbarkeit von innovativer technischer Ausstattung, neuen Auswertungsmethoden und zusätzliche Messprogramme, die ergänzende Datensätze bereitstellen, entwickeln sich dynamisch weiter. Aus dem Anspruch, zielgruppenspezifische Informationen auf dem neuesten Stand der Technik bereitzustellen ergibt sich die Herausforderung, diese Entwicklungen kontinuierlich in das intensive forstliche Umweltmonitoring zu integrieren.

## 3 Erhebungskonzept

Die unter Punkt 3 identifizierten Faktoren erfordern eine bundesweit abgestimmte Anpassung aller bisherigen Messungen, Untersuchungen und Maßnahmen auf den Level-II-Flächen. Die Maßnahmen können in fünf Säulen abgebildet werden, die auf das bestehende Konzept des ICP Forests aufbauen. Sie stellen eine Erweiterung des Level-II-Programms dar und sollen von den Flächenbetreibern möglichst zeitnah umgesetzt werden. Die fünf Säulen umfassen:

(1) eine Anpassung der Erfassungsmethoden, um die die zunehmende Dynamik in den Waldbeständen besser abzubilden,

(2) die Prüfung und Erweiterung der bislang abgebildeten Gradienten,

(3) die Implementierung innovativer Techniken und Verfahren,

(5) eine Erweiterung des Flächenkonzepts, das Vergleichsflächen fördert sowie

(4) die Erweiterung des Portfolios mit Methoden, die Verbindungen zu weiteren Netzwerken eröffnen.

Um das Level-II-Programm zukünftig auf einem neuen, höheren Niveau fortführen zu können, sind detaillierte Abstimmungen zwischen den Akteuren, die gemeinsame Festlegung von neuen Verfahren und die Harmonisierung bestehender Systeme zur Überwachung der Dynamik im Wald prioritär. Diese Harmonisierung des Level-II-Programms ergibt sich aus der Integration in das gesamte ICP-Forests-Programm. Zusätzliche Bedürfnisse des deutschen Level-II-Programms, die über die ICP-Forests-Handbücher hinausgehen (z.B. Spezifikationen an Messmethoden und -dichte) sollen auch zukünftig in Form von spezifischen Leitfäden bzw. Ergänzungen aller Handbücher in Abstimmung von Bund und Ländern festgelegt werden. Die Leitfäden sollen um die im Folgenden genauer vorgestellten fünf Säulen erweitert werden:

## Säule 1: Erfassung der Dynamik

Die sich in Waldökosystemen entwickelnde Dynamik ist ein bedeutender ökologischer Faktor, dessen Erfassung für das Verständnis von Ökosystemen und insbesondere im Hinblick auf die Auswirkungen des Klimawandels zunehmend wichtig wird. Das Level-II-Programm war ursprünglich darauf ausgelegt, Waldökosysteme zu beobachten, die in Betrachtungsräumen von Jahrzehnten als vergleichsweise stabile Zielgröße gesehen werden konnten. So sind die ICP-Forests-Handbücher vorrangig für ebensolche Verhältnisse ausgelegt. Um den heutigen und zukünftigen Bedingungen in deutschen Wäldern gerecht zu werden, sollen in Zukunft Messungen und Untersuchungen auf den Level-II-Flächen auch in Übergangssituationen (starke Auflichtung bis hin zum vollständigen Waldverlust) fortgeführt und die Wirkung von Umwelt- und Klimaeinflüssen auf Waldökosysteme in verschiedenen Entwicklungsphasen stärker in den Fokus von Auswertungen gerückt werden.

Die kontinuierliche Erfassung von Umwelteinflüssen und ihrer Wirkung auf Waldökosysteme erfordert entsprechende Anpassungsmaßnahmen. Viele Level-II-Flächen weisen inzwischen eine höhere Heterogenität in ihrer Struktur auf und verändern sich in ihren Funktionen und Eigenschaften auf immer kürzeren zeitlichen Skalen. Um diese Gegebenheiten abzubilden, sind folgende Anpassungen der Aufnahme- und Auswertungsmethoden unabdingbar:

- Entwicklung bzw. Ergänzung zwischen Bund und Ländern abgestimmter Leitfäden zur flächenrepräsentativen Erfassung von Umwelteinflüssen, (insbesondere Deposition und Witterung/Klima), auf heterogenen Flächen. Dies umfasst neben einem Katalog mit alten und neuen Erhebungs-Kriterien zur Stratifizierung von Flächen auch das abgestimmte Vorgehen bei Modellierungen.
- Entwicklung und Weiterentwicklung von abgestimmten Leitfäden und passenden Datenstrukturen zum Einsatz von Nahfernerkundung (Einsatz von Drohnen, LIDAR)
- Einbeziehung von bisher nicht berücksichtigten Nebenbaumarten in die Untersuchungen
- Verbesserung des Datenaustauschs zwischen den Bundesländern
- Anlage von Vergleichsflächen, um die Auswirkungen unterschiedlicher Bewirtschaftungsstrategien und Managemententscheidungen zu verifizieren (s. Säule 4)

