

Früherkennung von Buchdruckerbefall durch Drohnen

Seit 2015 besteht das Angebot eines Dienstleisters zur Früherkennung von Buchdruckerbefall (*Ips typographus* L.) durch die automatisierte Auswertung drohnenbasierter Luftbilder. Die rechtzeitige und genaue Lokalisierung befallener Bäume soll es ermöglichen, die notwendigen forstwirtschaftlichen Maßnahmen zu ergreifen und so die Ausbreitung des Buchdruckers effektiv zu verhindern. Ein attraktives Angebot – doch funktioniert das in der Praxis?

Jörg Ackermann, Petra Adler, Karina Hoffmann, Rainer Hurling, Reinhold John, Lutz-Florian Otto, Herbert Sagischewski, Rudolf Seitz, Christoph Straub, Mathias Stürtz

Um die aktuellen Möglichkeiten der fernerkundungsbasierten Früherkennung von Buchdruckerbefall anhand eines konkreten Dienstleistungsangebotes zu testen, führten Waldschutz- und Fernerkundungsexperten der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, des Staatsbetriebs Sachsenforst sowie des Forstlichen Forschungs- und Kompetenzzentrums Gotha der ThüringenForst-AöR während der Buchdruckersaison 2017 Freilanduntersuchungen durch. Der beauftragte Dienstleister ließ von den betroffenen Gebieten Luftbilder durch Drohnen anfertigen und analysierte diese auf Buchdruckerbefall. Mit den Freilanduntersuchungen sollten folgende Fragen beantwortet werden:

- Werden von Buchdruckern befallene Bäume im green-attack-Stadium, d. h. noch bevor eine für das menschliche Auge sichtbare Kronenverfärbung eintritt, in ausreichendem Umfang und

rechtzeitig erkannt, um durch forstsanitäre Maßnahmen eine weitere Ausbreitung der Käfer effektiv zu verhindern zu können?

- Wie hoch ist der Anteil fälschlicherweise als befallen bzw. als unbefallen eingestufte Bäume?
- Lassen sich als befallen ausgewiesene Bäume im Gelände praxisgerecht finden?

Früherkennung

Der Buchdrucker ist neben abiotischen Einflüssen (Stürme, Dürre, Schneebruch) der Hauptschadfaktor in Fichtenbeständen. Die bisher praktizierte terrestrische Suche nach befallenen Bäumen ist sehr aufwändig und teuer. Hier verspricht die Unterstützung durch Fernerkundungsverfahren eine wesentliche Effizienzsteigerung. Allerdings müsste ein System zur Früherkennung Informationen über frisch befallene Fichten so rechtzeitig liefern, dass die Forstpraxis Chancen zur Entnahme der Bäume vor dem Käferschlupf hat. Damit die Erkennungsmethodik Akzeptanz in der Forstpraxis findet, sind außerdem eine hohe Erkennungsrate befallener Fichten, eine geringe Fehlerquote (falsch positive bzw. negative Befallserkennung) und ausreichend genaue Lageangaben befallener Bäume bzw. Baumgruppen unabdingbar.

Versuchsordnung

Es gab insgesamt 11 Untersuchungsflächen mit Größen zwischen wenigen Hektaren und 170 ha. In einigen Versuchen wurde Befall durch die Ausbringung von Pheromonen künstlich induziert, in anderen wurden natürlich verlaufende Befallsentwicklungen beobachtet. Pro Fläche wurden von beauftragten Beflie-

gungsunternehmen drei bis zwölf Wiederholungsflüge im Zeitraum Mai bis zum Teil in den Oktober hinein durchgeführt. Begleitend fanden, in hervorragender Weise unterstützt durch Revierleiter und Praktiker vor Ort, intensive terrestrische Arbeiten statt. Dies diente einerseits dazu, mit klassischen Methoden gewonnene Befallsdaten als Referenz zu erhalten und andererseits Ergebnisse der Bilddatenanalyse vor Ort in den Beständen zu verifizieren.

Technologie und Bilddatenauswertung

Als Fluggeräte kamen Multikopter zum Einsatz (Abb. 1), die zur Gruppe der unmanned aerial vehicle (UAV) gehören und umgangssprachlich auch als Drohnen bezeichnet werden. Die eingesetzten Drohnen waren jeweils mit einer kleinen Spezialkamera bestückt, welche die gleichzeitige Aufnahme mehrerer Spektralkanäle ermöglicht. Hierzu zählen Rot, Grün und Blau aus dem Bereich des sichtbaren Lichts sowie Nahes Infrarot und Red Edge. Durch geringe Flughöhen unter 100 m werden hohe Bodenauflösungen von wenigen Zentimetern erreicht.

