

# Schäden im Wald aus der Vogelperspektive aufspüren

**Christoph Straub, Jan Dempewolf, Adelheid Wallner,  
Hans-Joachim Klemmt, Rudolf Seitz**

Räumlich sehr hochaufgelöste Luftbildaufnahmen ermöglichen einen Überblick über das Ausmaß von Schadflächen im Wald aus der Vogelperspektive. Zur Aufnahme der Luftbilder eignen sich unterschiedliche Luftfahrzeuge. Derzeit werden meist Flugzeuge sowie unbemannte Luftfahrzeuge (*unmanned aerial vehicle*, UAV; »Drohnen«) eingesetzt. Im Rahmen des Projekts »FastOrtho« analysierte die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) die Eigenschaften von Luftbildaufnahmen aus dem Flugzeug und vom UAV zur Erfassung von Borkenkäferschäden an Fichten.

Luftbilder dokumentieren den Zustand von Waldbeständen zum Aufnahmezeitpunkt und können dadurch bei der Detektion von verfärbten bzw. geschädigten Fichten helfen. Aus den originären Luftbildern abgeleitete Orthophotos (d.h. verzerrungsfreie und maßstabsgetreue Luftbilddaten) liefern dabei präzise Informationen zur genauen Lage der Schadflächen. Deshalb beauftragte das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten die LWF, im Herbst 2021 und 2022 großflächige Luftbildbefliegungen in Oberfranken durchführen zu lassen. Die Befliegungsdaten unterstützten die dort zuständigen Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Bayreuth-Münchberg, Coburg-Kulmbach und Bamberg bei der Erfassung von Borkenkäferschäden und den in Folge entstandenen Kahlflächen (Straub et al. 2023). Aufgrund der großen Befliegungsgebiete mit Flächengrößen von 2.840 km<sup>2</sup> im Jahr 2021 und 4.220 km<sup>2</sup> im Jahr 2022 wurden diese Bildflüge mit Flugzeugen durchgeführt. Anschließend sollte das Bildmaterial schnellstmöglich bereitgestellt werden, weshalb die beauftragten Firmen die aufgenommenen Stereo-Luftbilddaten in möglichst kurzer Zeit in Orthophotos mit einer räumlichen Auflösung von 20 cm umrechnen mussten. Mit dem Ziel, die Datenmenge möglichst klein zu halten und dadurch eine schnelle Prozessierung gewährleisten zu können, wurde die Überlappung der einzelnen Stereo-Bilder mit 70 % Längsüberdeckung in Flugrichtung

und 30 % Querüberdeckung der Flugstreifen möglichst stark reduziert. Um die Bereitstellungszeit noch weiter zu verkürzen, wurden geringere Genauigkeitsanforderungen an die Orientierung der Stereo-Luftbilder vorgegeben als bei einem klassischen Bildflug. Außerdem erfolgte die Orthophoto-Berechnung unter Verwendung eines bereits vorliegenden amtlichen Geländemodells für Bayern, so dass ein weiterer zeitintensiver Berechnungsschritt – nämlich die Ableitung eines Oberflächenmodells aus den Stereo-Bildern – weggelassen werden konnte. Die somit gegenüber klassischen Bildflügen schneller angefertigten Bilddaten werden deshalb als »Fast-Orthophotos« bezeichnet. Im Rahmen des Forschungsprojekts »FastOrtho« testete die LWF die Einsatzmöglichkeiten sowie den Arbeitsablauf zur Bereitstellung der Fast-Orthophotos. Für die Luftbildaufnahmen wurden neben Flugzeugen auch unbemannte Luftfahrzeuge (UAV) eingesetzt, die umgangssprachlich oft als Drohnen bezeichnet werden. Im Forschungsprojekt FastOrtho analysierte die LWF die unterschiedlichen Eigenschaften von Luftbildern aus dem Flugzeug und vom UAV. Außerdem wurde erprobt, wie schnell die Bilddaten vom jeweiligen Luftfahrzeug erstellt und der Forstpraxis bereitgestellt werden können. Um diese Fragestellungen beantworten zu können, wurde von der LWF-Abteilung »Waldbau und Bergwald« am 29. September 2022 eine UAV-Befliegung für den 541 ha großen Naturwald Vierzehenheiligen durchgeführt (Abbildung 1).

