

Fernerkundung unterstützt Suche nach Borkenkäferschäden

Mittels Luftbilddaten und automatisierter Bildauswertung werden geschädigte Fichten detektiert

Christoph Straub, Adelheid Wallner, Kathrin Einzmann und Rudolf Seitz

Die angespannte Borkenkäfersituation der vergangenen Jahre hat gezeigt, dass eine kontinuierliche Beobachtung des Waldzustandes von entscheidender Bedeutung ist. Um einen Überblick über das Ausmaß und die Verteilung von Schadflächen zu bekommen und somit die Lokalisation geschädigter und abgestorbener Fichten zu erleichtern, erproben Fernerkundungsspezialisten der LWF den Einsatz von hochauflösten Luftbilddaten und automatisierten Auswertungsmethoden.

Die Nutzung digitaler Geodaten und innovativer Fernerkundungstechnologien zur Informationsgewinnung nimmt in der Forstwirtschaft stetig zu. Hierzu zählt auch die Erfassung von Veränderungen und Schädigungen am Waldbestand. In den vergangenen Jahren haben insbesondere Fichtenborkenkäfer hohe Schadholzmengen in Bayern verursacht. Auch die Fichtenwälder im Bereich des Amtes für Ernährung Landwirtschaft und Forsten (AELF) Münchberg waren im Jahr 2020 von sehr starkem Befall und erheblichen Schäden betroffen. Um einen Überblick über das Ausmaß der Schad-

flächen zu bekommen, wurde die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) im September 2020 mit der Beschaffung und Auswertung von Luftbilddaten für den nordwestlichen Teil des AELF Münchberg beauftragt. Die Auswertung konzentrierte sich auf die Erfassung von bereits rotbraun oder grau verfärbten Fichtenkronen. Die Ergebnisse dieser Kartierung wurden dann den Fachkräften vor Ort über das Bayerische Waldinformationssystem (BayWIS) zur Verfügung gestellt, um die Suche und Lokalisation der geschädigten Fichten zu erleichtern.

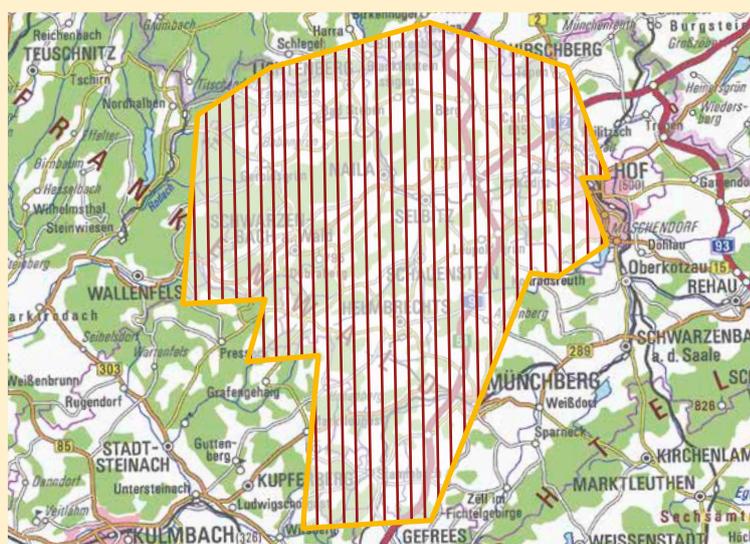
Beauftragung eines Bildflugs

Im September 2020 wurde die Firma ILV-Fernerkundung GmbH beauftragt, einen Bildflug für das in Abbildung 1 abgegrenzte Projektgebiet im AELF Münchberg (Größe: 624 km²) durchzuführen. Die Luftbilder wurden am 21.09.2020 bei guten Sichtverhältnissen ohne Wolkenbedeckung aufgenommen. Zur Aufzeichnung von qualitativ hochwertigen Bilddaten kam eine spezielle Luftbild-Digitalkamera zum Einsatz. Insgesamt wurden 3.082 Bilder mit jeweils 10 cm Bodenauflösung in festgelegten Abständen entlang von 33 parallel verlaufenden Flugstreifen (Abbildung 1) erfasst.