Die fernerkundliche Detektion von Borkenkäferbefall basiert auf der Annahme, dass sich die spektralen Eigenschaften von gesunden und befallenen Bäumen unterscheiden. Die Bilddatenauswertung zur Lokalisierung und Identifizierung befallener Fichten besteht daher aus einer Verrechnung aufgenommener Spektralwerte. Der genaue Algorithmus dafür ist Firmengeheimnis des Dienstleisters. Aufbereitet wurden die Analyseergebnisse durch den Dienstleister in Form von Übersichtskarten, welche befallene Bäume vor einem Luftbildhintergrund zeigen (Hotspots)

Schneller Überblick

- Von vier Institutionen wurde geprüft, ob mit Drohnen erstellte Luftbilder helfen können, einen Buchdruckerbefall kostengünstig, rechtzeitig und mit ausreichender Genauigkeit zu erfassen
- Eine praxistaugliche Früherkennung von Buchdruckerbefall ist in den vier parallel durchgeführten Versuchen nicht gelungen



Abb. 1: Multikopter für die Durchführung der Luftbildbefliegungen

Foto: NW-FVA

sowie als Einzelkarte für jeden gefundenen Hotspot. Zudem wurde eine Koordinatenangabe geliefert. Unterschieden wurde nach Früh- und Spätphase. Fichten der Frühphase befinden sich im green-attack-Stadium und zeigen bereits Veränderungen in den von der Kamera aufgenommenen spektralen Werten, die noch nicht für das menschliche Auge sichtbar sind. Fichten der Spätphase befinden sich dagegen im red-attack-Stadium mit deutlichen, auch für das menschliche Auge sichtbaren Kronenverfärbungen [4, 5, 6].

Versuchsergebnisse

Am 29. und 30. November 2017 wurden die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen auf einem Treffen der beteiligten Institutionen vorgestellt und diskutiert. Folgende Ergebnisse können aus den durchgeführten Projekten zusammengefasst werden:

- Von Buchdruckern befallene Fichten lassen sich mit dem beschriebenen Verfahren der Früherkennung nicht in ausreichendem Umfang und rechtzeitig erfassen.

Versuchs-ansteller	Versuchs-fläche	Stehendbefall durch Buchdrucker ...							
		richtig erkannt (rp) → Hotspot ausgewiesen Trefferquote		nicht erkannt (fn) → kein Hotspot Übersehfehler		falsch vermutet (fp) → Hotspot ausgewiesen Fehlalarm		nicht vorhanden (rn) → kein Hotspot	
		[St.]	[%]	[St.]	[%]	[St.]	[%]	[St.]	[%]
Sachsenforst	Waldmühle	1	14	6	86	39	11	322	89
Sachsenforst	Zellwald	0	0	15	100	20	3	593	97
Sachsenforst	Naundorf Ost	1	11	8	89	22	5	388	95
Sachsenforst	Naundorf West	0	0	5	100	11	4	265	96
Thüringenforst	Weimar VP2	3	21	11	79	42	8	499	92

rp - richtig-positiv-Rate; Sensitivität bzw. Trefferquote: Anteil befallener Fichten, deren Befall mittels UAV detektiert wurde
 fn - falsch-negativ-Rate; Übersehfehler: Anteil befallener Fichten, deren Befall mittels UAV nicht detektiert wurde
 fp - falsch-positiv-Rate; Ausfallrate: Anteil nicht befallener Fichten, für die das UAV-basierte Verfahren einen Befall detektierte (Fehlalarm)
 rn - richtig-negativ-Rate; Spezifität: Anteil nicht befallener und nicht detektierter Fichten

Tab. 1: Ergebnisse auf den Versuchsflächen von ThüringenForst AÖR 40 Tage und von Sachsenforst 52 Tage nach Befallsbeginn

fassen. Forstsanitäre Maßnahmen zur Verhinderung einer weiteren Ausbreitung von Buchdruckern können daraus nicht abgeleitet werden.

Beispiel: Auf einer 10 ha großen Versuchsfläche im Harz wurden vier Wochen nach Befallsbeginn terrestrisch 150 Bäume als befallen eingestuft, bei der Bilddatenauswertung waren es dagegen nur zwei Bäume. Nach über vier Monaten waren es terrestrisch 208 Bäume gegenüber 120 bei der Bilddatenauswertung.