Zehn Tage später wurde diese Fläche auch im Rahmen des bereits erwähnten Fast-Orthophoto-Bildflugs aus dem Flugzeug aufgenommen. Zwar herrschen im Naturwald Vierzehenheiligen naturnahe Laubmischwälder vor, es wurden aber dennoch zahlreiche verfärbte Fichten für die Untersuchung vorgefunden. Wegen der kurzen Zeitdifferenz zwischen der Flugzeug- und der UAV-Befliegung ließen sich die beiden Bilddatensätze sehr gut vergleichen.

## UAV-Befliegung Naturwald Vierzehenheiligen

Für die UAV-Befliegung wurde eine senkrecht startende Starrflügler-Drohne eingesetzt. Diese Technologie erlaubt das flexible Starten und Landen auf kleinen Flächen ähnlich einem Hubschrauber. Sobald die Drohne eine ausreichende Höhe über den Baumkronen erreicht hat, geht sie in den Vorwärtsflug über. Für die Befliegung der Waldflächen nutzt das UAV-Gerät dann die Aerodynamik seiner Flügel ähnlich einem Flugzeug. Mit dieser Technologie lassen sich deutlich größere Flächen abdecken als mit herkömmlichen Quadrocoptern. Das UAV-Gerät war mit einer hochauflösenden RGB-Kamera ausgerüstet, die – wie herkömmliche Kameras auch – Fotos im sichtbaren Spektralbereich aufnimmt. Zudem war das Fluggerät mit einem hochpräzisen GPS-Empfänger ausgestattet. Dieser diente als Grundlage für die Erfassung der Bilddaten mit einer Lagegenauigkeit im Dezimeterbereich.

Zur Befliegung des Naturwalds Vierzehenheiligen waren insgesamt sechs Einzelflüge von unterschiedlichen Startplätzen aus notwendig. Jeder Einzelflug erfolgte von einem anderen Startplatz mit neuem Batteriesatz. Zur Kartierung der Waldflächen wurde für jeden Flug ein Flugplan mit parallel verlaufenden Fluglinien erstellt, der das jeweilige Teilgebiet systematisch abdeckte. Die gesamte UAV-Befliegung konnte innerhalb eines halben Tages abgeschlossen werden.



**1** UAV-Befliegung des Naturwalds Vierzahnheiligen in Oberfranken Foto: Patrick-Benjamin Ibron  
Die rote Schraffur in der Karte kennzeichnet die Lage des Naturwaldes, hinterlegt ist ein Orthophotomosaik des gesamten Fast-Orthophoto-Bildflugs, der im Herbst mit einem Flugzeug durchgeführt wurde.

Das UAV nimmt pro Flug über tausend Einzelfotos auf, die sich stark überlappen. Der hohe Überlappungsgrad ist eine Voraussetzung für die nachfolgende Bildverarbeitung. Diese erfolgte über ein spezielles Softwarepaket, mit dem sowohl ein hochaufgelöstes Oberflächenmodell als auch ein zusammenhängendes Orthophoto (Bildmosaik) mit einer räumlichen Auflösung von 3 cm erstellt wurde.

#### Lagegenauigkeit von Baumpositionen

Zur Beurteilung der Lagegenauigkeit von Baumpositionen in den abgeleiteten Orthophotos aus der Fast-Orthophoto- und UAV-Befliegung erfolgte ein Abgleich mit sehr lagegenauen amtlichen (True-)Orthophotos der Bayerischen Vermessungsverwaltung. Detaillierte Informationen zu diesen Bilddaten finden sich in LDBV (2018). Hierfür wurden stichprobenartig gut erkennbare Baumspitzen jeweils

im UAV-Orthophoto und im Fast-Orthophoto manuell markiert und mit der Lage der entsprechenden Baumspitzen in den amtlichen Orthophotos verglichen. Die daraus paarweise ermittelten Abstände stellten die Lageabweichungen zwischen den Baumpositionen dar. Der vorliegende UAV-Datensatz vom Naturwald Vierzahnheiligen zeigte im Vergleich mit den amtlichen Orthophotos eine hohe Lagegenauigkeit: Die mittlere Abweichung der gemessenen Baumspitzen betrug nur 0,62 m mit einer Standardabweichung von 0,22 m. In den Fast-Orthophotos lag die mittlere Lageabweichung von Baumspitzen bei 2,48 m mit einer Standardabweichung von 2,41 m gegenüber den amtlichen Daten. Die im Vergleich zu den UAV-Bilddaten größeren Lageabweichungen in den Fast-Orthophotos sind auf die reduzierte Längs- und Querüberlappung bei der Bildaufnahme, die weni-

ger hohen Genauigkeitsanforderungen an die Orientierung der Stereo-Luftbilder sowie auf die Verwendung eines Geländemodells für die Orthorektifizierung zurückzuführen. Entsprechende Lagegenauigkeiten müssen hier akzeptiert werden. Die geometrische Genauigkeit der Fast-Orthophotos reicht aber aus, um bei der Erfassung von geschädigten und abgestorbenen Fichten Unterstützung zu leisten.

