

Mit der Drohne gegen Schädlinge

„Fliegende Fahnder“ im Forstrevier

Multispektralkamera, elektronische Nase oder Thermosensor: Um rindenbrütende Schadinsekten im Wald frühzeitig aufzuspüren, werden Drohnen mit verschiedensten Detektoren ausgerüstet. Doch Praktiker sind mit der Genauigkeit der Befallserkennung noch nicht zufrieden.

Mit lautem Surren erhebt sich der „GreenCopter“ des Thüringer Ingenieurbüros Ruppe von einer Waldlichtung des Colditzer Forstes bei Leipzig. Mitarbeiter Martin Faber steuert das viermotorige Fluggerät mit dem Joystick über die Wipfel der umstehenden Bäume. Dann drückt er auf einen Knopf und legt die Bedienkonsole beiseite. „Der Quadrocopter steigt jetzt selbstständig auf etwa 100 m und fliegt dann Bahn für Bahn die programmierte Fläche ab“, erläuterte der Drohnenpilot. Auf der gesamten Flugroute fertige eine Multispektralkamera Aufnahmen vom überflogenen Fichtenbestand. Damit die Kamera bei allen Flugbewegungen, etwa einer kurzzeitigen Schräglage durch Windstöße, immer senkrecht nach unten zeigt, ist sie an einem selbstständig austarierenden Gimbal befestigt. Nach etwa 10 min schwebt die Drohne wieder über der Lichtung. Per Handsteuerung landet sie auf der Waldwiese. „Die Bilddaten der Multispektralkamera senden wir an ein österreichisches Unternehmen“, informierte Faber, während er das Fluggerät abrüstet und im Heck seines Kombis verstaut.

Stressanalyse mit der Multispektralkamera

Das Start-up Festmeter der Firma Wöls, das die Aufnahmen auswertet, hat es sich zur Aufgabe gemacht, vom Borkenkäfer befallene Bäume bereits im sogenannten Green-Attack-Stadium zu identifizieren, also bevor sich die Nadeln sichtbar verfärben.

„So können die Stämme noch vor der Rotstreifigkeit des Holzes geschlagen werden“, sagte Festmeter-Vertriebschef Bernd Cresnar. Um dies zu erreichen, zeichnet die an der Drohne befestigte Multispektralkamera das von den Fichtennadeln reflektierte Sonnenlicht auf. Dies geschieht dank mehrerer Linsen parallel im sichtbaren roten und im für das menschliche Auge nicht sichtbaren nahinfraroten Spektralbereich. Aus dem Vergleich lässt sich der Vegetationsindex (NDVI) und damit der Stresszustand des Baumes errechnen. Vitale Pflanzen mit aktiver Photosynthese reflektieren nämlich weniger sichtbares Licht, dafür mehr im Infrarotbereich und umgekehrt. Die Auswertung der aus den Einzelaufnahmen zusammenge-



Die Multispektralkamera ist mit der Drohne über ein selbstständig austarierendes Gimbal verbunden.



Martin Faber kalibriert vor dem Start der Drohne im Colditzer Forst die anmontierte Multispektralkamera.

setzten digitalen Luftbilder erfolgt automatisch mit der dafür von der Firma Festmeter entwickelten Software „Waldfee“. Damit können nach Aussage des Unternehmens vom Borkenkäfer befallene Bäume vier Wochen vor einer sichtbaren Nadelverfärbung erkannt und deren Lagekoordinaten zum Auffinden in einer Karte verzeichnet werden.

Praxistest zur Früherkennung

Der Drohneneinsatz im Colditzer Forst war Teil eines mittlerweile abgeschlossenen gemeinsamen Praxistestes forstlicher Forschungseinrichtungen in Sachsen und Thüringen. Ähnliche Versuche zur Schaddetektion im Forst mittels UAV (unmanned aerial vehicle) gab es in Baden-Württemberg, Niedersachsen und Bayern. Im Fokus stand jeweils der Buchdrucker. „Diese Borkenkäferart ist der biotische Hauptschadfaktor in Fichtenbeständen. Allerdings wird der Schaden erst sichtbar, wenn sich die Insekten bereits vermehrt und ihre Nachkommen längst weitere Bäu-

me angegriffen haben. Dreh- und Angelpunkt bei der Bekämpfung des Buchdruckers wie auch anderer rindenbrütender Insekten ist daher das Erkennen der Hotspots, von denen sich der Befall ausbreitet“, erläuterte Lutz-Florian Otto, Referatsleiter Waldentwicklung/Waldschutz beim Staatsbetrieb Sachsenforst. Nur so sei es möglich, die Bäume rechtzeitig, das heißt vor dem Käferschlupf, zu entnehmen, den weiteren Befall zu stoppen und dadurch nicht zuletzt der Einsatz von Pestiziden zu reduzieren.

