



Fernerkundungsdaten zur Schaderfassung in der forstlichen Praxis

Fernerkundungsdaten wie Luft- und Satellitenbilder können zur großräumigen Erfassung von geschädigten Waldflächen eingesetzt werden. Doch welche technischen Systeme und Verfahren sind praxisreif und liefern Waldbesitzern, Forstbetrieben und Verwaltungen rechtzeitig mit ausreichender Genauigkeit und bei vertretbaren Kosten die benötigten Informationen?

TEXT: JÖRG ACKERMANN, PETRA ADLER, TATJANA KOUKAL, KLAUS MARTIN, LARS T. WASER,

Schäden an unseren Wäldern haben in den letzten Jahren stark zugenommen und länderübergreifend zu teilweise großflächigen Bestandesverlusten geführt. Ursächlich hierfür sind verschiedene abiotische, biotische sowie komplexe Faktoren. Es ist zu erwarten, dass sich die beobachtete Entwicklung in den nächsten Jahren fortsetzen wird. Dies ist umso wahrscheinlicher, da sich in den Witterungsverläufen der letzten Jahrzehnte ein klimatischer Wandel abzeichnet, der das großräumige und großflächige Auftreten von Schäden mit rasanten Schadverläufen begünstigt.

Die Aufarbeitung dieser Schäden, die Sicherung beeinträchtigter Bestände und die Wiederbewaldung stellen Waldbesitzer, Forstbetriebe und administrative Institutionen vor große Herausforderungen. Kenntnisse über das Ausmaß der Schäden und die genaue Lage sowie die Abgrenzung der Schadflächen sind dabei von grundlegender Bedeutung. Die Fernerkundung bietet eine große Palette an Möglichkeiten

„Fernerkundung ermöglicht einen optimierten Ressourceneinsatz bei der Erfassung und Aufarbeitung großflächiger Waldschäden.“

PETRA ADLER

Foto: Auszug aus den Geobasisdaten des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen 2016

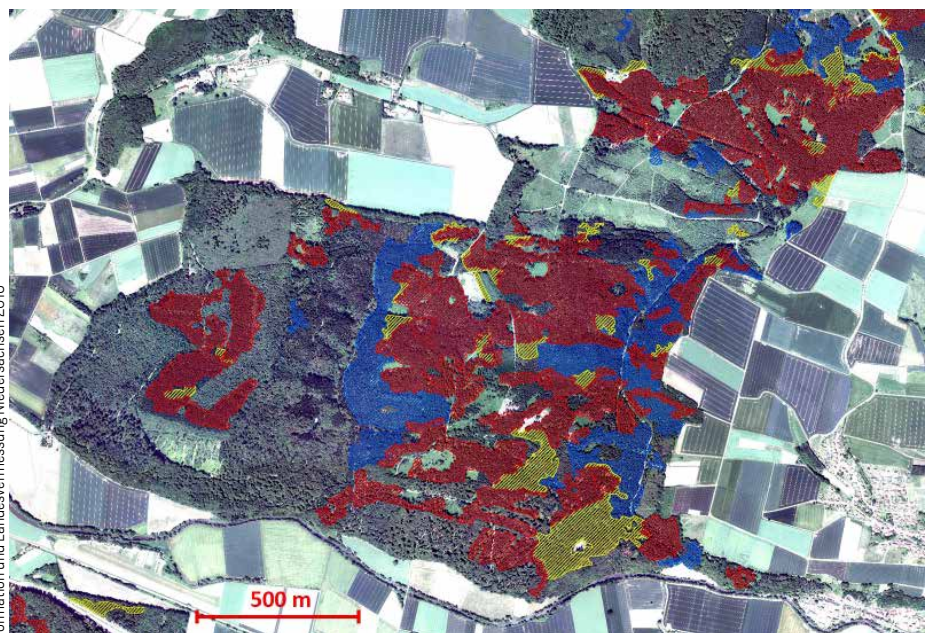


Abb. 1: Sturmschäden durch „Friederike“ 2018 (rot) mit nachfolgenden Schäden, vor allem durch Borkenkäfer, kartiert auf der Basis von Orthophotos aus Februar 2019 (gelb) und Herbst 2019 (blau)

zur Schaderfassung. Doch welche Verfahren sind für die Erfassung welcher Schadarten geeignet und wo liegen deren Grenzen?

