

Wesentliche Steuerungsfaktoren der Befallsdynamik des Buchdruckers

Innerhalb des Arbeitspakets (AP) „Altdaten“ wurden umfangreiche Zeitreihen analysiert, um wesentliche Einflussfaktoren auf das Schädgeschehen des Buchdruckers in Sachsen und Thüringen zu identifizieren, deren Bedeutung zu quantifizieren und damit die Grundlage für eine statische Gefährdungseinschätzung zu schaffen.

TEXT: SVEN SONNEMANN, LUTZ-FLORIAN OTTO, TORSTEN SELTMANN, ANETT WENZEL

Mit 34 % in Sachsen und 38 % in Thüringen [1] nimmt die Fichte aktuell eine dominante Position im Baumartenspektrum dieser Länder ein und ist weit über ihr natürliches Verbreitungsgebiet hinaus präsent [2]. Die daraus resultierenden Waldschutzprobleme traten infolge mehrerer abiotischer Schädereignisse und der extrem trockenen und warmen Witterungsperioden in den Jahren 2018 und 2019 mehr als deutlich zutage. Insbesondere der Befall durch den Buchdrucker führte zu Schadholzmengen von bisher unbekanntem Ausmaß. Ein zumindest mittelfristiger Erhalt der vorhandenen Fichtenbestände ist aber für die Ertragssicherheit der Forstbetriebe und auch für die Finanzierung des planmäßigen Umbaus in naturnahe Mischbestände essenziell. Es bedarf dringend neuer und effektiver Hilfsmittel zur Umsetzung der bewährten integrierten



Abb. 1: Nach Buchdruckerbefall abgestorbene Fichten im Nationalpark Sächsische Schweiz

Foto: SRS

Borkenkäferbekämpfung, die auch den sich ändernden Rahmenbedingungen Rechnung tragen. Da bereits in der Vergangenheit Massenvermehrungen des Buchdruckers mit erheblichen wirtschaftlichen Folgen auftraten, wurde schon in der Mitte des letzten Jahrhunderts damit begonnen, ein zeitlich und räumlich relativ hoch aufgelöstes Meldesystem zur Dokumentation des Buchdruckerbefalls zu etablieren [3]. Im AP „Altdaten“ wurden die umfangreich vorhandenen Altdatenbestände mit Befalls- und Monitoringinformationen recherchiert, zusammengeführt, auf Plausibilität geprüft und räumlich verortet. Diese räumliche Abgrenzung bildete zugleich auch die Basis für eine Verbindung mit relevanten Witterungsfaktoren. Auf der Grundlage des daraus resultierenden Datensatzes wurden die folgenden Fragestellungen untersucht:

- Was sind die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Befallsdynamik des Buch-

„Altdatenbestände liefern wertvolle Erkenntnisse für ein verbessertes Buchdrucker-management.“

SVEN SONNEMANN

druckers und sind diese quantifizierbar?

- Gibt es relativ stabile Schwellenwerte für eine statische Einschätzung der Ausgangsgefährdung vor Beginn der Borkenkäfersaison?
- Wie kann die buchdruckerinduzierte Schadholzmenge auf Grundlage der abgeleiteten Einflussfaktoren geschätzt werden?

Schneller ÜBERBLICK

- » **Mithilfe weniger ausgewählter Einflussfaktoren** ist eine qualifizierte jährliche Gefährdungseinschätzung möglich
- » **Orientierende Schwellenwerte** können zur Einordnung eines Reviers in das regionale Schädgeschehen genutzt werden
- » **Ein szenarienbasierter Ansatz** zur näherungsweise Schadholzmengenprognose liegt vor



Die Projektergebnisse finden Eingang in das im Rahmen des Gesamtverbundes entwickelten Borkenkäfer-Frühwarnsystems „IpsRisk“ und unterstützen so die Gefährdungseinschätzung.