Die erste Buchdruckergeneration war zu diesem Zeitpunkt längst ausgeflogen und hatte weitere Fichten befallen.

- Es gibt einen hohen Anteil falsch eingestufte Fichten.

Beispiele: Auf einer 22 ha großen Versuchsfläche im Schwarzwald wurden bei zehn Luftbildbefliegungen insgesamt 258 Hotspots gefunden. Tatsächlich wurde aber Buchdruckerbefall nur an 37 Fichten festgestellt, und diese waren nur teilweise als Hotspot gelistet. In der Forstpraxis

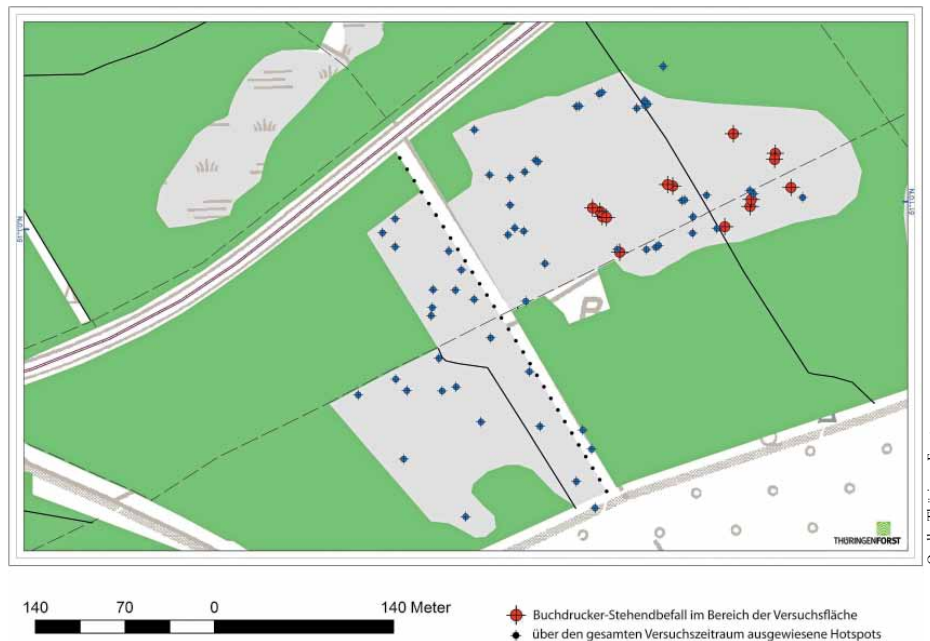


Abb. 2: Versuchsfläche von ThüringenForst AöR mit befallenen und fälschlicherweise als befallen ausgewiesenen Fichten

wäre extrem viel Zeit in die Überprüfung dieser falsch positiven Befallsbäume investiert worden, die andernorts an tatsächlichen Befallsbereichen gefehlt hätte. 9 von 15 beködeten Probestämmen wurden durch die Befliegungen entdeckt, die ersten beiden acht und der letzte 15 Wochen nach Befallsbeginn. Die Durchführung sanitärer Maßnahmen wäre durch diese späte Erkennung nicht mehr möglich gewesen. Ergebnisse der Versuche bei Sachsenforst und ThüringenForst zeigen, dass befallene Fichten nur zu einem kleinen Teil gefunden wurden und in durchaus erheblichem Umfang Fichten fälschlicherweise als befallen eingestuft worden sind (Tab. 1 und Abb. 2).

- Ein schnelles und ausreichend sicheres Auffinden als befallen eingestufte Bäume in den Beständen ist derzeit mit forstpraxistauglicher GNSS-Technologie nicht möglich.

Zum einen ist bei der Positionsbestimmung befallener Bäume aus den angefertigten Luftbildern heraus mit einem methodisch bedingten Lagefehler von einigen Metern zu rechnen. Zum anderen werden beim Wiederauffinden dieser Bäume in den Beständen meist einfache GPS-Geräte verwendet, die, abhängig vom Antennenempfang und den Bestandesstrukturen, eigene Lagefehler von 8 bis 10 m oder teilweise auch mehr zum Lagefehler der Analysedaten hinzufügen können. Somit kann der Forstpraktiker bisher

allenfalls in den richtigen Bestandesteil gesteuert werden. Vor Ort muss weiterhin aufwändig terrestrisch nach Befallsspuren gesucht werden. Diese Spuren, wie Harztropfen oder Bohrmehl, sind in einer frühen Befallsphase und bei ungünstiger Witterung allerdings nicht sehr auffällig. Somit bleibt die Sucharbeit weiterhin langwierig und teuer.