Die heute hauptsächlich praktizierte Detektierung befallener Bäume durch Kronenbegutachtung oder die Suche nach Harztropfen und dem kaum auffälligen Borkenkäferbohrmehl am Stammfuß ist jedoch anstrengend und teuer. Hinzu kommt, dass die Käfer alle gleichzeitig schwärmen, wenn es im Frühling warm wird. „Dann müssen große Flächen innerhalb kurzer Zeit abgesucht werden. Das erfordert einen Personalaufwand, der nicht vorhanden ist“, sagte Dr. Marco Heurich vom Nationalpark Bayerischer Wald. So läuft die Forstwirtschaft dem Borkenkäfer ständig hinterher.

Um herauszubekommen, ob hier die Fernerkundung mittels Drohnen praktikabel ist und eine Effizienzsteigerung bringt, wurden für die Tests Untersuchungsflächen unterschiedlicher Größe eingerichtet. Sie lagen beispielsweise

se am Ettersberg in Thüringen, im Nationalpark Schwarzwald in Baden-Württemberg oder im Tharandter Wald und dem Colditzer Forst in Sachsen. Auf den ausgewählten Fichtenarealen hatten sich die Schadinsekten bereits eingenistet, oder es wurde ein Buchdruckerbefall durch die Ausbringung des Duftstoffes (Pheromon) „Pheroprax“ induziert.

Über den Baumwipfeln fanden im Zeitraum von Mai bis Oktober 2019 mehrere Erkundungsflüge von Drohnen mit Multispektralkamera statt. Die daraus abgeleitete Karte wies Hotspots getrennt nach Fichten im Green-Attack-Stadium und in der Spätphase, dem Red-Attack-Stadium, aus, bei dem die rostrote Verfärbung der welken Nadeln schon weithin sichtbar ist. Gleichzeitig beobachteten die Revierleiter die Befallsentwicklung mit klassischen Methoden, um Daten als Referenz für die Versuchsauswertung zu erhalten. Außerdem befanden sich in den Gebieten Messstellen zur Erfassung der Temperatur.

Forscherteams tüfteln an weiteren Methoden

Wegen der Bedeutung rindenbrütender Schadinsekten für den Waldbestand und des starken Anstiegs des Befallsdrucks, befördert unter anderem durch den Klimawandel, befassen sich auch andere



Begünstigt durch Stürme und Trockenheit erleben viele Wälder in Deutschland und Europa gegenwärtig einen dramatischen Borkenkäferbefall. Die Früherkennung von Hotspots ist eine wichtige Voraussetzung für die Wirksamkeit von Gegenmaßnahmen.

Forscherteams in Deutschland mit dem frühzeitigen Auffinden von Borkenkäfer-Hotspots im Baumbestand. Sie setzen dabei ebenfalls auf Fernerkundung mittels Drohnen, jedoch zum Teil auf eine andere Sensorik.

So entwickeln Wissenschaftler der Hochschule für Forstwirtschaft in Rottenburg (Baden-Württemberg) sowie der Universitäten

in Freiburg und Göttingen zusammen mit Drohnenspezialisten der Firma Cadmic im Forschungsprojekt „ProtectForest“ ein spezielles Fluggerät, das den Befall mit einem Gassensor erschnüffelt. Dies ist keineswegs zu weit hergeholt. Am Bundesforschungszentrum Wald (BFW) in Wien werden tatsächlich seit 2009 Käferhunde ausgebildet, die mit ihren sensiblen

