Waldwissen.net WSL (2026)
ISSN 3043-0909

Fernerkundung zur Borkenkäfer-Früherkennung: Potenzial und Grenzen

Authors

Markus Kautz [1], Joachim Feurer [1], Petra Adler [1] Martin Moritzi [2]

[1] Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA BW)
[2] Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

Citation

Kautz M., Feurer J., Adler P., Moritzi M. (2026) Fernerkundung zur Borkenkäfer-Früherkennung: Potenzial und Grenzen. Waldwissen.net WSL. doi.org/10.55419/wsl:43647

Dieser Beitrag entstand in Zusammenarbeit mit dem Netzwerk TriNational ForestLab.

https://doi.org/10.55419/wsl:43647
This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International.

Fernerkundung zur Borkenkäfer-Früherkennung: Potenzial und Grenzen

Fernerkundung erkennt Buchdruckerbefall erst, wenn die Krone messbar reagiert – und damit zu spät für eine wirksame Sanierung. Warum das kurze Zeitfenster zwischen Befall und Käferausflug ein Problem ist – und wo Satelliten, Flugzeuge und Drohnen trotzdem sinnvoll eingesetzt werden können.

Abb. 1. Buchdruckerbefall. Verharztes Einbohrloch am Stamm. Foto: Valentin Queloz (WSL)

Satellitenbilder, Drohnen und Flugzeugkameras können befallene Fichten bisher nicht zuverlässig früh genug erkennen, um ein wirksames Sanierungsmanagement auszulösen. Der Grund liegt im Zusammenspiel der Biologie des Borkenkäfers, der Reaktion der Bäume und der technischen Möglichkeiten: Das Zeitfenster zwischen Befall und Käferausflug ist kürzer als die Kronenveränderungen, die aktuelle Methoden der Fernerkundung erfassen können. Terrestrische Kontrolle bleibt daher unersetzlich, doch Fernerkundung eröffnet in bestimmten Situationen sinnvolle Ergänzungsmöglichkeiten.

Warum das Zeitfenster so eng ist

Der Buchdrucker *(Ips typographus)* befällt bevorzugt geschwächte Fichten *(Picea abies)* und kann bei Massenvermehrung in kurzer Zeit große Waldflächen zum Absterben bringen. Das Prinzip des Gegensteuerns ist einfach: Befallene Bäume müssen gefunden und entnommen werden, bevor die neue Käfergeneration ausfliegt und benachbarte Bäume befällt. Gelingt die Sanierung vor dem Ausflug, ist sie wirksam; danach kaum noch.

In kollinen bis submontanen Lagen Mitteleuropas fliegen die Jungkäfer typischerweise 6 bis 10 Wochen nach dem Erstbefall aus. Während dieser Zeit zeigt die Fichte nach außen wenig: Die Krone

bleibt zunächst grün, während sich der Käfer unter der Rinde beginnt zu entwickeln. Erst wenn Phloem und Feinwurzeln absterben und die Wasserversorgung der Krone zusammenbricht, werden Veränderungen im Kronenspektrum sichtbar: Chlorophyll- und Wassergehalt sinken, die Temperatur steigt. Genau diese Signale erfassen optische Fernerkundungssysteme – und darin liegt ihre grundsätzliche Grenze. Die von ihnen messbaren Veränderungen setzen nämlich erst ein, wenn die Schädigung bereits weit fortgeschritten ist. Damit erfolgt die Detektion in aller Regel zu spät für eine wirksame Sanierung (Abb. 2).