## Säule 2: Prüfung der Flächenauswahl

Das Level-II-Netz ist ein punktrepräsentatives Messnetz. Die Level-II-Flächen bilden deutschlandweit die Depositions- und Klimagradienten ab und umfassen Wälder mit verschiedener Baumartenzusammensetzung und mit unterschiedlichen Standorteigenschaften. Das derzeitige Set aus 68 offiziellen Level-II-Flächen wurde in Relation zu vier Umweltparametern (pH-Wert des Oberbodens, Höhenlage, Niederschlag, NH<sub>4</sub>-N-Deposition) für ältere Reinbestände der vier Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche aus über 100 Versuchsflächen ausgewählt. In Anbetracht der zukünftigen Entwicklung ist die Untersuchung weiterer Baumarten und Baumartenmischungen unterschiedlicher Altersklassen zwingend notwendig. Um Erkenntnisse über mögliche Zukunftsbaumarten zu verifizieren, müssen neue Gradienten festgelegt werden. Hierfür sollen Baumeigenschaften wie z.B. der Phosphorgehalt der Blätter bzw. Nadeln genutzt werden. Die sich verändernden Waldstrukturen können z.B. über die Bestimmung der mittleren Waldhöhen überprüft werden. Von besonderer Bedeutung ist schon jetzt der Wasserhaushalt. Um die Schaffung zukunftsbasierter Waldstrukturen anhand von Level-II-Daten zu unterstützen, sind intensive Messungen und eine gradientenbasierte Abbildung von Wasserhaushaltstypen (z.B. über nutzbare Feldkapazität) zwingend notwendig. Da alle Mess- und Untersuchungsparameter Veränderungen unterliegen, soll daher in regelmäßigen Abständen eine umfassende routinemäßige Prüfung erfolgen und mit möglichen Zukunftsprognosen abgeglichen werden.

Die durchgeführte Gradientenanalyse stützte sich auf eine Grundgesamtheit von 100 Versuchsflächen. Für alle Umwelt- und Klimaparameter – sowohl bestehende als auch neu hinzukommende – ist deshalb ein Abgleich der Verteilung in deutschen Wäldern notwendig. Hierfür können Daten aus flächenrepräsentativen Netzwerken

(BWI, BZE, WZE) herangezogen werden. Das Level-II-Netz erhebt keinen Anspruch flächenrepräsentativ zu sein, jedoch ist der Abgleich notwendig um sicherzustellen, dass die Bandbreite an verschiedenen Standort- und Struktureigenschaften sowie tatsächliche Extremstandorte vertreten sind. Zusätzlich soll schnellstmöglich ein Katalog mit Standorteigenschaften und besonders relevanten Baumarten, die bislang nicht vertreten sind, erstellt werden.

### **Säule 3: Innovation - von Einzelbaumaufnahmen zur flächigen Erfassung**

Technische Innovation und wissenschaftlicher Fortschritt eröffnen neue Möglichkeiten, um wissenschaftliche Fragen besser zu beantworten. Aktuell 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 und LIDAR 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 Satelliten-gestützte Fernerkundung dienen.

Die technische Weiterentwicklung von Sensoren eröffnet den verstärkten Einsatz von zukunftsfähigen Messgeräten (z. B. Saftfluss, Bodenfeuchte, Punktdendrometer). 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. Informationen zur Bodenfeuchte für Pflanzungen und Holzerntemaßnahmen).

Neue statistische Verfahren und Modellierungsansätze ermöglichen neue Auswertverfahren. Geplant ist, insbesondere die Einbindung der an Level-II-Flächen erhobenen Daten in Prognosen (z. B. der Bodenfeuchte), Modelle (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 Heterogenität im Wald und zur Beantwortung aktueller und zukünftiger Fragen sind zusätzliche Versuchsflächen unbedingt notwendig. Baumartenvergleiche, Vergleiche zwischen Wäldern mit unterschiedlicher Altersstruktur bzw. in verschiedenen Entwicklungsstadien oder unterschiedlich bewirtschaftete Flächen (insbesondere auch bzgl. des Umgangs nach einer Störung) sowie die Manipulation des Mikroklimas bringen hier einen besonderen Mehrwert. Dies geht über das in den ICP-Forests-Handbüchern definierte Ziel, der Abbildung der wichtigsten Waldtypen des jeweiligen Landes, weit hinaus. Um den Aufwand vertretbar zu halten, wird hier ein neues Flächenkonzept erstellt, das sich an dem Konzept von Zweifel et al. (2023) orientiert [5].