In dem vorliegenden Artikel wird ein Überblick über die aktuell verfügbaren, operationellen Fernerkundungsverfahren gegeben. Der Schwerpunkt liegt dabei auf in der Praxis erprobten Verfahren zur großräumigen Erfassung flächiger Schäden, die Ergebnisse mit ausreichender Genauigkeit bei vertretbaren Kosten liefern und sich hierdurch als Bestandteil forstbetrieblicher und administrativer Planungs- und Entscheidungsabläufe empfehlen. Als Schadflächen werden dabei abgestorbene oder in ihrer Vitalität stark beeinträchtigte Waldflächen betrachtet.

Aktuelle Waldschäden

In Österreich wurde in den Jahren 2018 bis 2020 allein durch Sturm, Schnee bzw. Eis und Insektenschäden eine Schadholzmenge von 22,3 Mio. m³ verursacht [1]. Nach aktuellen Daten des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) betrug der Schadholzanfall in diesem Zeitraum in deutschen Wäldern insgesamt 171 Mio. m³. Die zur Wiederbewaldung anstehende Fläche wird auf 277.000 ha geschätzt [2]. Ursächlich hierfür ist eine Reihe mittelbar oder unmittelbar wirkender Faktoren, allen voran Stürme, Befall durch Borkenkäfer und ausgeprägte Trockenheit. „Kolle“ (2017), „Friederike“ (2018), „Burglind“ (2018), „Vaia“ (2018) und „Sabine“ (2020)

waren die großen Sturmereignisse der vergangenen vier Jahre. In deren Folge kam es zu einer rasanten Zunahme von Borkenkäferschäden, begünstigt durch extreme Trockenheit und hohe Temperaturen während der Vegetationszeit (Abb. 1).

Neben großräumigen Schäden spielen weitere Schadarten auf regionaler oder lokaler Ebene immer wieder eine Rolle. Zu nennen sind hier vor allem Blatt- und Nadelfraßschäden (Kieferninsekten bzw. Nonne, Eichenfraßgesellschaft), Befall durch Pilze, komplexe Schäden an Eiche, Buche oder Kiefer sowie abiotische Schäden (Eis- und Schneebruch).

Praxistaugliche Fernerkundungssysteme

Zur operationellen Erfassung von Waldschäden wird gegenwärtig eine breite Palette an Fernerkundungsplattformen (Flugsysteme) und Sensoren (Aufnahmesysteme) eingesetzt. Erstere umfassen Flugzeuge, Drohnen und Erdbeobachtungssatelliten. Bei den Sensoren unterscheidet man zwischen passiven optischen Sensoren, welche die von der Erdoberfläche reflektierte Sonnenstrahlung aufnehmen, und aktiven Sensoren, welche selbst Radarstrahlen (SAR = Synthetic Aperture

Welche Fernerkundungssysteme eignen sich?

Tab. 1: Eigenschaften von Fernerkundungssystemen für die operationelle Erfassung von Waldschäden. SAR=Synthetic Aperture Radar; LiDAR = Light Detection And Ranging; PS = PlanetScope; S1 = Sentinel-1; S2 = Sentinel-2; WV3 = WorldView-3

