

Großflächige KI-basierte Totholzkartierung auf Einzelbaumebene mit OpenData

1) Hintergrund

Stehendes Totholz ist in unterschiedlicher Ausprägung Bestandteil der Wälder. Die Erfassung dieses Totholzes stellt ein wichtiges Instrument der Waldinventur dar und ermöglicht Rückschlüsse auf regionale Einflussfaktoren. In bisherigen Publikationen wurde die **KI-basierte Totholzkartierung bereits regional umgesetzt** (Briechle 2023, Märyä 2025). Jedoch ist für die Anwendung in der Praxis anzustreben, ein Modell zu generieren, das einerseits eine **hohe Übertragbarkeit** auf neue frei verfügbare Datensätze aufweist und andererseits eine **hohe Flächenleistung** ermöglicht.

2) Methodik

Aus diesen Gründen wird in dieser wissenschaftlichen Studie eine **großflächige KI-basierte Totholzkartierung auf Einzelbaumebene mit OpenData** forciert (vgl. Abb. 1). Als Datengrundlage dient das **CIR-Orthophoto** (GSD=20cm) und das normalisierte digitale Oberflächenmodell (**nDOM**; GSD=20cm) als Filter im Postprocessing. Die großflächige Totholzkartierung ist dabei mit verschiedenen **Herausforderungen** verbunden. Dazu zählen insbesondere die **unterschiedlichen forstlichen Wuchsgebiete**, die **variierenden Aufnahmezeitpunkte** der CIR-Orthophotos sowie die heterogenen **radiometrischen Eigenschaften** in den einzelnen Befliegungslosen. Um diesen Faktoren gerecht zu werden, erfolgt die Auswahl der Trainingsdaten gezielt unter Berücksichtigung dieser Varianz. Für den Trainingsdatensatz wurden ca. **20 700 Totholzinstanzen** gelabelt, davon etwa 4 100 als Validierungsdaten. Zusätzlich wurden ca. 2 300 Totholzinstanzen als Testdaten annotiert.

Als KI-Modell wird **YOLO11** (Jocher & Qiu 2024) in mehreren Variationen trainiert und getestet, wobei das leistungsfähigste Modell für die großflächige Ableitung verwendet wird. Aus den geschätzten Instanzpolygonen werden Kreisobjekte abgeleitet, die sich wiederum in Punktobjekte überführen lassen. Die **Speicherung als Punktobjekte** ist dabei besonders effizient. Zusätzlich werden jedem Punktobjekt die Attribute **Confidence, Radius, Baumhöhe und Aufnahmezeitpunkt** zugeordnet. Das Ergebnis ist ein **großflächiger, georeferenzierter Datensatz** mit stehendem Totholz.

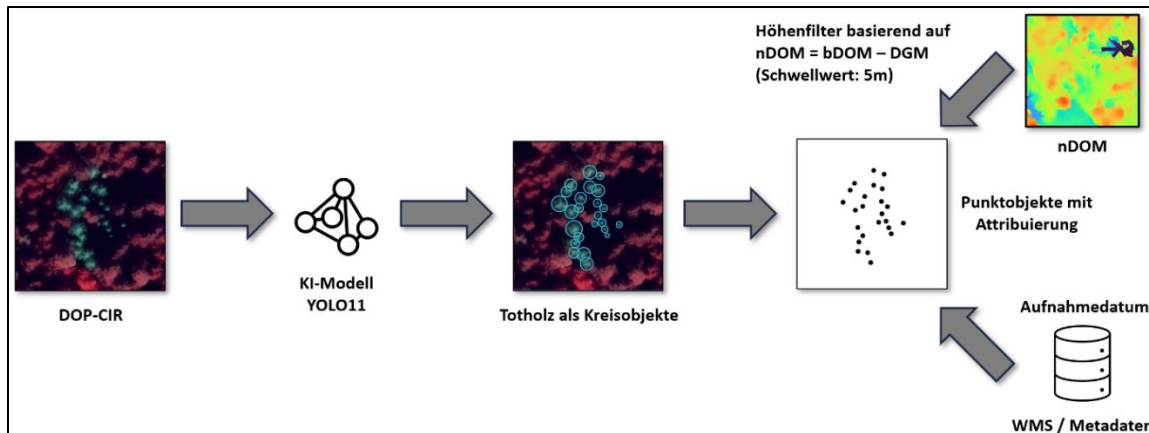


Abb. 1: Workflow zur großflächigen Totholzkartierung

3) Ergebnisse

Die KI-basierte Totholzkartierung mit YOLO11 zeichnet sich insbesondere durch die **hohe Flächenleistung** aus. Die Dauer der Totholzkartierung inkl. Filterung und Export liegt bei **etwa 2,1 s/km²** auf einer NVIDIA® Quadro RTX 5000 (16 GB VRAM), wobei die Dauer pro km² abhängig von der Anzahl der Totholzinstanzen ist. Zudem ist die **hohe Übertragbarkeit** auf neu zu kartierende Gebiete zu nennen. Bislang wurden dabei folgende Gebiete prozessiert (vgl. Tab. 1).