Die Einrichtung von benachbarten Vergleichsflächen stellt eine kosteneffiziente Möglichkeit dar, um eine größere Vielfalt an Waldtypen und -strukturen abzubilden und die Untersuchungen entlang von bundesweiten Gradienten zu ergänzen. Hierbei stellt der Verbund mehrerer Vergleichsflächen eine „supersite“ dar. Das bedeutet, es gibt eine Messfläche im Waldbestand mit zugehöriger Freifläche, auf denen mindestens alle obligatorischen Parameter gemessen werden. Zusätzlich können eine oder mehrere weitere Versuchsflächen, so genannte „minisites“, hinzukommen und als Vergleichsflächen betrieben werden. Diese „minisites“, die sich in ausgewählten Eigenschaften von der zentralen Fläche unterscheiden und auf denen zielgerichtete Untersuchungen und Teilprogramme durchgeführt werden, sind insbesondere dafür prädestiniert, die Waldbaustrategien der Länder mit Daten und Ergebnissen aus dem Level-II-Programm zu unterstützen.

Aufgrund der Bandbreite an Fragestellungen, die an das Level-II-Programm gestellt werden, können nicht alle Fragestellungen auf der Ebene der Bundesländer beantwortet werden. Von daher wird angestrebt, dass die forstlichen Versuchsanstalten der Bundesländer entsprechend ihrer Möglichkeiten Forschungsschwerpunkte

setzen. Die schnelle und unkomplizierte Verfügbarkeit aller Level-II-Daten ermöglicht dabei die Schwerpunktsetzung in einzelnen Institutionen. So können besonders relevante Fragestellungen mit der notwendigen Intensivität untersucht werden, während für weitere Fragestellungen die Möglichkeit besteht, auf Daten von relevanten Standorten in anderen Bundesländern zuzugreifen. Die Übersichten von Flächen mit relevanten Standorteigenschaften oder Baumartenzusammensetzungen ermöglichen schon in der Planungsphase eine Bündelung der Ressourcen.

Eine Funktion der Level-II-Flächen ist neben der Schaffung einer soliden Datenbasis zu den Umwelt- und Klimaeinflüssen auf den Wald auch im Kristallisationspunkt für wissenschaftliche Forschungen zu sehen. Die bestehende Infrastruktur bildet einen Anlaufpunkt für Forschungsprojekte. Um die Zusammenarbeit zu erleichtern, sollen zukünftig für alle Level-II-Flächen außerhalb der Kernflächen Forschungsbestände ausgewiesen werden, auf denen im gegenseitigen Einvernehmen Versuche bzw. Probenentnahmen durchgeführt werden können.

## **Säule 5: Verknüpfung mit anderen Netzwerken**

Erhebungen 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 essentiell, sondern auch Grundbedingung für die Herstellung von Verbindungen mit anderen Netzwerken. Es ist notwendig zu prüfen, ob durch die Einführung zusätzlicher Messungen weitere Synergien zu bestehenden und entstehenden Netzwerken möglich werden.

Partner für die verstärkte Nutzung von Synergien sind einerseits die bestehenden flächenrepräsentativen Erhebungen der Bundwaldinventur (BWI), der Bodenzustandserhebung (BZE) und der Waldzustandserhebung (WZE), aber auch Erhebungen, die derzeit in der Entwicklung stehen, insbesondere jenen, die die Biodiversität im Wald betreffen (NaBioWald). International ist die stärkere Zusammenarbeit mit Forschungsverbänden wichtig, um Klimawandel oder die Biodiversität betreffende Fragestellungen repräsentativer auswerten zu können. Hier muss die Möglichkeit geprüft werden, in beiden Netzwerken durchgeführte Erhebungen als Verbindungsglieder im Sinne einer Verknüpfung zu nutzen. Des Weiteren muss ermittelt werden, welche Level-II-Flächen z.B. in das LTER-Netzwerk aufgenommen werden können.