Trägersysteme	Satellitensysteme		Flugzeuge	Drohnen
Sensortypen	optisch	Radar/SAR	optisch, LiDAR	optisch, LiDAR
Beispiele	S2, WV3, PS	S1, TerraSAR-X	ein- oder zweimotorige Flugzeuge	DJI Zenmuse P1, Sony RX1RII, MicaSense RedEdge-MX
Aufnahmespektrum	sichtbares Licht, nahes Infrarot [S2, WV3, PS], kurzwelliges Infrarot [S2, WV3]	Mikrowellen	sichtbares Licht, nahes Infrarot	sichtbares Licht, nahes Infrarot
Bodenauflösung	10–20 m [S2], 0,3–3,7 m [WV3], 3 m [PS]	5–20 m [S1]	0,1–0,5 m, 2–20 Punkte/m ²	wenige cm, 10–100 Punkte/m ²
Zeitliche Auflösung (technische Wiederholrate, ohne Berücksichtigung der Wetterbedingungen)	3–5 Tage [S2], täglich [PS], 3–7 Tage [WV3] (wetterabhängig)	täglich [S1], 11 Tage [TerraSAR-X] (wetterunabhängig)	auftrags- und wetterabhängig	auftrags- und wetterabhängig
Aufnahmebreite	290 km [S2] 24–32 km [PS] 13–112 km [WV3]	80–400 km [S1] 5–100 km [TerraSAR-X] je nach Aufnahmemodus	abhängig von Flughöhe und Kamera	abhängig von Flughöhe und Kamera
Vorwiegende Anwendungsgebiete	regional – landesweit	regional – landesweit	lokal – regional (Forstbetriebe, Bestände, Einzelbaum)	lokal (Bestände, Einzelbaum)
Zeitspanne von Aufnahme bis Auswertungsergebnis	wenige Tage bis Wochen	wenige Tage	mehrere Tage bis Wochen	wenige Stunden bis Tage

Schneller ÜBERBLICK

- » **Fernerkundungsdaten bieten eine gute Möglichkeit**, Waldschäden zeitgleich auf großen Flächen zu erfassen; dafür ist Expertenwissen erforderlich
- » **Der forstlichen Praxis oder den administrativen Institutionen** können mit Fernerkundungsdaten exakte Informationen bereitgestellt werden
- » **Die Vielfalt der verfügbaren operationellen Sensoren und Auswertungsverfahren** ermöglicht eine Anpassung an die jeweilige Schadsituation und an den speziellen Anwendungsfall

Radar) im Mikrowellenbereich oder Laserstrahlen (LiDAR=Light Detection And Ranging) aussenden und deren von der Erdoberfläche reflektierten Anteile empfangen. Die so aufgezeichneten Daten unterscheiden sich in ihrem Informationsgehalt und im Wesentlichen in den in Tab. 1 genannten Punkten.

Aktuelle Waldschäden mit Fernerkundungsmethoden erfassen

Waldschäden manifestieren sich – aus Sicht der Fernerkundung – im Wesentlichen in Form von Farbveränderungen in den Baumkronen (z. B. als Folge von Borkenkäferbefall) oder in Form von struktu-

rellen Veränderungen der Kronen- bzw. Bestandesoberfläche (z. B. durch Laub- bzw. Nadelverlust oder Windwurf). Diese Veränderungen treten oftmals auch in Kombination miteinander auf. Für verschiedene Schadtypen eignen sich unterschiedliche Fernerkundungsverfahren. Diese sind für Borkenkäfer, Trockenheit, Sturm und Blattfraß durch Insekten in Tab. 2 dargestellt.

Bei der Schadflächenerfassung kann es durch eine Verwechslung mit regulären forstlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen (Durchforstungen, Endnutzungen) zu Fehlern kommen. Auch wenn die flächige Kartierung der Schadflächen und deren Verteilung möglich ist, gelingt