Nasen in der Lage sind, die Geruchsfahne verschiedener Forstschädlinge aufzunehmen. Um eine höhere Flächenleistung zu erzielen und die Erfassung zu automatisieren, machen sich nun die Entwickler des elektronischen Flugsperhundes dem Umstand zunutze, dass die Buchdrucker nach dem Anflug zunächst die Rinde durchbohren. Die Fichte wehrt sich gegen diesen Angriff durch verstärkten Harzfluss. Der dabei entstehende markante Geruch, der sich über den Baumkronen ausbreitet, dient der elektronischen Nase an der Drohne als Fahrte zum Lokalisieren befallener Bäume. Die Daten zur Geruchsintensität (Monoterpenkonzentration) werden unmittelbar in eine Internet-Cloud gesendet und daraus sogenannte HeatMaps zur aktuellen Befallsituation erstellt. Nach Aussage von Dr. Sebastian Paczkowski von der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg ermögli-che diese Spürmethode eine Detektion unmittelbar nach dem Einnisten der Borkenkäfer und somit forstliche Gegenmaßnahmen, um eine explosive Zunahme der Käferpopulation und die daraus resultierenden Folgeschäden zu verhindern.

Mit einer Art Fiebermessung wollen Forscher am Technologie Campus Freyung der Technischen Hochschule Deggendorf gemeinsam mit tschechischen Forstwissenschaftlern dem Borkenkäfer bereits in der Green-Attack-Phase auf die Spur kommen. „Unser Ausgangspunkt ist, dass sich die Temperatur des Baumes erhöht, wenn er sich gegen die Käferangriffe zur Wehr setzt. Dies erfassen wir mit einer Hightechkamera, die Licht in viele Wellenlängen zerlegt und so feinste Temperaturunterschiede in den Baumkronen sichtbar macht“, beschrieb Dr. Peter Hofmann den Ansatz der Forscher.

Systeme durchweg noch nicht praxisreif

Auf praxisreife Verfahren für ein umfassendes Borkenkäfermonitoring müssen Forstleute und Waldbesitzer aber wohl noch einige Zeit warten. Wann das fliegende Fieberthermometer für den Wald einsatzbereit ist, lässt sich nach Auskunft der Entwickler nicht abschätzen. „Trotz vielversprechender Zwischenresultate und einer großen Datensammlung können wir diesen Ansatz vorerst nicht weiterverfolgen, da die Förderung ausläuft“, bedauerte Hofmann.



Eine mögliche forsthygienische Maßnahme an Hotspots mit Borkenkäferbefall ist das Fällen und Entrinden der Bäume.



Vor der Absolvierung des einprogrammierten Flugprogramms im Colditzer Forst zur Lokalisierung von Borkenkäferbefall steigt die Drohne auf eine Höhe von 100 m. Fotos: Carmen Rudolph

Analyse den Forstpraktiker allenfalls in den richtigen Bestandesteil führen. Vor Ort müsse er dann weiterhin nach Befallsspuren suchen.

Forstleute hoffen auf bessere Erkennungsrate

Dennoch betrachtet Otto die luftbildbasierte Früherkennung von Borkenkäferbefall nicht generell als gescheitert. Jüngste Forschungsarbeiten hätten gezeigt, dass sich die Ergebnisqualität der automatischen Analyse bedeutend steigern ließe, etwa durch die Kombination mit Satellitendaten, eine verbesserte Baumarten-erkennung oder die weitere Spezifizierung der Referenzkurven, als Voraussetzung für eine verlässliche Zuordnung typischer Erscheinungen von Borkenkäferattacken in den Aufnahmen der Multispektralkamera. Zudem sei zu erwarten, dass leistungsstärkere GPS-Technik in naher Zukunft das Ausweisen als auch das Auffinden befallener Bäume präzisere. „Wir werden die Entwicklung aufmerksam verfolgen“, versicherte Otto.

Die Zeit drängt. Gemäß dem sächsischen Waldzustandsbericht stieg 2019 die Schadholzmenge um 1,1 Mio. m³ auf insgesamt 2,6 Mio. m³. Zum Vergleich: Bis 2017 lag der jährliche Zuwachs an Schadholz im Schnitt in Sachsen bei 30.000 m³. Deutschlandweit hat der Borkenkäfer in den vergangenen zwei Jahren fast 70 Mio. m³ Fichtenholz zerstört. Und jeder tote Baum fällt als CO₂-Speicher aus.