Gemäß den ICP-Forests-Grundsätzen, werden die Handbücher in regelmäßigen Abständen von vier Jahren, nach Abstimmung in den entsprechenden Gremien, überarbeitet und aktualisiert. Darauf basierend, sollen für Deutschland notwendige Erweiterungen der Handbücher, die ein bundesweit einheitliches Vorgehen zu prioritären Zielen ermöglichen, erarbeitet werden (s. Säule 1). Die ICP-Forests-Handbücher legen Erfassungsmethoden fest, sind aber bezüglich der Auswertungsmethoden weitestgehend offen. Zur besseren Vergleichbarkeit ist es notwendig, einheitliche Methoden für Standardauswertungen, zu bestimmen. Das betrifft insbesondere Ökosystemleistungen und deren bundesweit vergleichbare Darstellung.

## **4 Ausblick: Nutzen für die Forstpraxis**

Die geschilderten Überlegungen verdeutlichen das weitreichende Potential, das die erhobenen Daten und die bestehende Infrastruktur des Level-II-Programms bereits bieten und zukünftig bieten sollen. Sie zeigen Prioritäten im (Weiter-)betrieb der Level-II-Flächen, in der Nutzung neuer Technologien und der Auswertung der erhobenen Daten und ermöglichen eine zukunftsorientierte Weiterentwicklung von Level II.

Die hier vorgestellte Anpassung ermöglicht eine bessere Bewertung der Waldentwicklung und einen Informationsgewinn zu den Veränderungsprozessen und -dynamiken in Wäldern. In diesem Zusammenhang sind insbesondere auch die Gefahren auf abgängigen Beständen in Bezug auf das Wasserspeichervermögen, die Humus-, Nährstoff- und Kohlenstoffverluste und die Erosionsgefahr zu nennen. Die Anpassung des Monitorings ermöglicht auch die Bereitstellung eines breiteren Angebots an aktuellen Daten zum Wasserhaushalt und zu

Stoffbilanzen unterschiedlicher Standorte und Bestandessituationen, 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 forstpolitischem Interesse. Die Erkenntnisse können zur Ableitung forstwirtschaftlicher Maßnahmen genutzt werden und zur Weiterentwicklung der Waldstrategie 2050 beitragen.

Die Umsetzung der Maßnahmen soll regelmäßig im Rahmen der Sitzungen der ForumV-Bund-Länder-Arbeitsgruppe betrachtet werden. Nach fünf Jahren ist eine erste Beurteilung der zugewonnenen Möglichkeiten zur Lieferung von Daten und Fakten zu aktuellen Fragestellungen. Eine Bewertung und eventuell erforderliche Neu- und Nachjustierung kann nach zehn Jahren erfolgen.

## 5 Literatur

[1] Eichhorn J, Bolte A, Chmara I, Dietrich H-P, Fleck F, Gehrman J, Kirchner T, König N, Meesenburg H, Raspe S, Schmidtke H, Schütze G, Strich S, Sukopp U (2016): Bund-Länder-AG zur Umsetzung der Verordnung über Erhebungen zum forstlichen Umweltmonitoring (ForUmV-AG)

[2] Krüger I, Sanders TGM, Holzhausen 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

[3] 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

[4] Ammer C, Fichtner A, Fischer A, Gossner M M, Meyer P, Seidl R, Thomas F M, Annighöfer P, Kreyling J, Ohse B, Berger U, Feldmann E, Häberle K-H, Heer K, Heinrichs S, Huth F, Krämer-Klement K, Mölder A, Müller J, Mund M, Opgenoorth L, Schall P, Scherer-Lorenzen M, Seidel D, Vogt J, Wagner S (2018): Key ecological research questions for Central European forests. *Basic and Applied Ecology* 32: 3-25

[5] Zweifel, R., C. Pappas, R.L. Peters, F. Babst, D. Balanzategui, D. Basler, A. Bastos, M. Beloiu, N. Buchmann, A.K. Bose, S. Braun, A. Damm, P. D'Odorico, J.U.H. Eitel, S. Etzold, P. Fonti, E. Rouholahnejad Freund, A. Gessler, M. Haeni, G. Hoch, A. Kahmen, C. Körner, J. Krejza, F. Krumm, M. Leuchner, C. Leuschner, M. Lukovic, J. Martínez-Vilalta, R. Matula, H. Meesenburg, P. Meir, R. Plichta, R. Poyatos, B. Rohner, N. Ruehr, R.L. Salomón, T. Scharnweber, M. Schaub, D.N. Steger, K. Steppe, C. Still, M. Stojanović, V. Trotsiuk, Y. Vitasse, G. von Arx, M. Wilmking, C. Zahnd & F. Sterck, 2023: Networking the forest infrastructure towards near real-time monitoring – A white paper. *Science of The Total Environment* 872: 162167.