Methodik und Datengrundlagen

Als Modellregion wurden fichtendominierte Gebiete in Sachsen und Thüringen (s. Beitrag von Puhmann und Hallas auf S. 12-14 in dieser Ausgabe), repräsentiert durch die Forstbezirke Bärenfels und Neustadt, den Nationalpark Sächsische Schweiz sowie die Forstämter Oberhof, Frauenwald und Neuhaus ausgewählt. Insgesamt umfassen diese eine Waldfläche von 125.000 ha über einen Höhengradienten zwischen 120 und 980 m ü. NN. Zwischen 2005 und 2019 wurden jährlich bis zu 68 Reviere (mit im Mittel je 2.100 ha) in die Untersuchung einbezogen. Die Schadholzmenge als Zielvariable sowie die untersuchten Einflussfaktoren wurden auf Revier-ebene zu Jahreswerten aggregiert. Ältere Daten fanden wegen fehlender Datenkontinuität (Revierbezug) keine Berücksichtigung. Aus einem umfangreichen Prädiktorenset wurden auf Grundlage der Fragestellung elf potenzielle Einflussfaktoren in das Modell einbezogen (Tab. 1). Diese umfassen die Bereiche Befallsdynamik, Sanierung,

Schadholzmenge und Einflussfaktor

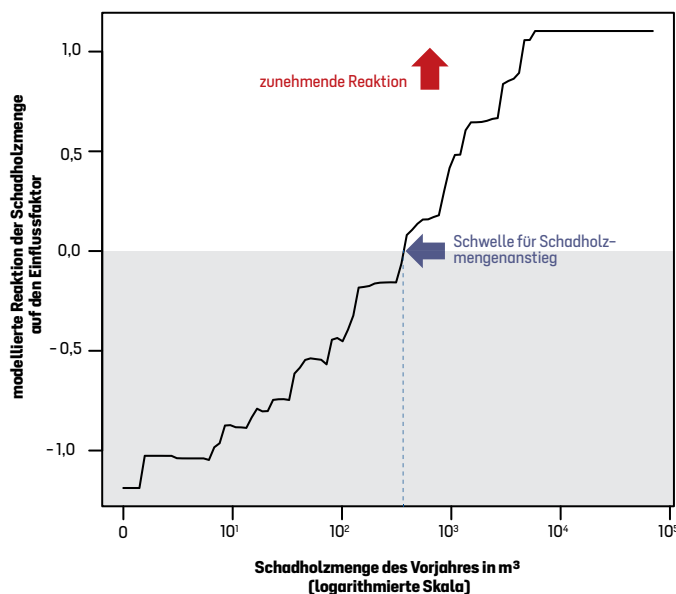


Abb. 2: Teilabhängigkeitsdiagramm für den stärksten Einflussfaktor: die buchdruckerinduzierte Schadholzmenge des Vorjahres

Monitoring und Witterung sowie Informationen zu Forstorganisationsstrukturen. Ein klarer Fokus lag dabei auf flächig verfügbaren Einflussfaktoren, die eine hohe jährliche Variabilität mit entsprechenden Aktualisierungsintervallen aufweisen. Außerdem sind von den Witterungsfaktoren sowohl die jeweiligen Jahres- als auch die Vorjahreswerte betrachtet worden, um die Situation zu Beginn der aktuellen Schwärmerperiode abbilden zu können. Der relative Einfluss der elf untersuchten Prädiktoren auf das Schadholzaufkommen wurde mithilfe von „boosted regression trees“ (BRT) quantifiziert [5]. Diese Modellierungsmethode aus dem Bereich des

maschinellen Lernens zeichnet sich durch eine hohe Flexibilität im Bezug auf die Datenstruktur und die Robustheit gegenüber nicht linearen Zusammenhängen sowie auf fehlende Daten aus. Unter Nutzung der statistischen Programmiersprache R wurden die Modelle parametrisiert und Prognosen der Buchdrucker-Schadholzmenge für drei realistische Szenarien erstellt.