Wolfgang Rudolph
freier Journalist

Technik noch nicht praxisreif

Auch die Akteure beim Projekt „ProtectForest“ gehen davon aus, dass es mindestens noch ein Jahr dauert, bis die „Schnüffeldrohne“ verlässliche Daten liefert. Die Ursache dafür liegt in beiden Fällen weniger bei der mittlerweile recht zuverlässigen Hardware als vielmehr beim aufwendigen Erstellen von sogenannten Referenzkurven und daraus abgeleiteter Algorithmen für die Auswertung der Messdaten im Computer. Dabei sind vielfältige Umweltparameter und die unterschiedlichen Messbedingungen im Wald zu berücksichtigen.

Auch die Ergebnisse der Tests mit der Multispektralkamera waren für die Forstpraktiker ernüchternd. „Eine wirkliche Basis für forstsanitäre Maßnahmen ist das noch nicht“, meinte Otto. Waldschutzexperten wie er nennen immer wieder zwei Hauptgründe, warum die derzeit verfügbare Technologie kein aussagefähiges Borkenkäfer-Monitoring ermöglicht. Zum einen hapert es an der Verlässlichkeit der Angaben. So stufte das Forstpersonal auf einer 10 ha großen Versuchsfläche im Harz terrestrisch, also bei Sichtkontrollen, 150 Fichten als befallen ein. Das Programm „Waldfee“ lieferte dagegen auf Grund-

lage der Multispektralaufnahmen nur zwei Treffer. Nach über vier Monaten waren es terrestrisch 208 Bäume gegenüber 120 bei der Bild datenauswertung. Die erste Buchdruckergeneration war zu diesem Zeitpunkt längst ausgeflogen und hatte weitere Fichten befallen.

Auf einer 22 ha großen Versuchsfläche im Schwarzwald entpuppten sich elektronisch identifizierte Spätphasenbäume als schon vor Jahren abgestorbene Fichten, die zum Teil auf dem Boden lagen. Andererseits ließen sich an Hotspots, die sich laut Bildauswertung im Green-Attack-Stadium befanden, bei der Begutachtung vor Ort keinerlei Auffälligkeiten feststellen oder die Fichten hatten Kronenbrüche beziehungsweise Nadelverfärbung durch Spätfrost beziehungsweise Manganmangel. Insgesamt identifizierte die Drohne in diesem Waldgebiet 258 Hotspots. Tatsächlich fand sich der Buchdrucker aber nur an 37 Fichten und diese waren wiederum nur teilweise als Hotspot gelistet. „In der Forstpraxis wäre extrem viel Zeit in die Überprüfung dieser falsch ausgewiesenen Befallsbäume investiert worden, die andernorts in tatsächlichen Befallsbereichen gefehlt hätte“, gibt Otto zu bedenken.

Ein weiteres Manko resultiert aus der Unzulänglichkeit der übli-

cherweise eingesetzten Ortungssysteme. Beim Auffinden der ausgewiesenen Befallsbäume in den Beständen kämen meist einfache GPS-Tracker zum Einsatz. Abhängig vom Antennenempfang führen sie zu Positionsabweichungen von 10 m und manchmal mehr. Diese Ungenauigkeit summieren sich mit den ohnehin methodisch bedingten Lagefehlern von einigen Metern in den Luftbildern. Somit könne die drohnenbasierte

„Brotbaum“ mit wachsendem Risiko

Zahlreiche Insekten und Pilze können Schäden an der Fichte verursachen, sie ist die Baumart mit dem höchsten Waldschutfrisiko in unseren Breiten. Gleichzeitig ist sie die wirtschaftlich bedeutendste Baumart in deutschen Mittelgebirgen. Infolge des Klimawandels könnten sich durch prognostizierte steigende Temperaturen und zunehmende sommerliche Trockenperioden die Wuchsbedingungen der Fichte maßgeblich verschlechtern. Zusätzlich werden ihre bedeutendsten potenziellen biotischen Schädlinge, die Borkenkäfer, durch diese Klimaveränderungen weitge-

hend begünstigt. Rund 40 Borkenkäferarten nutzen als Rinden-, Holz- oder Wurzelbrüter die Fichte als Wirtspflanze. Sie sind grundsätzlich Sekundärschädlinge, benötigen in der Regel also eine Vorschädigung oder Schwächung ihrer Wirtspflanze. Der Große Buchdrucker und der Kleine Kupferstecher sind jedoch bei ausreichend hoher Populations- und daher hoher Angriffsdichte in der Lage, auch vitale Bäume erfolgreich zu befallen.

Dr. Reinhold John
Forstliche Versuchs- und
Forschungsanstalt
Baden-Württemberg (FVA)