Vom Stereo-Luftbild zum Orthophoto

Um eine stereoskopische Auswertung dieser Bilddaten zu ermöglichen, wurde beim Bildflug eine Längsüberlappung der Bilder in Flugrichtung von 80% und eine Querüberlappung der Flugstreifen von 60% gewählt. Damit die Bilddaten auch in einem Geoinformationssystem (GIS) – zusammen mit anderen Geodaten – analysiert werden können, wurden aus den Stereo-Bildern zusätzlich Orthophotos, d.h. verzerrungsfreie und maßstabsgetreue Bilddaten, berechnet. Da die eingesetzte Luftbildkamera vier Spektralbänder (blau, grün, rot und nahes Infrarot) aufzeichnet, können die Bilder (wie in Abbildung 2 für einen kleinen Ausschnitt exemplarisch dargestellt) sowohl als Echtfarben (RGB)- oder als Color-Infrarot (CIR)-Darstellung visualisiert werden. In Abbildung 2 ist beispielhaft ein Borkenkäfernest mit 50 verfärbten Fichten gezeigt. In der für das menschliche Auge vertrauten Echtfarben-Darstellung

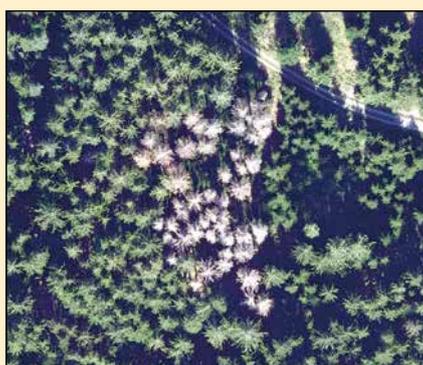
Projektgebiet zur Borkenkäferdetektion



□ Projektgebiet — Flugstreifen

1 Für den nordwestlichen Teil des AELF Münchberg (orange Umrandung) wurde ein digitaler Bildflug beauftragt. Entlang von 33 parallel verlaufenden Flugstreifen wurden insgesamt 3.082 Luftbilder aufgenommen.

a Echtfarben-Orthophoto



b Color-Infrarot-Orthophoto



sind die geschädigten und abgestorbenen Bäume anhand von rotbraun und grau verfärbten Kronen erkennbar, wohingegen abgestorbene Vegetation im Color-Infrarot-Bild an grün-bläulichen bis weißlich-grauen Farbtönen identifiziert werden kann (Ahrens et al. 2004). Für die visuelle Identifikation von Borkenkäferschäden ist es häufig hilfreich, sowohl die Echtfarben- als auch die Color-Infrarot-Darstellung zu betrachten.

Berechnung von Vegetationshöhen

Außerdem wurde aus den Stereo-Luftbilddaten mittels dichten Bildzuordnungsverfahren (Hirschmüller 2017) automatisiert ein hochaufgelöstes digitales Oberflächenmodell (DOM) berechnet. Wie Abbildung 3 verdeutlicht, repräsentiert das DOM die Vegetationsoberfläche bzw. die äußere Hülle der Vegetation. In Abbildung 3 ist zusätzlich ein digitales Geländemodell (DGM) des Bodens unterhalb der Baumkronen in brauner Farbe hinzugefügt. Hierbei handelt es sich um ein amtliches Geländemodell der Bayerischen Vermessungsverwaltung, welches für ganz Bayern aus flugzeuggetragener Laserscannermessung generiert wurde (LDBV 2019). Aus der Differenz beider Höhenmodelle, d.h. Oberflächenmodell minus Geländemodell, wurde für das gesamte Projektgebiet ein normalisiertes digitales Oberflächenmodell (nDOM) bzw. ein Vegetationshöhenmodell abgeleitet. Im nDOM werden die tatsächlichen Höhen von allen Objekten über der Geländeoberfläche wie beispielsweise von Vegetation wiedergegeben. Umfangreiche Darstellungen zur Verwendung von Oberflächenmodellen für forstliche Anwendungen finden sich in AFL (2020).