Tab. 1: Prozessierte Gebiete

Gebiet	Größe	Ø-Dauer	Gesamtdauer
Freistaat Bayern	70 550 km ²	2,06 s/km ²	41 h 13 min
Arnsberger Wald in NRW	707 km ²	2,34 s/km ²	27 min
Niedersächsischer Harz	346 km ²	3,71 s/km ²	21 min

Eine beispielhafte Totholzkartierung im Arnsberger Wald ist in der Abb. 2 dargestellt. Durch die Kombination von DOP-CIR und nDOM aus verschiedenen Befliegungsjahren lässt sich für ein Gebiet eine **Zeitreihe** erstellen. Dies ermöglicht es, **Veränderungen im Totholzbestand** – sowohl Zunahmen als auch Abnahmen – nachzuvollziehen. Zudem lässt sich die Totholzkartierung auf Einzelbaumebene mit höherer Sicherheit verifizieren. Bei uneindeutigen Einschätzungen kann so nachvollzogen werden, ob ein Baum tatsächlich abgestorben ist oder nicht. Für das Befliegungslos Scheßlitz in Bayern wurde bereits eine Zeitreihe mit zwei Epochen abgeleitet (Epoche 1: Mai 2023, Epoche 2: Mai 2025). Abb. 3 zeigt die daraus **generierte Heatmap** der Totholzkartierung. In einigen Bereichen wird eine Zunahme von stehendem Totholz sichtbar, während in anderen Regionen ein Rückgang zu verzeichnen ist.

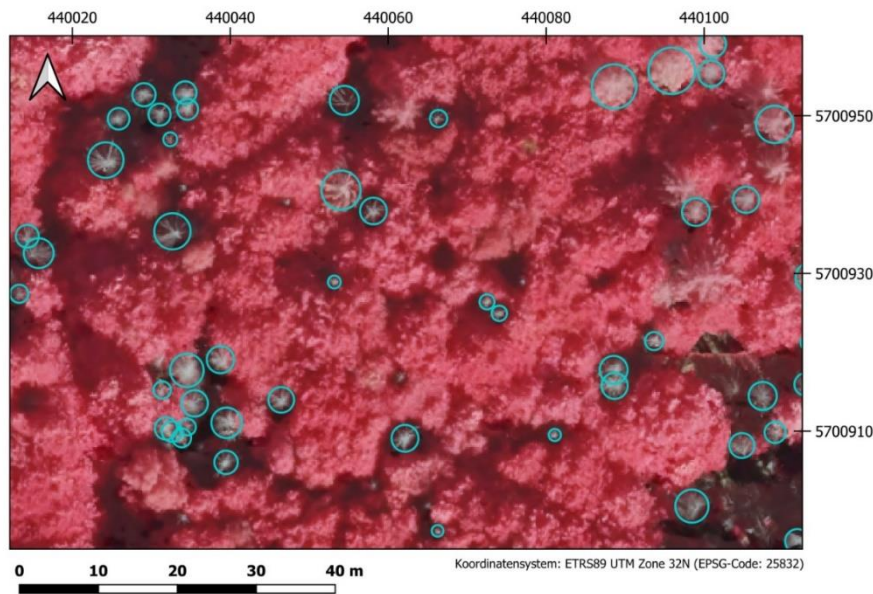


Abb. 2: Beispielhafte Totholzkartierung im Arnsberger Wald

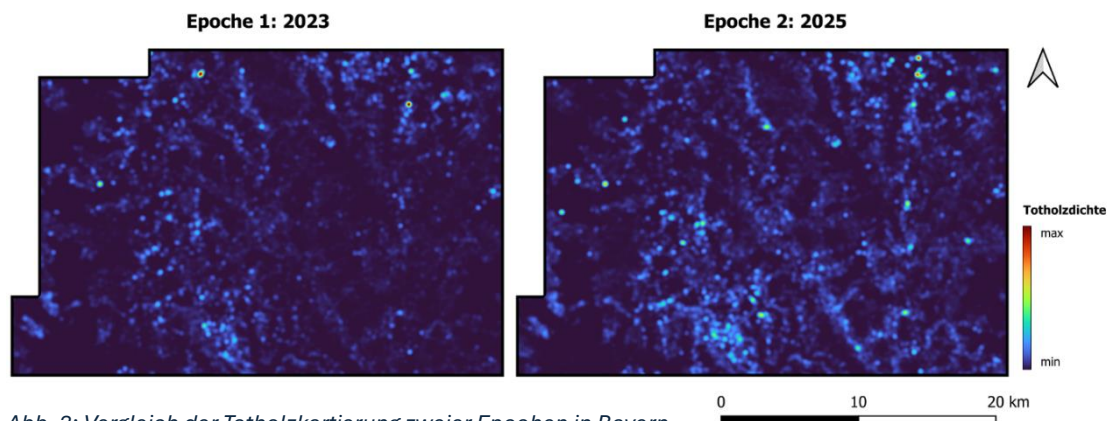


Abb. 3: Vergleich der Totholzkartierung zweier Epochen in Bayern

4) Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Beitrag zeigt, dass eine großflächige Totholzkartierung mit hoher Flächenleistung auf Basis von OpenData-Produkten möglich ist und diese auf andere Gebiete übertragen werden kann. Eine denkbare weiterführende Untersuchung ist die Integration von Wetterdaten zur Abschätzung zukünftiger Totholzvorkommen.

5) Referenzen

- Briechele, S. (2023): Instanzsegmentierung von stehendem Totholz mittels Mask R-CNN und CIR-Bildern. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V., 31, S. 213-222.
- Jocher, G. & Qiu, J. (2024): Ultralytics YOLO11, <https://github.com/ultralytics/ultralytics>, letzter Zugriff 24.11.2025.
- Mäyrä, J., Tanhuanpää, T., Kuzmin, A., Heinaro, E., Kumpula, T. & Vihervaara, P. (2025): Using UAV images and deep learning to enhance the mapping of deadwood in boreal. Remote Sensing of Environment, 329, 114906, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2025.114906>.