Ergebnisse

Der Identifizierung und vor allem der Quantifizierung der wichtigsten Prädiktoren kommt eine besondere Bedeutung zu. Die mit dem BRT-Verfahren durchgeführten Berechnungen lassen sich

mithilfe von Teilabhängigkeitsdiagrammen visualisieren. In Abb. 2 ist exemplarisch das Ergebnis der Modellierung für den wichtigsten Prädiktor dargestellt, der Vorjahresschadholzmenge. Dabei muss darauf hingewiesen werden, dass nicht die tatsächlichen Merkmalsausprägungen von abhängiger (Y) und unabhängiger (X) Variable gegenübergestellt werden, sondern die Stärke der Reaktion des Modells auf die Ausprägung des Einflussfaktors. Aus der Literatur geht hervor, dass y-Werte >0 eine überdurchschnittliche Reaktion der abhängigen Variablen auf den Prädiktor abbilden [6]. Das heißt in diesem Fall, ab einem Wert von 398 m³/Revier ist im aktuellen Jahr mit einem höheren Befall zu rechnen, der mit steigenden Vorjahresmengen umso deutlicher ausfällt. Wenngleich nicht direkt konkrete Befallsmengen ablesbar sind, könnte der Schnittpunkt mit der y-Achse dennoch als möglicher revierbezogener Schwellenwert für eine Gefährdungsprognose herangezogen werden. Wie aus Tab. 1 ersichtlich wird, hat der Vorjahresbefall den stärksten Einfluss auf die aktuelle Schadholzmenge. Mehr als 41 % werden durch ihn erklärt. Mit großem Abstand folgt die klimatische Wasserbilanz. Weiterhin spielen die im Vorjahr sanierte Schadholzmenge und das Brutraumangebot infolge abiotischer Schadereignisse eine Rolle. Hingegen muss bei

Untersuchte Prädiktoren

Tab. 1: In die Analyse einbezogene Einflussfaktoren sowie deren ermittelte relative Einflussstärken

Einflussfaktor	relativer Einfluss	
	aktuelles Jahr	Vorjahr
Buchdruckerinduzierte Schadholzmenge (Buchdruckerjahr vom 1. Juni bis 31. Mai)		41,3 %
Sanierte Schadholzmenge (Buchdruckerjahr vom 1. Juni bis 31. Mai)		11,0 %
Abiotische Schadholzmenge (Winterhalbjahr von Oktober bis April)		6,9 %
Klimatische Wasserbilanz von April bis Oktober	13,5 %	4,2 %
Niederschlagsmenge von April bis Oktober	4,9 %	4,6 %
Temperatursumme (> 8,3 °C)	3,0 %	3,7 %
Trockenheitsindex nach de Martonne (Quelle: Deutscher Wetterdienst)	2,6 %	4,3 %

Klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode

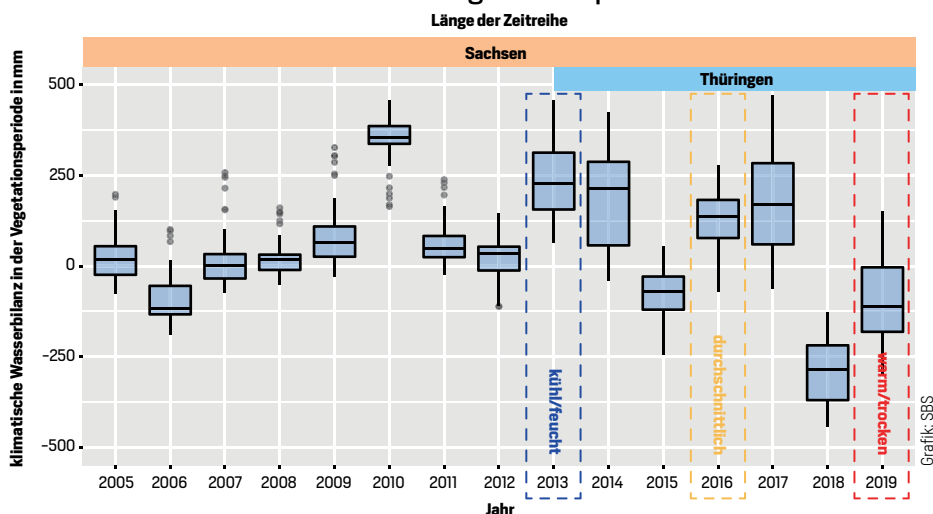


Abb. 3: Klimatische Wasserbilanz in der Modellregion, einschließlich der Modelljahre für die Witterungsszenarien