3 Das digitale Oberflächenmodell repräsentiert die Vegetationsoberfläche (grau) und wurde automatisch aus Stereo-Luftbildern berechnet. Darunter ist ein Geländemodell des Bodens ohne Vegetation (braun) aus flugzeuggetragener Laserscannermessung dargestellt. Gezeigt ist derselbe Ausschnitt wie in Abbildung 2.

Teilautomatische Bildauswertung

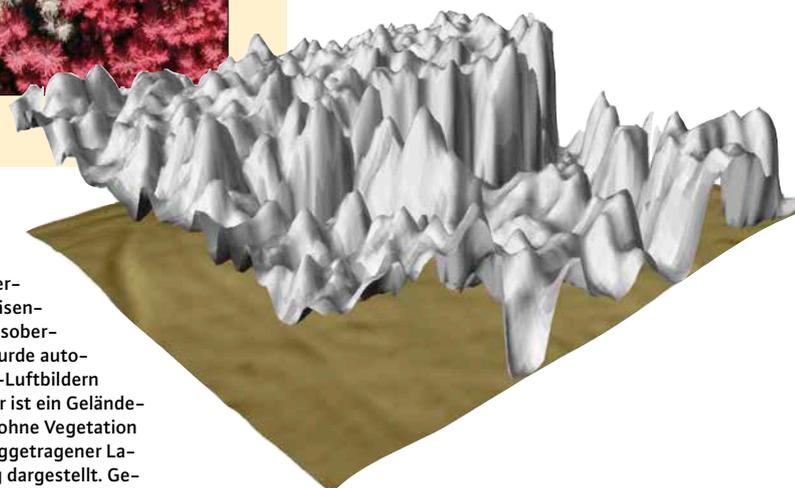
Wie oben beschrieben, konzentrierte sich die Bildauswertung auf die Erfassung späterer Befallsstadien, bei denen sich die Fichtenkronen bereits rotbraun oder grau verfärbt haben. Im vorliegenden Fall wurde eine teilautomatische bzw. überwachte Bildklassifizierung mit dem entscheidungsbaumbasierten Verfahren »Random Forest« (Breiman 2001) durchgeführt, welches ein häufig angewandtes Verfahren aus dem Bereich des »maschinellen Lernens« ist. Zuerst musste das Klassifikationsverfahren mit Trainingsdaten bzw. möglichst repräsentativen Bildbeispielen für die folgenden Zielklassen kalibriert werden:

- Vitale Laubbäume
- Vitale Nadelbäume
- Rotbraun verfärbte Nadelbäume
- Grau verfärbte Nadelbäume
- Schattenbereiche

Trainingsdaten für die Modellierung

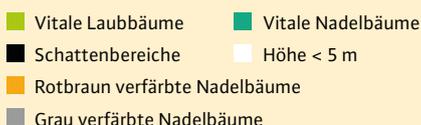
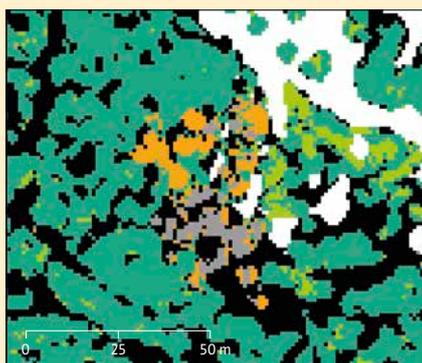
Die Auswahl der Referenzdaten für jede Klasse erfolgte manuell über visuelle Bildinterpretation. Hierbei musste darauf geachtet werden, dass die Trainingsdaten möglichst repräsentativ über das gesamte Gebiet verteilt sind und in ausreichender Häufigkeit vorkommen. Um eine sys-

2 Ein Borkenkäfernest mit verfärbten Fichtenkronen im hochaufgelösten Luftbild. Derselbe Ausschnitt ist als Echtfarben- (li.) und als Color-Infrarot-Darstellung (re.) gezeigt.