#### Erkennbarkeit von verfärbten Fichten in den Luftbilddaten

Die Möglichkeiten und Grenzen der visuellen Erkennbarkeit von verfärbten Fichtenkronen mit UAV-Orthophotos im Vergleich zu Fast-Orthophotos lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- AELF-Grenzen
- ▨ Naturwald Vierzahnheiligen
- Befliegungskulisse 2022



UAV-Orthophoto



Fast-Orthophoto



2 Bildausschnitte von UAV-Orthophoto (oben) und Fast-Orthophoto (unten) im Vergleich; das linke Bildpaar (a und b) beinhaltet neben Beispielen für beginnende rotbraune Kronenverfärbung auch grau verfärbte Fichten. In der Mitte (c und d) sind rotbraun verfärbte und rechts (e und f) grau verfärbte Fichten zu sehen.

- Rotbraun und grau verfärbte Fichten in der luftbildsichtbaren Oberschicht sind sowohl in den UAV-Orthophotos (Abbildungen 2a, 2c und 2e) als auch in den Fast-Orthophotos (Abbildungen 2b, 2d und 2f) visuell sehr gut erkennbar.
- Erwartungsgemäß ist in den UAV-Orthophotos aufgrund der höheren räumlichen Auflösung mehr Kronenstruktur zu sehen. Farbliche Variationen wie vollständige oder teilweise Verfärbung einzelner Kronen sind besser identifizierbar (Abbildung 2a); UAV-Bild-daten sind zur Identifizierung einer beginnenden, rotbraunen Verfärbung deshalb etwas besser geeignet. Diese leichten Kronenverfärbungen sind im Fast-Orthophoto (Abbildung 2b) nicht so deutlich ausgeprägt, aber trotzdem feststellbar.

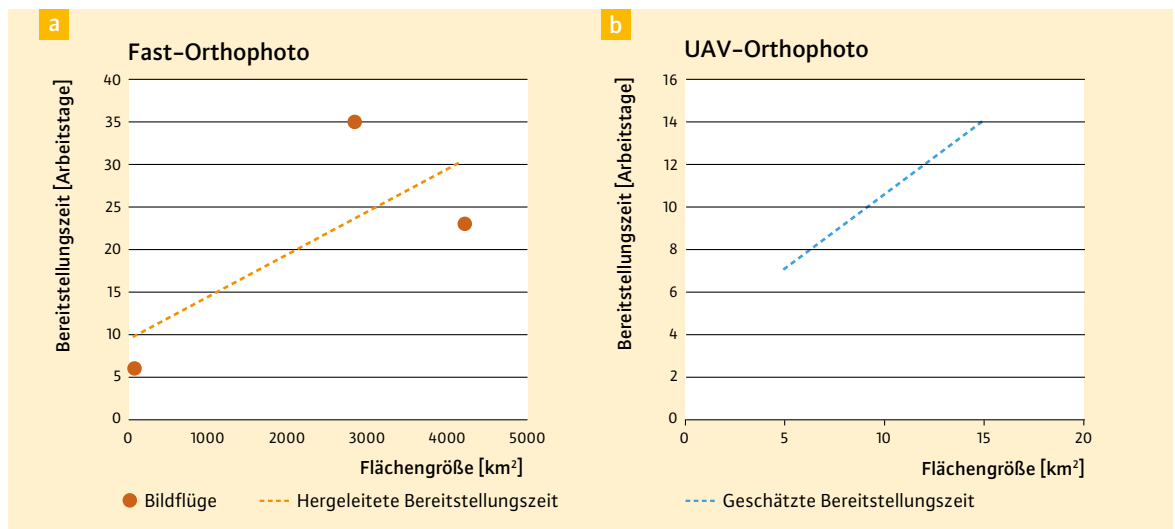
- In Abbildung 2d erscheint die rotbraune Verfärbung im Fast-Orthophoto im Vergleich zum UAV-Orthophoto (Abbildung 2c) etwas kräftiger. Die Trennung zu grau verfärbten Fichten fällt hier in den Fast-Orthophotos etwas leichter.
- In den UAV-Bilddaten sind Lücken im Kronendach besser ausgeleuchtet (Abbildungen 2a und 2e). Im Vergleich dazu ist in den Fast-Orthophotos (Abbildungen 2b und 2f) die Verschattung in den Kronenlücken stärker ausgeprägt, wodurch hier kleinere verfärbte Bäume im Schattenbereich teilweise nicht mehr sichtbar sind.