den übrigen sieben Prädiktoren, die überwiegend die Witterungsverhältnisse im aktuellen und im Vorjahr beschreiben, festgestellt werden, dass deren Einfluss jeweils deutlich geringer ist und nur wenig zur Erklärung beiträgt. Niederschlag und Temperatur werden zumindest indirekt über die klimatische Wasserbilanz abgebildet. Die Vorjahresparameter dienen dem Zweck, die Datenverfügbarkeit für eine Prognose vor Beginn der Käfersaison abzusichern. Das vorliegende Ergebnis war allerdings erwartet worden, da die aktuelle Witterung maßgeblich die Schwärm- und Befallsdynamik steuert und ggf. Wasserdefizite des Vorjahres bzw. die daraus hervorgehende erhöhte Prädisposition überprägt [7, 8].

Wie bereits erläutert, lassen y-Werte größer 0 auf eine zunehmende Reaktion der Schadholzmenge auf den Einflussfaktor schließen. Klare Verläufe waren bei Vorjahresbefall (Abb. 2), klimatischer Wasserbilanz, abiotischem Schadholzanfall und Niederschlag festzustellen. Ihre Schnittpunkte mit der y-Achse liegen im Bereich von 400 m³ beim Vorjahresbefall, -130 mm bei der klimatischen Wasserbilanz, 150 m³ bei der abiotischen Schadholzmenge und 760 mm beim Niederschlag. Bei den beiden

Schadholzmengen-Prädiktoren führt eine Zunahme zu einem Anstieg des erwarteten Schadholzes infolge von Buchdruckerbefall. Die Witterungsfaktoren zeigen hingegen negative Zusammenhänge. Unter der Maßgabe, dass diese Schwellenwerte nicht als starre Grenzen betrachtet werden, erlauben sie innerhalb eines gewissen Rahmens die grundsätzliche Bewertung der erwarteten Entwicklung des Schadgeschehens.

Die Schadholzmengenprognose ist ein Ansatz, die qualitative Bewertung

über Schwellenwerte durch eine quantitative Komponente zu ergänzen. Damit könnten bereits im Frühjahr notwendige Maßnahmen des Borkenkäfermanagements besser abgeschätzt und benötigte Kapazitäten geplant werden. Wie sich allerdings gezeigt hat, liegen insbesondere die Witterungsfaktoren zum Prognosezeitpunkt noch nicht vor, sodass ein szenarienbasierter Ansatz zumindest einen möglichen Entwicklungsrahmen aufzeigen soll. Dieser Fächer, bestehend aus drei Szenarien, deckt eine realistische Schwankungsbreite ab, die innerhalb des Prognosejahres erwartet werden kann. Die konkreten Witterungsbedingungen für die einzelnen Szenarien wurden dabei aus klimatisch passenden Jahren der zugrunde liegenden Zeitreihe entnommen (Abb. 3). Prognosepräzisierungen sind über den regelmäßigen Abgleich des Witterungsverlaufs möglich.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Prognose für ein Jahr 2019+1 beschrieben (Abb. 4). Neben den Szenarienwerten gingen reale Werte aus 2019 als Vorjahresdaten ein. Die Grafik zeigt im Vergleich zwischen modellierten und tatsächlichen Mengen, dass mit zunehmender Wärme und Trockenheit das Schadholzvolumen zunimmt. Der erwartete Trend wird somit abgebildet, wenn gleich die Werte für einzelne Bezugsseinheiten tendenziell zu gering

ausfallen (Abb. 5). Insbesondere die kalamitätsbedingt extremen Schadholzmengen im NLP Sächsische Schweiz werden nicht realistisch wiedergegeben. Ein tatsächlicher Abgleich mit realen Daten ist im Frühjahr 2021 möglich, wenn die Vergleichswerte aus 2020 vollständig vorliegen.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Grundsätzlich zeigen die bisherigen Arbeiten, dass mit der Quantifizierung wichtiger Prädiktoren, der Ableitung von Schwellenwerten und der Möglichkeit einer Schadholzmengenschätzung ein wichtiger Beitrag für ein verbessertes Borkenkäfermanagement in Form einer rechtzeitigen Ressourcenlenkung geleistet wer-