Eignung von Drohnen

Der Einsatz von Drohnen verspricht auf den ersten Blick viele Vorteile: sie sind flexibel und schnell ohne große Vorplanung einsetzbar, leicht handhabbar, kostengünstig und garantieren eine schnelle Datenverfügbarkeit. Bei genauerer Betrachtung ist die Drohnentechnik jedoch zahlreichen Einschränkungen unterworfen.

Zunächst gibt es gesetzliche Restriktionen. Gemäß der aktuellen Drohnenverordnung des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur [2, 3] dürfen Drohnen ohne Ausnahmeerlaubnis nicht höher als 100 m steigen. Hieraus ergibt sich eine geringe Flächenleistung bei den Luftbildaufnahmen. Zudem dürfen sie generell nur auf Sicht geflogen werden, was in den für Buchdruckerbefall relevanten älteren Fichtenbeständen problematisch ist. Schließlich sind Flüge nur bis zu einem Gesamtgewicht von 5 kg ohne individuelle Aufstiegserlaubnis möglich. Hierdurch steht nur eine geringe Nutzlast für

Sensortechnik und die Energieversorgung zur Verfügung. Der Akkusatz eines 5 kg Multikopters erlaubt eine Flugzeit von 15 bis 20 Minuten. In dieser Zeit können ca. 10 bis 20 ha aufgenommen werden. Dies führt in der Summe zu einer geringen Flächenleistung. Darüber hinaus besteht eine Fülle von Flugverboten, etwa aus natur- oder artenschutzrechtlichen Gründen.

Eine weitere Beschränkung ergibt sich aus den herrschenden Witterungsbedingungen. Ein Drohneinsatz bei Windgeschwindigkeiten über 10 m/s oder bei stark wechselhaften Böen ist riskant und führt zu erheblichen Qualitätseinbußen der Luftbildaufnahmen, die dann nicht mehr oder nur noch eingeschränkt analysierbar sind.

Schließlich bleiben noch die Kosten. Die Anschaffung professioneller Drohnen- und Sensortechnik ist ein ernstzunehmender Kostenfaktor im fünfstelligen Bereich. Hauptsächlich Kostenträger beim Einsatz dieser Systeme ist aber die menschliche Komponente. Insgesamt können Befliegungskosten erreicht werden, die auch den Einsatz bemannter Flugsysteme mit größerformatigen Kameras und geringeren gesetzlichen wie auch technischen Restriktionen ermöglichen.

Fazit und Ausblick

Eine praxistaugliche Früherkennung von Buchdruckerbefall an Fichte durch die automatisierte Analyse drohnenbasierter Luftbilder ist in den vier parallel durchgeführten Versuchen nicht gelungen. Es ist davon auszugehen, dass diese Aussage verallgemeinert werden kann und dass die Analyse von Multispektralaufnahmen derzeit noch unzulängliche Früherkennungsergebnisse liefert.

Nicht wissenschaftlich beantwortet wurde bisher die Frage, ob sich ein Buchdruckerbefall überhaupt frühzeitig charakteristisch in den Spektraldaten von Luftbildaufnahmen abbildet. Zwar gibt es in der Literatur Hinweise hierauf [1], diese gründen jedoch auf Messungen an einzelnen Fichtennadeln, was eine Übertragung auf die Baum- oder Bestandesebene nicht erlaubt. Auf der Baum- oder Bestandesebene spielen weitere Faktoren, welche die spektralen Werte stark beeinflussen können, eine erhebliche Rolle, wie zum Beispiel Flechtenbehang, Vorschädigungen in Gestalt von Nadel-

verlusten, morphologische Unterschiede, Unterwuchs, Untergrundbeschaffenheit, Zapfenbehang oder Nadelverfärbungen durch Nährstoffmangel (beispielsweise führt Manganmangel zu vergilbten Nadeln). Eine besondere Herausforderung ist zudem eine zuverlässige Baumarten-erkennung, sobald Beimischungen anderer Baumarten in den zu untersuchenden Fichtenbeständen auftreten.