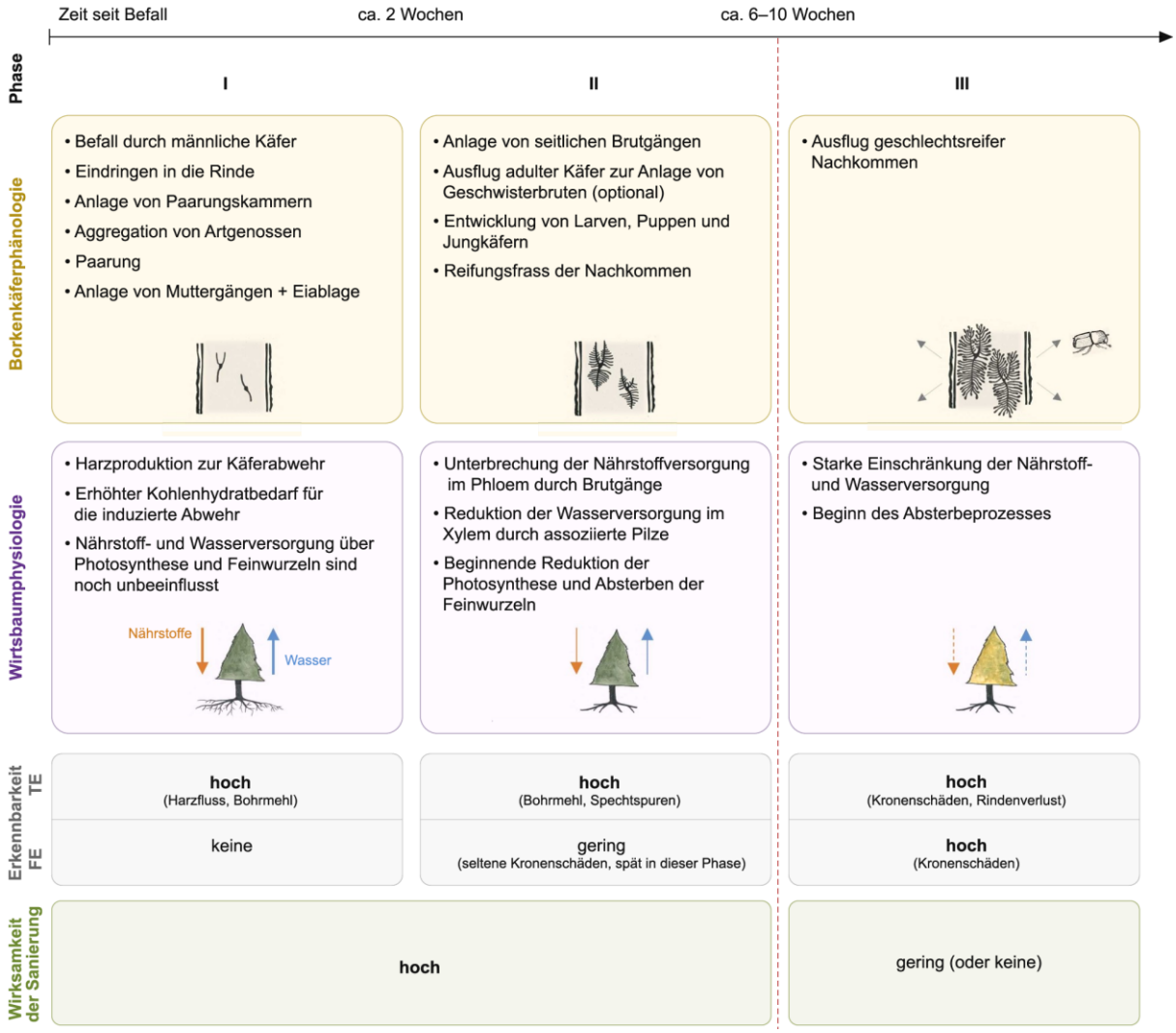

Abb. 2. Schematischer Überblick über die Phänologie von *Ips typographus*, der Physiologie von *Picea abies*, der Erkennbarkeit eines Befalls durch terrestrische Erhebungen (TE) und Fernerkundung (FE) sowie der Wirksamkeit von Sanierungsmaßnahmen im Zeitverlauf. Die rote vertikale Linie markiert den Zeitpunkt, der für ein wirksames Borkenkäfermanagement entscheidend ist. Quelle: Kautz *et al.* (2024), verändert.

Aus Managementsicht gilt ein Befall nur dann als rechtzeitig erkannt, wenn dies vor dem Ausflug der Jungkäfer geschieht. Viele Fernerkundungsstudien verwenden den Begriff «Früherkennung» (im Englischen «early detection» bzw. «green attack detection») unscharf, was zu überhöhten Erwartungen geführt hat. Nur Früherkennung im Sinne einer Vor-Ausflug-Detektion ermöglicht eine wirksame Sanierung des betroffenen Baumes.

Kein Ansatz erreicht die nötige Genauigkeit

In einer Übersichtsstudie (Kautz *et al.* 2024) wurden 26 wissenschaftliche Arbeiten aus den Jahren 2000 bis 2022 ausgewertet, die sich explizit mit der Früherkennung von Buchdruckerbefall mittels Fernerkundung befassen. Untersucht wurden Ansätze mit Satelliten (54% der Studien), Flugzeugen (23%), Drohnen (19%) sowie in einem Fall mit terrestrischen Sensoren. Als Sensortypen dominierten passive Multispektralsysteme; aktive Sensoren wie Lidar und Radar wurden nur in vier Studien eingesetzt.

Die Studien bewerteten die Erkennungsleistung mittels Fernerkundung mit zwei einfachen Fragen: Wie gut repräsentieren die vom jeweiligen Verfahren erkannten Befälle tatsächlich Befälle (Trefferquote)? Und wie viele der befallenen Bäume werden übersehen (Fehlerquote)?