Schadursachen und empfohlene Fernerkundungsverfahren

Tab. 2: Schadursachen, deren Ausprägungen und empfohlene Fernerkundungsverfahren

Schadursachen	Anwendungsfall	Erscheinungsbild	Fernerkundungsverfahren
Borkenkäfer	Früherkennung in den ersten Wochen nach Einbohren der Käfer; einzelbaum- bis gruppenweise; operatives Borkenkäfermanagement	Bohrmehl, Einbohrlöcher, Harztrichter, Rindenabschläge vom Specht; Kronen noch grün – keine Veränderung der Benadelung	Erfassung nicht möglich, da kaum Veränderung in der spektralen Reflexion der Baumkronen
	Erfassung des Schadensausmaßes bei bereits sichtbaren Veränderungen in der Krone; Planung und Wiederbegründung von Beständen; Finden von Totholz – Einschlagsplanung	Gruppen und Flächen von stehendem Totholz und bereits entnommener Bäume (Zusatzinformationen erforderlich)	Zeitreihenanalyse durch automatisierte Satellitenbilddauswertung; manuelle Interpretation (lokal) oder teilautomatisierte Auswertung von hochauflösenden Daten, vor allem Luftbild (lokal bis regional)
Trockenheit	Erfassung akuter Schäden	Braune oder verfärbte Blätter bzw. Nadeln, verfrühter Laub- bzw. Nadelabwurf	Manuelle Interpretation (lokal) oder teilautomatisierte Auswertung von hochauflösenden Daten (vor allem Luftbild). (lokal bis regional)
	Erfassung langjähriger Auswirkungen	Kronenverlichtung mit Auftreten von Totästen bis hin zu vollständig abgestorbenen Bäumen, Ausdünnung bis Auflösung von Beständen	Manuelle Interpretation (lokal) oder teilautomatisierte Auswertung von hochauflösenden Daten, vor allem Luftbild (lokal bis regional)
Sturm	Schnellerfassung akuter Schäden für einen groben Überblick für große Gebiete	Flächenschäden (Bruch oder Wurf, flächig)	Automatisierte Analyse von Radardaten kurz vor und nach dem Ereignis
	Gewinnung detaillierter Informationen über genaues Schadausmaß	Flächenschäden (Bruch oder Wurf, horstweise bis flächig)	Zeitreihenanalyse durch automatisierte Satellitenbilddauswertung
		Streuschäden (Bruch oder Wurf, bis Gruppengröße)	Erfassung aufgrund von Verdeckung durch verbleibenden Bestand schwierig; Vorinformationen sind hilfreich (Vegetationshöhenmodelle, möglichst genau verortete Hiebsmaßnahmen); manuelle Interpretation (lokal) oder teilautomatisierte Auswertung von hochauflösenden Daten, vor allem Luftbild (lokal bis regional)
Großflächiger Blattfraß durch Insekten	Monitoring und Planungshilfe für Bekämpfungsmaßnahmen	Teilweiser bis vollständiger Blatt- oder Nadelverlust	Zeitreihenanalyse durch automatisierte Satellitenbilddauswertung; manuelle Interpretation (lokal) oder teilautomatisierte Auswertung von hochauflösenden Daten, vor allem Luftbild (lokal bis regional)

die genaue Bestimmung der jeweiligen Schadursache nur bedingt. Meist müssen Rückschlüsse indirekt gezogen werden. Hilfreich sind hierbei zusätzliche Bestandes- und Bewirtschaftungsdaten oder Situationseinschätzungen aus der Ortskenntnis heraus.

Eignung von Fernerkundungssystemen

Die jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten und Schadenssituationen entscheiden über die Wahl des Fernerkundungsverfahrens. Dafür ist in der Regel ein Abwägen verschiedener Aspekte erforderlich, wie Flächenleistung,

Detailerkennbarkeit, Datenaktualität bzw. -verfügbarkeit, Kosten und Zeitbedarf bis hin zur Erstellung der Schadenskarten. Dabei macht es einen Unterschied, ob man beispielsweise rückblickend an dem Schadausmaß des vergangenen Jahres interessiert ist oder ob man aktuell geschädigte Einzelbäume oder Baumgruppen zum frühestmöglichen Zeitpunkt detektieren möchte, um umgehend und gezielt Maßnahmen einleiten und damit das Schadausmaß begrenzen zu können. Bei Verfahren, die für großflächige Anwendungen geeignet sind, müssen meist Abstriche in Hinblick auf die Größe der noch erkennbaren räumli-

chen Details in Kauf genommen werden. Als Beispiel können hier Sentinel-2-Daten genannt werden. Sie decken zwar pro Szene ein relativ großes Gebiet von mehreren 100 km² ab. Mit einer Pixelgröße von 10 bzw. 20 m sind sie jedoch nicht geeignet, geschädigte Kronen von Einzelbäumen zu detektieren, sondern lediglich von Baumgruppen. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Abwägung zwischen den Faktoren Aktualität und Genauigkeit. Verfahren, die sehr schnell Ergebnisse liefern, sind häufig weniger robust und in der Regel weniger zuverlässig als Verfahren, deren Ergebnisse sich auf mehrere Aufnahmen über einen längeren Zeitraum hinweg stützen.



