



# Digitalisierung im nationalen Waldmonitoring

Digitalisierung und besonders Fernerkundung werden in der Waldbeobachtung einen immer wichtigeren Beitrag leisten. Schon jetzt laufen im Thünen-Institut für Waldökosysteme zusammen mit kooperierenden Partnereinrichtungen eine Vielzahl von Projekten und Aktivitäten, um zukünftig Baumartenverteilung, Waldschäden, Baumvitalität und Waldstrukturen mit innovativen, digitalen Methoden zu erfassen. Die Kopplung bestehender terrestrischer Erhebungen mit Fernerkundung (FE) und Verfahren der künstlichen Intelligenz (KI) liefert hierfür den Schlüssel.

TEXT: ANDREAS BOLTE, NIKOLAI KNAPP, KATJA OEHMICHEN, THOMAS RIEDEL, TANJA SANDERS, SEBASTIAN SCHNELL, NICOLE WELLBROCK

**F**ernerkundungsstudien auf Basis von Satellitendaten und international gebräuchlichen Indizes versprechen, zeitnah flächendeckende Ergebnisse zu Waldbedeckung, Struktur, Vitalität und Wasserversorgung der Vegetation bereitstellen zu können. Sie liefern räumlich verortete sensorspezifische Informationen, die nach bestimmten Kalibrierungsvorgaben prozessiert und klassifiziert werden, um aus ihnen biophysikalische Variablen abzuleiten. Verschiedenste Einflussfaktoren, wie z. B. Aufnahmezeitpunkt, Zustand der Atmosphäre, räumliche und spektrale Auflösung des Sensors, Kombination der Bänder für Indexberechnungen sowie statistische Verfahren zur Umrechnung der Signale in biophysikalische Größen, führen hierbei zu erheblichen Unsicherheiten in den Ergebnissen. Terrestrische Erhebungen liefern Ergebnisse in weitaus größerem Detaillierungsgrad und mit einer hohen Sicherheit und Genauigkeit. Allerdings können sie wegen des erforderlichen Aufwands nur stichprobenartig Ausschnitte der Wälder erfassen. Mit statistisch korrekten und wissenschaftlich fundierten Verfahren können Parameter der Grundgesamtheit verlässlich geschätzt werden. In Kombination und bei Verwendung geeigneter Verfahren können sich Fernerkundung (FE) und terrestrische Erfassung bestmöglich ergänzen, indem terrestrische Aufnahmen zum einen die FE-Schätzungen als unabhängige Daten validieren (sog. groundtruthing) und zum anderen die flächen-

deckende FE-Information kalibrieren und ergänzen. Verfahren der künstlichen Intelligenz (KI) liefern Lern- und

Klassifizierungsoptionen, um z. B. Baumarten und Waldstrukturen aus FE-Informationen zutreffend zu bestimmen und mit terrestrischen Befunden zu verknüpfen.

## Schneller ÜBERBLICK

- » **Die Kombination von digitalen Verfahren** (Fernerkundung, KI) mit bestehenden terrestrischen Erhebungen eröffnet neue Möglichkeiten des Waldmonitorings von der lokalen bis zur nationalen Ebene
- » **Wiederzubewaldende Flächen können wir zukünftig** flächendeckend in ihrer Ausdehnung, dem Schadholzvolumen sowie dem wirtschaftlichen Schaden erfassen. Gefährdungen durch Waldbrände und Sturmschäden lassen sich durch FE-gestützte, zurückschauende Analysen besser einschätzen
- » **Artspezifische Bewertungen zum Waldzustand** werden durch die Kopplung der Waldzustandserhebung (WZE) mit FE- und „machine-learning“-Verfahren regionalisiert
- » **Digitale, deutschlandweite Karten** von verschiedenen Waldstrukturparametern liefern uns die Basis für räumlich hochaufgelöste Schätzungen zu Holzvolumen, Biomasse und Kohlenstoffvorrat in den Wäldern Deutschlands