Dennoch sollte die luftbildbasierte Früherkennung von Borkenkäferbefall nicht als generell gescheitert angesehen werden. Arbeiten der an den Untersuchungen beteiligten Firma und auch weiterer Firmen zeigen, dass durchaus Verbesserungsmöglichkeiten gegeben sind und die Ergebnisqualität der Früherkennung gesteigert werden kann. Ansatzpunkte hierfür bieten beispielsweise die Luftbilddaufnahmen selbst (Messung zusätzlicher Parameter neben den eigentlichen Spektraldaten), Kalibrierungsmaßnahmen (frühzeitige Einbeziehung terrestrisch ermittelter Befallsdaten), die Nutzung zusätzlicher Geodaten (Bestandesstrukturen, Naturdaten) oder weitere methodische Verbesserungen bei der Bilddatenanalyse. Auch das Auffinden befallener Fichten kann durch Einsatz leistungsstärkerer Ortungstechnik (GNSS-Empfänger mit zusätzlicher Verarbeitung von Korrektursignalen) deutlich verbessert und erleichtert werden. Deshalb wurden die 2017 begonnenen Versuche im Kreis der beteiligten Institutionen 2018 fortgesetzt.

Bisher kaum nachgegangen wurde der Frage, wie sinnvoll der Einsatz von Drohnen als Trägersystem für die Überwachung von Borkenkäferbefall ist. Die Qualität von Auswertungsdaten hängt vor allem von den verwendeten Sensoren ab. Die meisten Sensortypen können auf unterschiedlichen Trägersystemen zum Einsatz kommen. Die Wahl des Trägersystems ist dabei vor allem ein Kostenfaktor. Für die Überwachung von Borkenkäferbefall werden Fernerkundungssysteme mit hoher Flächenleistung benötigt. Multikopter bisheriger Bauart und Größe erfüllen diese Voraussetzung nicht. Eher geeignet sind als Flächenflieger konzipierte Drohnen, wobei in Waldumgebungen schwer geeignete Start- und Landeflächen zu finden sind. Ein wesentlicher Fortschritt könnte sich ergeben, wenn auf gesetzlicher Seite der Weg für den Einsatz größerer und au-

tomom fliegender Drohnen freigemacht würde, was derzeit aber nicht absehbar ist. Daher ist momentan die Verwendung bemannter Trägersysteme (Ultraleichtflugzeuge, Gyrokopter, größere ein- oder zweimotorige Motorflugzeuge) erfolgversprechender bei großräumig angelegten Überwachungsaufgaben.

Literaturhinweise:

- [1] ABDULLAH, H.; DARVISHZADEH, R.; SKIDMORE, A. K.; GROEN, T. A.; HEURICH, M. (2018): European spruce bark beetle (*Ips typographus*, L.) green attack affects foliar reflectance and biochemical properties. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, 64, 199-209. [2] Bundesgesetzblatt I 2017/17 (2017): Verordnung zur Regelung des Betriebs von unbemannten Fluggeräten, 683-688. [3] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2017): Die neue Drohnenverordnung – ein Überblick über die wichtigsten Regeln, 2 S. [4] HALL, R. J.; CASTILLA, G.; WHITE, J. C.; COOKE, B. J.; SKAKUN, R. S. (2016): Remote sensing of forest pest damage: a review and lessons learned from a Canadian perspective. *The Canadian Entomologist*, 148, 296-356. [5] WULDER, M. A.; DYMOND, C. C.; WHITE, J. C.; LECKIE, D. G.; CARROLL, A. L. (2006): Surveying mountain pine beetle damage of forests: A review of remote sensing opportunities. *Forest Ecology and Management*, 221, 27-41. [6] WULDER, M. A.; WHITE, J. C.; CARROLL, A. L.; COOPS, N. C. (2009): Challenges for the operational detection of mountain pine beetle green attack with remote sensing. *The Forestry Chronicle*, 85(1), 32-38

Jörg Ackermann

joerg.ackermann@nw-fva.de,
leitet das Sachgebiet Fernerkundung und GIS an der NW-FVA in Göttingen. Dr. P. Adler ist Mitarbeiterin der Abteilung Biometrie und Informatik an der FVA in Freiburg. K. Hoffmann ist Referentin für Fernerkundung im Referat FGIS des Staatsbetriebs Sachsenforst in Graupa. Dr. R. Hurling leitet das Sachgebiet Käfer und Mittelprüfung an der NW-FVA. Dr. R. John ist Mitarbeiter der Abteilung Waldschutz an der FVA. L.-F. Otto leitet das Referat Waldentwicklung/Waldschutz Sachsenforst in Graupa. H. Sagischewski ist Referent für Bildauswertung und Fernerkundung am FFK Gotha. R. Seitz leitet die Abteilung Informationstechnologie der LWF in Freising. Dr. C. Straub ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Informationstechnologie der LWF. M. Stürtz ist Sachbearbeiter Waldschutz am FFK Gotha.