Abb. 3. Abgestorbene (grau), absterbende (rotbraun) und vermutlich auch frisch befallene Fichten (noch nicht verfärbt) in einem Befallsnest des Buchdruckers. Foto: Valentin Queloz (WSL)

Die Ergebnisse fallen durchgehend ungenügend aus. In den 17 Studien mit belastbaren Angaben waren im Mittel nur rund 59% der als befallen eingestuften Bäume tatsächlich befallen, und nur etwa 63% der befallenen Bäume konnten erkannt werden. Kein Ansatz erreichte bei beiden Kriterien gleichzeitig den für die Praxis als Mindestanforderung gesetzten Schwellenwert von 80%.

> Zum Vergleich: Bei häufig und systematisch durchgeführten Kontrollgängen im Bestand sind rund 91% der als befallen eingestuften Bäume tatsächlich befallen und etwa 93% der tatsächlich befallenen Bäume werden gefunden.

Noch schwerer wiegt der Befund zur Rechtzeitigkeit: Nur bei 5 der 26 Studien war es überhaupt wahrscheinlich, dass die Detektion vor dem Ausflug der Käfer erfolgte. In den meisten Fällen wurden also Bäume erst in einem Stadium erkannt, in dem eine wirksame Sanierung nicht mehr möglich war, was ihren Nutzen für die Praxis entsprechend einschränkt.

Warum Fernerkundung an ihre Grenzen stößt

Neben der verzögerten Reaktion der Fichtenkronen ist auch die Bewölkung ein oft unterschätztes Grundproblem. Passive Sensoren – also das Gros der eingesetzten Systeme – benötigen wolkenfreie Bedingungen. In den fichtendominierten Regionen Mittel- und Nordeuropas beträgt die mittlere Bewölkung während der Hauptaktivitätszeit des Buchdruckers (April bis Oktober) 50 bis 80%. Im zentraleuropäischen Mittelgebirge stehen im Durchschnitt also nur 7 bis 12 wolkenfreie Tage pro Monat zur Verfügung.

Sentinel-2-Satelliten könnten bei idealem Wetter alle 5 Tage eine Aufnahme liefern; bei 60 bis 70% Bewölkung verlängert sich dieses Intervall auf durchschnittlich 15 Tage. Für ein rechtzeitiges Eingreifen im engen Zeitfenster des Buchdruckerbefalls ist das zu lang. Aktive Sensoren wie Radar oder Lidar sind wolkenunabhängig und daher grundsätzlich besser geeignet; bisher sind sie aber kaum untersucht.

Hinzu kommt, dass Fernerkundung lediglich Vitalitätsverluste misst und nicht den Borkenkäferbefall selbst. Trockenstress, Nährstoffmangel oder Kronenschäden durch Sturm- oder Schneebruch erzeugen ähnliche spektrale Signale wie ein frischer Buchdruckerbefall. Eine eindeutige Zuordnung ist deshalb schwierig und führt besonders in Trockenjahren zu Fehlklassifikationen, die Kontrollkapazitäten binden und das Vertrauen in die Methode untergraben können.

Abb. 4. Überwinterungsbäume im Herbst. Absterbende Fichten (rotbraun) in grünem Bestand.
Foto: Valentin Queloz (WSL)

Wo Fernerkundung heute sinnvoll ist

Trotz dieser Grenzen gibt es spezifische Situationen, in denen Fernerkundung einen echten Mehrwert für das Borkenkäfer-Management bietet.

Ein besonders vielversprechender Anwendungsfall sind Überwinterungsbäume: Käfer, die sich im Spätsommer eingebohrt haben, entwickeln sich im Herbst und überwintern in Mitteleuropa zumeist im Baum, ohne erneut auszufliegen und sich anderswo einzubohren. Die für terrestrische Kontrollen wichtigen Bohrmehlspuren fehlen. Gleichzeitig beginnt sich aber die Krone zu verfärben. Ab September / Oktober öffnet sich damit ein Zeitfenster für Fernerkundung: Solche Bäume können im Winterhalbjahr erkannt und vor dem Frühjahrsausschlupf saniert werden.

Außerdem kann Fernerkundung Befallsherde räumlich eingrenzen und so terrestrische Kontrollgänge gezielt steuern. Da Folgebefälle typischerweise in einem Umkreis von 100 bis 300 Metern auftreten, lässt sich der Kontrollaufwand räumlich konzentrieren, selbst wenn die Detektion für eine direkte Sanierung zu spät erfolgt. Insbesondere kann Fernerkundung in unwegsamen oder extensiv bewirtschafteten Beständen, wo Kontrollgänge nur eingeschränkt möglich sind, damit die terrestrische Kontrolle unterstützen.