## Wiederbewaldungsbedarf zeitnah und flächendeckend erfassen

Flächendeckende Analysen zu vollständig abgestorbenen Wäldern können zukünftig wertvolle Beiträge für eine zielgerichtete Unterstützung von Waldbesitzern für Ausgleichszahlungen und Wiederbewaldungsmaßnahmen liefern. Hierzu sind aber neben der betroffenen Waldfläche auch Angaben zum von Schäden betroffenen Holzvolumen, zu den Holzsortimenten und dem daraus abgeleiteten wirtschaftlichen Schaden [vgl. 4] erforderlich. Diese Angaben lassen sich bisher nicht aus den verfügbaren Daten und mit den etablierten Verfahren ableiten. Das neue „Fernerkundungsbasierte Nationale Erfassungssystem Waldschäden“ (FNEWs) soll genau diese Lücke schließen. Hierbei arbeitet das Thünen-Institut mit der Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL, Schweiz), der Joanneum Research Forschungsgesellschaft (Österreich) und den forstlichen Landesforschungsanstalten in Sachsen, Nordwestdeutschland, Bayern und Baden-Württemberg zusammen, um zukünftige Schadflächen zeitnah und räumlich explizit erfassen und bewerten zu können. Die Validierung der mittels FE erfassten Schadflächen ist dabei ein unverzichtbares Element. Damit können grobe Über- oder Unterschätzun-

gen durch nicht ausreichend validierte oder fehlerhaft definierte Waldschadenserfassungen (z. B. Greenpeace-Studie [2]) vermieden werden.

### Schadursachen aufdecken und Gefährdungen einschätzen

Für großflächig gesicherte Aussagen über die unterschiedlichen Ursachen von Waldschäden müssen diese aus den FE-Daten zweifelsfrei identifizierbar sein. Grenzen der räumlichen Auflösung, noch fehlende Baumarten-Differenzierung sowie die unterschiedlichen Strategien von Bäumen zur Stressreaktion stellt die FE-Ursachenerfassung bisher vor große Herausforderungen. Außerdem sind kleinräumige Schäden an einzelnen Bäumen und deren Ursachen bisher nur unzureichend mit FE-Verfahren identifizierbar (Abb. 1). Momentan liegt daher unser Fokus auf der Unterscheidung von spezifischen, bekannten Schadursachen wie Waldbränden und Sturmschäden auf größeren Flächen. Dabei werden zurückschauend sowohl das Klima als auch die Waldstruktur von ehemaligen Waldbrandflächen erfasst, um besonders gefährdete Strukturen und die kritischen klimatischen Bedingungen für den Brandbeginn zu identifizieren [1]. FE unterstützt hier die Beurteilung der Brandschwere und Ausdehnung. Ähnlich gehen wir auch bei der Erfassung von Sturmschäden vor, um die kritischen Einflussfaktoren besser verstehen zu können. Die FE-gestützten Forschungen gehen in Modelle und dyna-

## „Digitale Methoden der Fernerkundung und der KI liefern eine wertvolle Ergänzung zum terrestrischen Waldmonitoring.“

ANDREAS BOLTE

mische Vulnerabilitätskarten ein, um die zukünftige Gefährdung von Wäldern besser beurteilen zu können.

### Waldzustand und Baumvitalität zutreffend beurteilen

Die Baumvitalität und der Waldzustand sind weitere wichtige Anwendungsbereiche für die Digitalisierung. Aber der in FE-Verfahren häufig verwendete Vitalitätsindex NDVI (sog. Grünheits-Index) liefert bisher ohne Artdifferenzierung nur eingeschränkte Informationen. Stieleichen sprengen beispielsweise unter Trockenheit als Anpassung aktiv Zweige vor Erreichen eines kritischen Trockenstatus ab (sog. Kladoptosis) [3]), während vorzeitiger Trockenlaubfall bei Buchen eine Folge der Blattwelke ist [5]. Daraus folgt, dass der gleiche absolute NDVI-Wert bei beiden

Arten sehr unterschiedlich zu bewerten ist. Autoren von aktuellen, international begutachteten FE-Studien zur Vitalität von Wäldern in den zurückliegenden Trockenjahren [6] sind entsprechend zurückhaltend mit absoluten Flächenangaben und abschließenden Bewertungen. Die Kronenansprachen der Waldzustandserhebung liefert seit 30 Jahren deutschlandweit repräsentative, artspezifische Angaben zur Baumvitalität. So zeigen bspw. aktuelle Analysen zum Einfluss der klimatischen Wasserbilanz (KWB) auf Kronenverlichtung bei Fichten, dass nach extremen Trockenjahren (2003, 2018 und 2019) der Anteil deutlicher Kronenschäden im Folgejahr sprunghaft steigt (Abb. 2).

Die Kombination der terrestrischen Waldzustandserhebung mit digitalen Verfahren der Fernerkundung und künstlichen Intelligenz bietet zu einen Lösungen zur Übertragung der Punkterhebungen aus der WZE auf die Fläche. Zum anderen können WZE-Daten helfen, die FE-gestützte Vitalitätsbewertung zu verbessern. Hierzu ist eine engere Zusammenarbeit mit dem Umweltforschungszentrum (UFZ) geplant.