### Wie schnell können die Orthophotos erstellt werden?

Abbildung 3a zeigt den Zusammenhang zwischen der Flächengröße [km<sup>2</sup>] eines Befliegungsgebietes und der Bereitstellungszeit [Arbeitstage] für die Erstellung von Fast-Orthophotos. Unter der Bereitstellungszeit wird hier die Anzahl der benötigten Flugtage plus der erforderliche Zeitraum für die Berechnung der Orthophotos verstanden. Dieser Zusammenhang wurde auf der Grundlage von drei Fast-Orthophoto-Bildflugaufträgen der LWF für unterschiedliche Projektgebiete hergeleitet. Die Darstellung basiert allerdings auf der Annahme, dass es kei-

3 Basierend auf drei Bildflugaufträgen der LWF hergeleiteter Zusammenhang zwischen der Flächengröße eines Befliegungsgebietes und der Bereitstellungszeit\* für die Erstellung von Fast-Orthophotos (a) sowie geschätzte Bereitstellungszeit\* für UAV-Orthophotodaten (b) in Abhängigkeit von der Flächengröße eines Befliegungsgebietes

\* Bereitstellungszeit: Anzahl der benötigten Flugtage + Dauer der Orthophoto-Berechnung



Eigenschaften	UAV-Orthophoto	Fast-Orthophoto
Lagegenauigkeit von Baumpositionen	hoch	für die Erfassung von verfärbten Fichten ausreichend
Kronenstruktur von Fichten	sehr detailliert	detailliert
Rotbraun und grau verfärbte Fichten in der luftbildsichtbaren Oberschicht	sehr gut erkennbar	sehr gut erkennbar
Kleinere Bäume in Lücken	gut erkennbar	mäßig gut erkennbar/teilweise verschattet
Befallene Fichten mit noch grünen Kronen	nicht erkennbar	nicht erkennbar
Bereitstellungszeit*	7–14 Arbeitstage für Flächen zwischen 5 km <sup>2</sup> bis 15 km <sup>2</sup>	6–35 Arbeitstage für Flächen zwischen 85 km <sup>2</sup> bis 4.220 km <sup>2</sup>
Befliegung bei niedriger geschlossener Wolkendecke	ja	nein

4 Übersicht über ausgewählte Eigenschaften von Luftbilddaten aus dem Flugzeug und vom UAV

\* bisherige Erfahrungswerte der LWF, gutes Flugwetter vorausgesetzt

nerlei Verzögerungen durch ungünstiges Flugwetter gibt. In der Praxis kann es allerdings durchaus zu Verzögerungen kommen. Dies zeigte sich beim Fast-Orthophoto-Bildflug im Herbst 2022. Aufgrund der Witterungsverhältnisse im September und Oktober 2022 musste der Luftbilddatensatz aus drei separaten Befliegungen vom 23.9., 9.10. und 20.10. zusammengesetzt werden. Da die Zeitspanne zwischen dem ersten und letzten Flugzeitpunkt je nach Witterung sehr unterschiedlich sein kann, wurde dieser Zeitverzug in Abbildung 3 nicht berücksichtigt.

In Abbildung 3b wird die geschätzte Bereitstellungszeit für UAV-Orthophotos gezeigt. Die Darstellung beruht auf bisherigen Erfahrungswerten der LWF-Abteilung »Waldbau und Bergwald«. Die hier dargestellte Bereitstellungszeit basiert auf der Annahme, dass das Gebiet aufgeteilt und parallel von zwei Drohnenpiloten mit zwei Drohnen befliegen wird. Analog zur Befliegung mit dem Flugzeug wurde auch hier davon ausgegangen, dass keine zeitlichen Verzögerungen durch ungünstige Witterungsverhältnisse entstehen.