Foto: Niedersächsische Landesforsten 2019 (Luftbild)

Abb. 2: Stehendes Totholz (Borkenkäferschäden) in einem Luftbild mit 20 cm Bodenauflösung



Foto: Copernicus-Sentinel-Daten 2019

Abb. 3: Stehendes Totholz (Borkenkäferschäden) in einer Sentinel-2-Aufnahme mit 10 m Bodenauflösung

Zeitbedarf

Je nach Fernerkundungsverfahren ergibt sich ein unterschiedlicher Zeitbedarf für die Aufnahme und Datenbereitstellung sowie für die Aufbereitung und Auswertung der Daten und somit bis zum Vorliegen der Kartierungsergebnisse.

Aktive satellitengestützte Systeme (Radar/SAR) funktionieren weitgehend unabhängig von Wetter und Tageszeit und können daher innerhalb weniger Tage nach einem Schadereignis Daten aufnehmen. Bei aktiven flugzeuggestützten Systemen (LiDAR) ist die Unabhängigkeit vom Wetter zwar theoretisch auch gegeben, Einschränkungen sind jedoch durch die bei der Befliegung erforderlichen Sichtflugbedingungen zu verzeichnen. Passive Systeme wie Luft- und optische Satellitenbilder erfordern wolkenfreie und dunstarmer Aufnahmebedingungen mit guten Beleuchtungsverhältnissen (hoher Sonnenstand). Dies kann zu einem deutlichen Zeitversatz zwischen Eintritt eines Schadens bzw. einem Aufnahmewunsch und der Realisierung der Aufnahme führen. Beispiel: Die ersten verwertbaren Sentinel-2-Aufnahmen nach dem Sturm „Friederike“ (18. Januar 2018) in Südniedersachsen wurden erst im April 2018 aufgenommen. Beim Einsatz von Flugzeugen zur Aufnahme von Luftbildern kann zwar etwas flexibler auf die Aufnahmebedingungen reagiert werden. Allerdings muss vor der Befliegung eine Freigabe durch die Flugsicherung erfolgen, was teilweise zu Verzögerungen führt. Die Datenbereitstellung nach der Aufnahme erfolgt für Satellitendaten

in der Regel innerhalb weniger Tage, bei Luftbildern sind das, je nach Gebietsgröße und Anforderungen, bis zu mehreren Wochen.

Bevor Luft- oder Satellitendaten auswertbar sind, müssen sie aufbereitet werden, wie zum Beispiel die Ausmaskierung von Wolken oder die Ableitung von Vegetationshöhen. Dies kann ein bis mehrere Tage in Anspruch nehmen, bei Luftbildern sogar, je nach Gebietsgröße und verfügbaren Referenzdaten, bis zu mehreren Wochen.

Auswertungsverfahren

Bei der Auswertung wird grundsätzlich zwischen manuellen und automatisierten Verfahren unterschieden. Bei manuellen Auswertungsverfahren in Form von visueller Interpretation wird jedes Zielobjekt von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern identifiziert, beurteilt und digitalisiert. Dieser zeitaufwändige Prozess eignet sich insbesondere für jene Schadauswertungen, welche durch automatisierte Verfahren gar nicht oder nur mit unzureichender Genauigkeit möglich sind. Ein aktuelles Beispiel hierfür ist die Erfassung des Eschentriebsterbens mittels Luftbildern.

Bei automatisierten Verfahren in Form von Klassifikation und Objekterkennung werden anhand von Trainingsdaten statistische Modelle entwickelt, die in ihrer Anwendung zu schnelleren Ergebnissen als manuelle Auswertungen führen, aber zeitaufwändiger in ihrer Entwicklung sind. Hierfür werden spezielle Computerprogramme der Bildverarbeitung verwendet.

Eine Herausforderung bei allen Auswertungen ist die Verfahrensentwicklung und deren Anpassung an die jeweiligen Gegebenheiten, z. B. Beleuchtungs-, Bestandes- oder Schadsituation, Topografie sowie die Validierung und Qualitätssicherung. Unerlässlich sind die Verfügbarkeit von genügend Referenz- und Validierungsdaten, ausreichende Zeit für die Verfahrensentwicklung sowie das Vorhandensein von entsprechendem Fachwissen. Dies gilt gleichermaßen für manuelle wie auch für automatisierte Verfahren.