### Baumartenverteilung und Waldstrukturen deutschlandweit beschreiben

Kenngrößen zur Baumartenverteilung und Waldstruktur können auf Ebene der Länder und des Bundes statistisch abgesichert aus der Bundeswaldinventur abgeleitet werden. Die Fernerkundung hat das



**LogStackPRO**

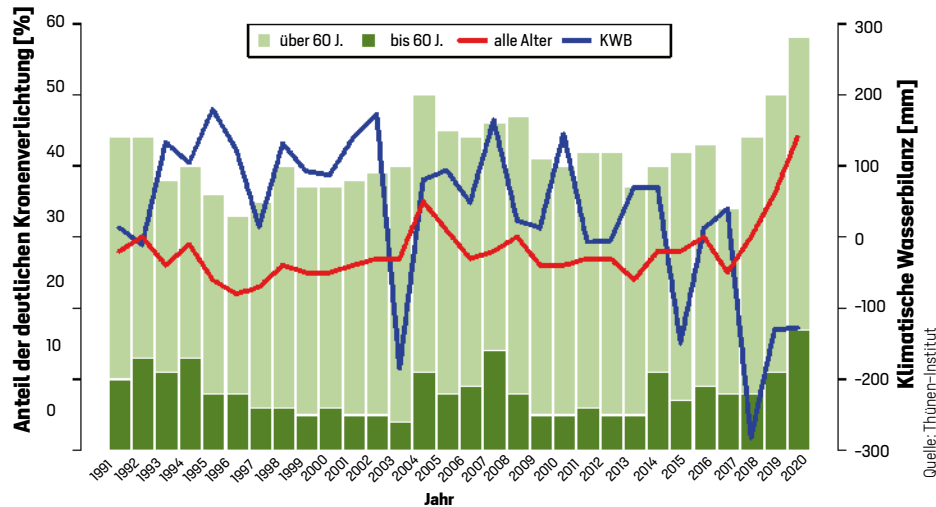
**SCHNELL - LEICHT - GEEICHT**

- Präzise Bestimmung der Holzmasse im Wald
- Vermessung ohne Bezugsmaß
- Einziges zertifiziertes Handvermessungssystem für die Vorder- und die Rückseite des Rundholzpolters

Mehr Informationen:  
[www.hdlogsystems.de](http://www.hdlogsystems.de)



## Einfluss der Wasserknappheit auf die Verlichtung der Baumkronen



**Abb. 2:** Gegenüberstellung von klimatischer Wasserbilanz (KWB: Differenz von Niederschlag und potenzieller Evapotranspiration, Datengrundlage DW) und dem Anteil deutlicher Kronenverlichtung (> 25 %) in Fichtenbeständen der Waldzustandserhebung (WZE), getrennt nach Altersklassen (n = 201 WZE-Standorte deutschlandweit)

Potenzial, diese Kenngrößen in die Fläche zu übertragen und Baumarten oder Strukturparameter räumlich explizit zu kartieren. Daher entwickeln wir derzeit verschiedene fernerkundungsbasierte Methoden, um die Daten der Bundeswaldinventur mit Zeitreihen der Sentinel-1- und Sentinel-2-Satelliten zu verknüpfen und daraus u. a. eine nationale Baumartenkarte zu erstellen. Daneben bereichern FE-Daten bereits die Bundeswaldinventur in Form von Kleingebietsschätzern. Dabei werden sowohl Laser-Daten als auch opti-

### Literaturhinweise:

[1] GNILKE, A.; SANDERS, T. (2021): Waldbrandhistorie in Deutschland (2001–2020). Thünen Project brief 2021/32. Thünen-Institut für Waldökosysteme, Eberswalde. DOI:10.3220/PB1636642797000 [2] IBISCH, P.L.; GOHR, C.; MANN, D.; BLUMRÖDER, J. S. (2021): Der Wald in Deutschland auf dem Weg in die Heizeit. Greenpeace (Auftraggeber), online unter: [https://www.greenpeace.de/sites/default/files/publications/ibisch\\_et\\_al\\_2021\\_der\\_wald\\_in\\_deutschland\\_auf\\_dem\\_weg\\_in\\_die\\_heisszeit\\_final.pdf](https://www.greenpeace.de/sites/default/files/publications/ibisch_et_al_2021_der_wald_in_deutschland_auf_dem_weg_in_die_heisszeit_final.pdf). [3] KLUGMANN, K.; ROLOFF, A. (1999): Ökophysiologische Bedeutung von Zweigabsprünngen (Kladotaxis) unter besonderer Berücksichtigung der Symptomatologie von *Quercus robur* L. Forstw Cbl 118, 271–286. DOI: 10.1007/BF02768991. [4] MÖHRING, B.; BITTER, A.; BUB, G. et al. (2021): Schadenssumme insgesamt 12,7 Mrd. Euro. Holzzentralblatt 147, 9:155–158. [5] SCHULDT, B.; BURAS, A.; AREND, M. et al. (2020): A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests. *Basic and Applied Ecology* 45:86–103. DOI: 10.1016/j.baec.2020.04.003. [6] SENF, C.; SEIDL, R. (2021): Persistent impacts of the 2018 drought on forest disturbance regimes in Europe. In *Biogeosciences* 18 (18), pp. 5223–5230. DOI:10.5194/bg-18-5223-2021.