tematische Verteilung der Trainingsdaten zu gewährleisten, wurde zuerst ein 5 km × 5 km Gitter über das Projektgebiet gelegt. Im Umfeld um jeden Gitterpunkt erfolgte dann die Erhebung der Referenzdaten. Zur besseren Beurteilung wurden die Baumkronen nicht nur im Orthophoto, sondern zusätzlich auch in den originalen Luftbilddaten stereoskopisch betrachtet. Für jede der fünf Klassen konnten insgesamt 120 Trainingspunkte und zusätzlich jeweils 60 Validierungspunkte erstellt werden. Nur die Trainingspunkte wurden zur Kalibrierung des Random Forest-Modells verwendet. Danach erfolgte die Anwendung des Modells, d.h. für jedes Pixel bzw. Bildelement des Orthophotos wurde die Zugehörigkeit zu einer der fünf Zielklassen vorhergesagt. Das Ergebnis dieser Modellierung kann in Form einer thematischen Karte mit den ausgewiesenen Klassen dargestellt werden (Abbildung 4). Im Anschluss wurden die erstellten Validierungspunkte genutzt, um das Ergebnis der Modellierung zu überprüfen. Anhand der Validierungspunkte konnte für die fünf Zielklassen eine Gesamtgenauigkeit von 85% und ein Kappa-Koeffizient nach Cohen von 0,81 erzielt werden. Hierbei wurden die meisten Verwechslungen zwischen den Klassen »rotbraun verfärbte Nadelbäume« und »grau verfärbte Nadelbäume« festgestellt. Dies

Ergebnis der Bildklassifizierung



4 Ergebnis der überwachten Bildklassifizierung mit einem Random Forest Modell für den Bildausschnitt von Abbildung 2

erscheint plausibel, da diese beiden Klassen sich auch visuell nicht immer eindeutig voneinander abgrenzen lassen und einzelne Baumkronen oftmals beide Färbungen in verschiedenen Ausprägungen beinhalten.

Abschließend erfolgte eine Nachbearbeitung der teilautomatische Klassifizierung. Mithilfe des oben beschriebenen Vegetationshöhenmodells (Abbildung 3) wurden Bodenflächen und Bereiche mit niedriger Vegetation < 5 m so weit wie möglich ausmaskiert (siehe weiße Flächen in Abbildung 4). Eine visuelle Qualitätsprüfung zeigte jedoch, dass dadurch nicht alle Bodenbereiche entfernt werden konnten, da das verwendete Oberflächenmodell aus den Stereo-Luftbildern stellenweise geglättet ist und dadurch beispielsweise in lückigen Bestandesbereichen nicht immer alle Bodenflächen zuverlässig

Zusammenfassung

Im September 2020 wurde eine Luftbildbefliegung für einen Teilbereich des Amtes für Ernährung Landwirtschaft und Forsten (AELF) Münchberg durchgeführt, um mittels der Luftbilder den sehr starken Borkenkäferbefall in den Fichtenwäldern zu erfassen. Auf Grundlage der Bilddaten wurden rotbraun und grau verfärbte Fichten kartiert. Damit sollte dem AELF Münchberg ein Hilfsmittel zur Verfügung gestellt werden, um die Suche nach den zahlreichen Schadflächen vor Ort zu erleichtern. Die Auswertung erfolgte teilautomatisch mit einem Bildklassifikationsverfahren aus dem Bereich des »maschinellen Lernens«. Nach einer manuellen Überarbeitung der Klassifikationsergebnisse wurden die erfassten Flächen dem AELF Münchberg über das Bayerische Wald-Informationssystem (BayWIS) zur Verfügung gestellt. Gemäß dem AELF Münchberg konnte mit diesen Daten die Suche nach geschädigten Bäumen verbessert werden.

sig abgebildet werden. Auch die bereits einsetzende Herbstfärbung der Laubbäume zum Zeitpunkt des Bildflugs führte vereinzelt zu Fehlklassifizierungen bzw. zu Verwechslungen mit rotbraun gefärbten Nadelbäumen. Deshalb mussten fehlklassifizierte Bodenbereiche und verfärbte Laubbäume manuell entfernt werden.