Manuelle Auswertungen von Luftbildern liefern in der Regel Ergebnisse mit hoher Qualität und mit einem hohen Detaillierungsgrad, da erfahrene Interpretinnen und Interpreten komplexe Situationsbeurteilungen vornehmen können. Dies wird hingegen bei automatisierten Auswertungen optischer Daten oft nicht erreicht, d. h., es werden mitunter Flächen als Schadflächen ausgewiesen, die keine sind, bzw. Schadflächen werden teilweise nicht erkannt. Ob sich diese Fehler in einem für die Waldbewirtschaftung akzeptablen Rahmen halten, ist im jeweiligen Anwendungsfall zu prüfen. Hohe Genauigkeiten werden aktuell für Borkenkäferschäden, Sturmschäden und großflächige Fraß- und Dürreschäden erzielt. Dabei sind operationell einsetzbare Radardaten gegenüber optischen Daten deutlich ungenauer und eignen sich vor allem für eine erste Grobabschätzung von Schäden.

Informationsgehalt

Für die Erkennbarkeit von Details ist die Bodenauflösung der Fernerkundungsda-



ten entscheidend (Abb. 2, 3). Zur Beurteilung von Schäden einzelner Bäume und deren Kronenstrukturen ist eine sehr hohe Auflösung von mindestens 20 cm notwendig. Eine Auflösung im Meterbereich genügt dagegen bereits für die Unterscheidung von Bestandesstrukturen. Zur Erfassung starker Veränderungen ab Gruppengröße ist auch eine Auflösung von 10 m ausreichend. In der Regel werden für manuelle Auswertungsverfahren hochauflösende Daten verwendet, für automatisierte Auswertungen auch Daten mit geringerer Auflösung.

Unabhängig von der Bodenauflösung müssen Veränderungen durch Fernerkundungsdaten erfasst und in ihnen erkennbar sein. An Grenzen stößt man hier z. B. bei der Borkenkäfer-Früh-erkennung im Green-Attack-Stadium, d. h. bei der Detektion von Bäumen, die bereits vom Borkenkäfer befallen sind, aber noch keine von oben erkennbaren Veränderungen in der Krone aufweisen. Trotz zahlreicher Untersuchungen zu diesem Thema konnten bislang keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielt werden – auch wenn dies von manchen Dienstleistern gerne versprochen wird.

Flächenleistung und Kosten

Mit großformatigen Kameras und leistungsstarken Flugzeugen können mit 20 cm Bodenauflösung durchaus 100.000 ha/Stunde erfasst werden. Die Flächenleistung der Satellitensysteme hängt von der Aufnahmebreite der Sensoren, der Anzahl der verfügbaren Satelliten sowie der zeitlichen Auflösung der Aufnahmen ab (s. Tab. 1). Die Kosten für die Datenaufnahme und -beschaffung belaufen sich aktuell bei großflächigen Luftbildbefliegungen mit einer Bodenauflösung von 20 cm auf ca. 5 bis 10 €/km². Sentinel-2-Satellitendaten mit einer Bodenauflösung von 10 m sind dagegen kostenfrei. Die Kosten für kommerzielle optische Satellitendaten sind stark abhängig von Satellitentyp, Aufbereitungsstufe und ob es sich um vorhandene Archivaufnahmen oder neu aufzunehmende Daten handelt. Die Kosten für die Beschaffung von Daten mit mittlerer

Bodenauflösung, wie z. B. PlanetScope mit 3 m Bodenauflösung, belaufen sich derzeit auf ca. 1,50 €/km². Bei optischen Satellitendaten mit sehr hoher räumlicher und spektraler Auflösung, wie z. B. WorldView-3 mit 30 cm Bodenauflösung und 8 Spektralkanälen, liegen die Kosten aktuell bei ca. 33 €/km².

Fazit

Die Vielfalt der Schadereignisse in Wäldern führt zu einem ebenfalls vielfältigen Erscheinungsbild von Schadflächen in Fernerkundungsdaten. Je eindeutiger dabei ein Schadereignis in den Fernerkundungsdaten abgebildet ist und je homogener sowohl Ausgangsbestand als auch das Schadereignis selbst sind, desto einfacher lassen sich die Schadflächen erfassen.