Nicht zuletzt bietet die Fernerkundung die Möglichkeit, rasch und großflächig Informationen zu windgeworfenen Fichten zu liefern, welche als potentielles Brutmaterial für den Buchdrucker dienen und daher zeitnah aufgearbeitet werden sollten.

Abb. 5. Drohne im Einsatz über Fichtenbestand. Foto: Petra D'Odorico (WSL)

Voraussetzungen für bessere Systeme

Für ein operativ nutzbares Früherkennungssystem sind folgende technische Voraussetzungen entscheidend: Sensoren mit Empfindlichkeiten für Veränderungen des oberen Kronenbereichs, eine räumliche Auflösung, welche die Erfassung von Einzelkronen ermöglicht, sowie eine Aufnahmefrequenz von 1 bis 3 Tagen. Aktive Sensoren, wie z. B. Radar- oder Lidar-Komponenten könnten die Wolkenproblematik passiver Sensoren zumindest teilweise abpuffern. Deren Eignung für die Früherkennung von Borkenkäferschäden ist jedoch bislang nicht eindeutig nachgewiesen. Darüber hinaus bieten fortgeschrittene KI-Algorithmen des maschinellen und deep learnings zunehmend Ansätze zur tiefergehenden Analyse der Fernerkundungsdaten.

Grundsätzlich bleibt aber die biologische Grenze bestehen: Kronenveränderungen, die zuverlässig auf Buchdruckerbefall hinweisen, setzen erst ein, wenn die Schädigung des Phloems fortgeschritten ist – und damit zu spät für eine wirksame Sanierung des betroffenen Baumes. Technische Fortschritte können dieses Grundproblem abschwächen, wohl aber kaum überwinden.

Für die Forstpraxis

Für den praktischen Einsatz im Borkenkäfer-Management ergibt sich eine klare Konsequenz: Eine zuverlässige Früherkennung des Buchdruckerbefalls allein durch Fernerkundung ist derzeit nicht möglich. Regelmäßige, häufige terrestrische Kontrollgänge bleiben die einzige verlässliche Methode, um befallene Bäume rechtzeitig zu erkennen. Fernerkundung kann diese Kontrollgänge in spezifischen Situationen ergänzen, aber nicht ersetzen:

- Die größte praktische Relevanz hat Fernerkundung im Herbst zur Detektion von Überwinterungsbäumen, wenn Bohrmehlspuren fehlen und die Kronenverfärbung einsetzt.
- Erkannte Befallsherde – auch wenn zu spät für die direkte Sanierung – helfen, terrestrische Kontrollen in der Folgesaison räumlich zu priorisieren.
- Besonders in schwer zugänglichem Gelände oder in Beständen ohne ausreichende Kontrollkapazität ist Fernerkundung ergänzend sinnvoll.
- Publizierte Genauigkeitswerte aus Fernerkundungsstudien sollten kritisch eingeordnet werden: Viele beziehen sich auf Spätbefallsstadien oder kleine Validierungsstichproben und sind nicht auf operative Verhältnisse übertragbar.

Abb. 6. Nur mittels terrestrischer Befallskontrolle können frühe Befallsmerkmale am Stamm (Bohrmehl, Harztropfen) erkannt werden, ebenso Verfärbungen am Kronenansatz. Foto: Felicitas Sander (FVA BW)

Literatur

Kautz M., Feurer J., Adler P. (2024) Early detection of bark beetle *(Ips typographus)* infestations by remote sensing – A critical review of recent research. Forest Ecology and Management 556: 121595. doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121595

Dokumenteninfos

Autoren
Markus Kautz, Joachim Feurer, Petra Adler (FVA BW)
Martin Moritzi (WSL)

Redaktion
Eidg. Forschungsanstalt WSL

Kontakt
Markus Kautz
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg
Waldschutz
Wonnhaldestraße 4
D - 79100 Freiburg

Zitierung
Kautz M., Feurer J., Adler P., Moritzi M. (2026) Fernerkundung zur Borkenkäfer-Früherkennung: Potenzial und Grenzen. Waldwissen.net WSL. doi.org/10.55419/wsl:43647

Open Access
Dieser Beitrag ist Open Access. Alle Inhalte, bei denen nichts anderes angegeben ist, unterliegen der Creative-Commons-Lizenz CC BY 4.0. Sie dürfen unter Angabe der Quelle frei vervielfältigt, verbreitet und bearbeitet werden.