sche Sensoren genutzt, um für kleinere Auswertungseinheiten wie Landkreise statistisch abgesicherte Aussagen liefern zu können. Dies gelingt nicht für jede der rund 500 Zielgrößen der BWI, sondern nur für Größen wie Holzvolumen, Biomasse und Kohlenstoffvorrat, deren Werte mit den aus Fernerkundungsdaten abgeleiteten Hilfsvariablen gut korrelieren.

Gemeinsam mit unseren europäischen Partnern von ENFIN (European National Forest Inventory Network) untersuchen wir auch die Anwendbarkeit und Praxistauglichkeit von weiteren Sensoren und Plattformen, wie terrestrischen Laserscannern oder Drohnen, zur Unterstützung der Feldaufnahmen in nationalen Waldinventuren. Ziel der Untersuchungen ist dabei, festzustellen, inwieweit Zusatzinformationen zeitnah und effizient an den Stichprobenpunkten erhoben werden können. Derzeit sind der Einsatz und die Datenauswertung noch sehr zeitaufwändig, kostenintensiv, nicht deutschlandweit erprobt und verursachen auch logistische Probleme. Etwa 100 Inventurtrupps erfassen die Daten zur Bundeswaldinventur 2022. Deren komplette Ausstattung mit Drohnen oder terrestrischen Laserscannern würde die Kosten sowie den Schulungs- und Auswertungsaufwand drastisch erhöhen.

### Fazit

Sich derzeit schnell entwickelnde Verfahren der Fernerkundung und der künstlichen Intelligenz (KI) werden

immer wichtiger für den Einsatz in der Waldbeobachtung. Anwendungsreife Beispiele hierfür finden sich auch in den nationalen Waldinventuren und im Monitoring in unseren Nachbarländern Schweiz und Österreich oder aber auch in Skandinavien. Allerdings sind die Waldflächen der Schweiz und Österreichs deutlich kleiner und die Waldverhältnisse in Skandinavien deutlich homogener. Die Waldflächengröße und die hohe Vielfalt von Gelände- und Standortsbedingungen sowie Waldstrukturen erschweren die flächendeckende, abgesicherte Anwendung digitaler Methoden in Deutschland. Dennoch wird ihr Einsatz in der flächendeckenden, deutschlandweiten Echtzeit-Analyse von Waldschäden, deren Schadensursachen und den Waldstrukturen bis hin zur lokalen Ebene zukünftig einen großen Mehrwert für die Entscheidungsfindung in Politik und Praxis liefern. Gelingen wird dies aber nur in der Kombination von digitalen Verfahren mit dem bestehenden terrestrischen Waldmonitoring und den laufenden Waldinventuren. Erst deren Daten in hoher Qualität und Präzision liefern die Basis für die effiziente Waldbeobachtung der Zukunft.



### Prof. Dr. Andreas Bolte [andreas.bolte@thuenen.de](mailto:andreas.bolte@thuenen.de)

leitet das Thünen-Institut für Waldökosysteme, in dem die nationale forstliche Waldbeobachtung (Bundeswaldinventur, Forstliches Umweltmonitoring) koordiniert wird. **Dr. Katja Oehmichen** und **Dr. Sebastian Schnell** arbeiten in FE-Projekten im Arbeitsbereich Waldressourcen und Klimaschutz des Instituts, in dem **Dr. Thomas Riedel** die Bundeswaldinventur koordiniert. **Dr. Tanja Sanders** koordiniert den Arbeitsbereich Waldökologie und Biodiversität und diverse FE-Projekte zu Waldschäden. **Dr. Nikolai Knapp** ist im Arbeitsbereich Bodenschutz und Waldzustand im Bereich FE und KI tätig, den **Dr. Nicole Wellbrock** leitet.