Die Eignung von Fernerkundungssensoren und Auswertungsverfahren ist vom jeweiligen Schadtyp, dessen Ausprägung sowie vom Auswertungsziel abhängig, d. h. für welche betrieblichen oder administrativen Aufgaben die Daten benötigt werden. Kostenaspekte sind dabei nur ein Teil. Die Daten müssen aus dem entsprechenden Zeitraum auch verfügbar und die Schäden darin erfassbar sein sowie die Ergebnisse zeitgerecht vorliegen.

Die fernerkundungsbasierte Schadflächenerfassung muss in allen Teilschritten mit entsprechendem Expertenwissen erfolgen. Dies beginnt bereits bei der Beschaffung der Fernerkundungsdaten, wozu z. B. die Bildflugplanung, die Befliegung oder die Bewertung der Eignung von Satellitendaten anhand ihrer Aufnahmeparameter gehören, und setzt sich bei der Datenaufbereitung fort, wie z. B. die radiometrische Bildkorrektur, die Bildorientierung oder -mosaikierung.

Zur Wahl des am besten geeigneten Verfahrens müssen die Vor- und Nachteile der infrage kommenden Fernerkundungsdaten und -auswertungsverfahren gegeneinander abgewogen werden. Die wesentlichen Entscheidungsfaktoren dabei sind nebst Informationsgehalt der Fernerkundungsdaten und der erforderlichen Auswertungsqualität auch die Verfügbarkeit von Referenzdaten sowie Prozessieraufwand und -zeit. Die Auswertungen in Form automatisierter Klassifizierungen, manueller Interpretationen oder einer Kombination aus beiden benötigt zudem neben dem Fernerkundungswissen forstliches Fachwissen über die Ausprägung von Schadereignissen.

Das erforderliche Expertenwissen findet sich bei spezialisierten Dienstleistern, in den jeweiligen Abteilungen der Forschungs- und Versuchsanstalten sowie zum Teil auch bei Forstverwaltungen. Nur so können zuverlässige und nachhaltig nutzbare Informationen aus Fernerkundungsdaten gewonnen werden. Zusätzliche Informationen, wie z. B. Fernerkundungsdaten vor einem Schadereignis, hochauflösende Baumartenkarten oder Daten der forstlichen Bewirtschaftung, tragen darüber hinaus zur Verbesserung der Auswertungsergebnisse bei.

Die Nachbearbeitung der Auswertungsergebnisse und deren Integration in betriebliche oder administrative Informationssysteme benötigt einen intensiven Austausch mit dem jeweiligen Betrieb bzw. der administrativen Institution. Insbesondere für die weitere und nachhaltige Verwendung der Daten ist eine ausführliche Dokumentation ihrer Entstehung und Beschaffenheit unerlässlich. Insgesamt bieten Fernerkundungsdaten im Vergleich zu terrestrischen Aufnahmen eine gute Möglichkeit, Waldschäden zeitgleich auf großen Flächen zu erfassen. Das erlaubt einen optimierten Einsatz von Ressourcen zur Aufarbeitung der Schäden und bietet eine wertvolle Datengrundlage für das Waldmanagement und die mittel- bis längerfristige Planung.

Dr. Petra Adler

Petra.Adler@Forst.bwl.de

leitet den Arbeitsbereich Fernerkundung der Abteilung Biometrie und Informatik an der FVA in Freiburg. **J. Ackermann** leitet das Sachgebiet Fernerkundung und GIS an der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt in Göttingen, **Dr. T. Koukal** ist Mitarbeiterin im Institut für Waldinventur am Bundesforschungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft in Wien, **Dr. K. Martin** ist Inhaber des Sachverständigenbüros für Luftbildauswertung und Umweltfragen in München, **Dr. L. T. Waser** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in den Bereichen Landschaftsdynamik und Fernerkundung an der WSL in Birmensdorf, Schweiz. Alle Autorinnen und Autoren sind Mitglieder der Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpretieren (AFL), aus der die Idee zu dieser Veröffentlichung stammt und welche die Entstehung des Artikels begleitet hat.

Literaturhinweise:

[1] <https://www.bfw.gv.at/dokumentation-wald-schaedigungsfaktoren/> [2] <https://www.bmel.de/DE/themen/wald/wald-in-deutschland/wald-trockenheit-klimawandel.html>