### Fazit

In Abbildung 4 sind ausgewählte Eigenschaften der UAV- und Fast-Orthophotos aufgeführt. Grundsätzlich zeigte sich im Forschungsprojekt FastOrtho, dass rotbraun oder grau verfärbte Fichten in der luftbildsichtbaren Oberschicht sowohl in den UAV-Photos als auch in den Fast-Orthophotos visuell sehr gut erkennbar sind. Für eine manuelle Kartierung dieser späteren Befallsstadien können demnach beide Datensätze eingesetzt werden. Eine Früherkennung von befallenen Fichten mit noch grünen Kronen ist allerdings weder mit den Luftbilddaten vom UAV noch mit denen vom Flugzeug

möglich. Die bisherigen Erkenntnisse aus dem Projekt liefern erste Anhaltspunkte, um bei zukünftigen Anwendungen abwägen zu können, welches Flugsystem für die jeweilige Fragestellung geeignet ist. Bei dieser Abwägung spielen zahlreiche Faktoren wie Gebietsgröße, Gebietsausformung, Topographie und die benötigte Bodenauflösung der Bilddaten eine wichtige Rolle. Generell lässt sich sagen, dass eine UAV-Befliegung für kleinere Flächen zu empfehlen ist, wenn räumlich sehr hochaufgelöstes Bildmaterial benötigt wird. Für großflächige Einsätze mit geringeren Ansprüchen an die Lagegenauigkeit, aber schneller erforderlicher Reaktionszeit (z. B. Borkenkäferbefall), sind Fast-Orthophoto-Bildflüge geeignet. Lagegenaue True-Orthophotos aus einer größerflächigen Flugzeug-Befliegung empfehlen sich für Anwendungen mit hohen Genauigkeitsansprüchen, aber geringerem Zeitdruck.

### Ausblick

Mit entsprechender Software lassen sich Stereo-Luftbilder an einem 3D-Monitor stereoskopisch bzw. dreidimensional betrachten und auswerten. Durch den räumlichen Eindruck können einzelne Bäume im Vergleich zur 2D-Interpretation der Orthophotos noch besser differenziert und zuverlässiger analysiert werden. Zudem werden beim stereoskopischen Anblick Verkippungen ausgeglichen, so dass eine geometrisch lagerichtigere Erfassung möglich ist. Daten aus Flugzeug-Befliegungen werden bereits für zahlreiche Aufgaben an der LWF stereoskopisch ausgewertet. Zukünftig sollen dafür auch die Daten aus UAV-Befliegungen erprobt und einbezogen werden. Darüber hinaus ist geplant, in weiterführenden Studien den Einsatz von Multispektraldaten genauer zu untersuchen. Dabei sollen zusätzlich zum sichtbaren Spektrum auch die Spektral-

bereiche »red-edge« und »nahes Infrarot« verwendet werden. Auch die Prüfung automatisierter Auswertungsmethoden ist vorgesehen, um damit gegebenenfalls die Bildanalyse effizienter zu gestalten. In diesem Zusammenhang wird Potential beim Einsatz moderner KI-Methoden gesehen.

### Zusammenfassung

Bayern verzeichnete in den vergangenen Jahren hohe Schadholzmengen durch Fichtenborkenkäfer. Eine effiziente und rasche Erfassung der Schadflächen ist von großer Bedeutung. Die LWF untersuchte deshalb im Rahmen des Projekts »FastOrtho«, wie räumlich hochaufgelöste Luftbilddaten von Flugzeugen und unbemannten Luftfahrzeugen (UAV, »Drohnen«) dabei helfen können, verfärbte Fichten im Wald aufzufinden. Es zeigte sich, dass rotbraun oder grau verfärbte Fichten sowohl in den UAV- als auch in den Flugzeug-Bilddaten visuell sehr gut erkennbar sind. Insgesamt liefert das Projekt Entscheidungsgrundlagen, welches Flugsystem künftig für eine bestimmte Fragestellung am besten geeignet ist.

### Literatur

Das Literaturverzeichnis finden Sie unter [www.lwf.bayern.de](http://www.lwf.bayern.de) in der Rubrik »Publikationen«.

### Projekt

Das Projekt »FastOrtho« wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Laufzeit: 01.08.2021 – 01.03.2023) gefördert und von den Abteilungen »Informationstechnologie« und »Waldbau und Bergwald« der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft durchgeführt.

### Autoren

Dr. Christoph Straub und Dr. Adelheid Wallner arbeiten im Fachbereich Fernerkundung in der Abteilung »Informationstechnologie« der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Rudolf Seitz leitet diese Abteilung. Dr. Jan Dempewolf ist Mitarbeiter in der Abteilung »Waldbau und Bergwald«, die von Dr. Hans-Joachim Klemmt geleitet wird.

Kontakt: [Christoph.Straub@lwf.bayern.de](mailto:Christoph.Straub@lwf.bayern.de)