Rückmeldung aus der Praxis

Die Ergebnisse der Bildauswertung, d. h. die kartierten rotbraun und grau verfärbten Kronenflächen, wurden den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern im AELF Münchberg über das Bayerische Wald-Informationssystem (BayWIS) zur Verfügung gestellt. Anhand dieser Daten konnte vor Ort geprüft werden, ob damit die Suche und Lokalisation geschädigter Fichten unterstützt werden kann. Gemäß Rückmeldung vom AELF Münchberg konnte bei einem Großteil der ausgewiesenen Flächen tatsächlicher Borkenkäferbefall vorgefunden werden. Teilweise waren hier die befallenen Bäume in der Zwischenzeit allerdings bereits aus dem Wald entfernt worden. Aber es wurden durch die Luftbildauswertung auch zahlreiche zusätzliche Borkenkäfernestern identifiziert, die noch unentdeckt geblieben waren. Ferner wurde festgestellt, dass vereinzelt auch Kiefern oder Birken fälschlicherweise als Borkenkäferbefall erkannt wurden. Die hierdurch entstandene Fehlerquote wurde aber als gering und tolerabel angesehen. Gemäß dem AELF Münchberg konnte die Suche nach Borkenkäferbefall mit den bereitgestellten Daten noch genauer gestaltet werden. Insbesondere für die Suche im Winter kann die Luftbildauswertung unterstützend eingesetzt werden.

Um die Borkenkäferbekämpfung noch effektiver gestalten zu können, muss bei zukünftigen Auswertungen die Zeitspanne vom Befliegungszeitpunkt bis zur Bereitstellung der Ergebnisse der Bildauswertung verkürzt werden. Im vorliegenden Fall erfolgte der Bildflug im September 2020. Nachdem die Orthophotos berechnet waren, konnte im Oktober 2020 mit der manuellen Erstellung der Trainingsdaten für die teilautomatische Bildauswertung begonnen werden. Im Januar 2021 wurden die Ergebnisse der Auswertung dann über BayWIS zur Verfügung gestellt.

Ausblick

In zukünftigen Studien sollen unter anderem Möglichkeiten zur Zeiteinsparung bei der Datenprozessierung geprüft werden. Denkbar wäre beispielsweise eine Anpassung der Flugparameter zur Reduktion der räumlichen Auflösung der Luftbilddaten, was die gesamte Datenmenge verkleinert und dadurch die Berechnung und Bereitstellung der Orthophotos beschleunigen würde. Da eine Reduktion der Bodenauflösung jedoch auch die Erkennbarkeit von Baumstrukturen im Bild vermindert, muss geprüft werden, welche Bodenauflösung zwingend benötigt wird, damit rotbraun und grau verfärbte Fichten noch zuverlässig erkannt werden können.

Alternativ zu Luftbildbefliegungen liefern optische Erdbeobachtungssatelliten immer präziser werdende Aufnahmen der Landoberfläche. Deshalb wird aktuell im Forschungsprojekt IpsSAT der LWF eine Analyse und ein Vergleich unterschiedlicher Satellitensysteme zur Identifizierung von geschädigten Fichten durchgeführt (Straub & Seitz 2020). Auch hier werden die Möglichkeiten einer automatisierten Bildauswertung untersucht. Zum Einsatz kommen dabei sowohl klassische Verfahren des maschinellen Lernens als auch Methoden des Deep-Learning.

Literatur

Das Literaturverzeichnis finden Sie am Ende des Online-Artikels auf www.lwf.bayern.de.

Autoren

Dr. Christoph Straub, Dr. Adelheid Wallner und Kathrin Einzmann arbeiten im Fachbereich Forstliche Fernerkundung in der Abteilung »Informationstechnologie« der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF). Rudolf Seitz leitet die Abteilung »Informationstechnologie«.
Kontakt: Christoph.Straub@lwf.bayern.de