Prognostizierte und angefallene Schadholzmenge

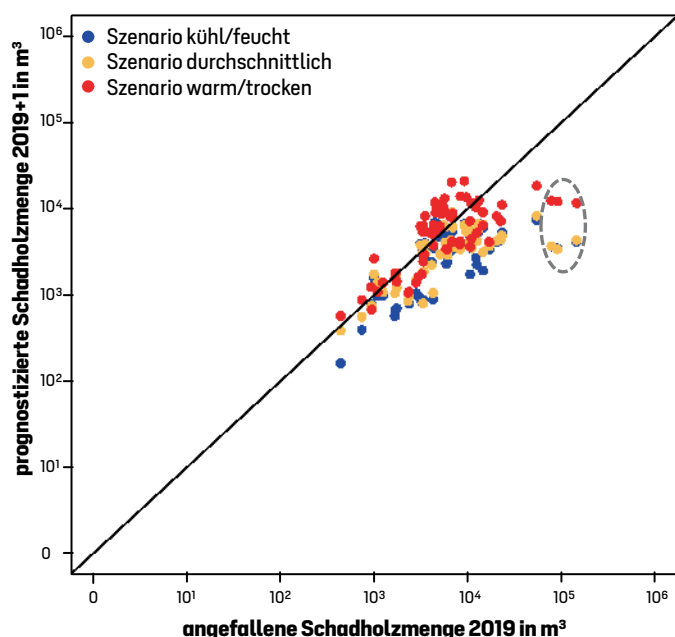
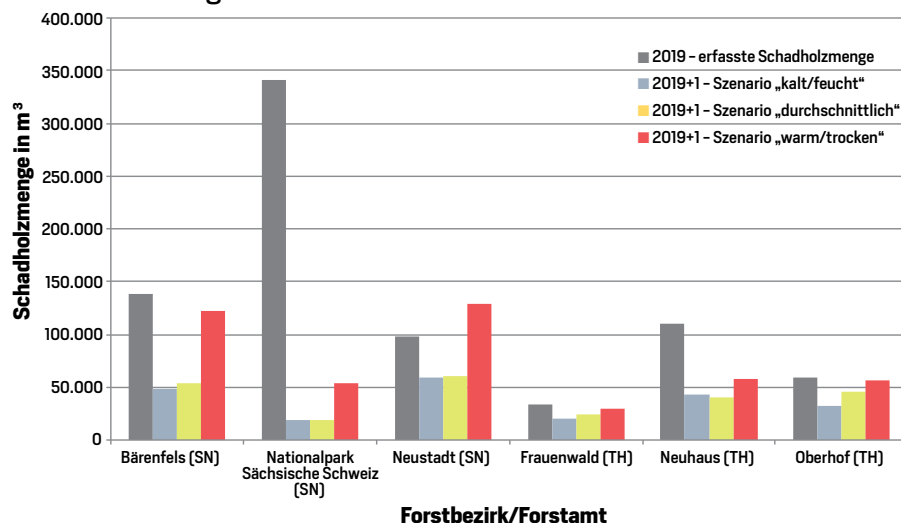


Abb. 4: Gegenüberstellung von realen [2019] und der auf Grundlage der Modellierungsergebnisse prognostizierten [2019+1] Schadholzmengen; hervorgehoben (gestrichelter Kreis) sind die Reviere des NLP Sächsische Schweiz.



Schadholzmenge nach Forstbezirken bzw. Forstämtern



Grafik: SGS

Abb. 5: Gegenüberstellung der auf Forstbezirks- bzw. Forstamtsebene aggregierten realen Schadholzmengen für 2019 sowie der Ergebnisse der szenarienbasierten Prognose für 2019+1

den kann. Die Fokussierung auf Einflussfaktoren mit hoher jährlicher Dynamik und entsprechenden Aktualisierungsintervallen unterstützt dabei eine regelmäßige Neuberechnung der Schadholzmengen. Grenzen zeigt indessen die Größe der Bezugseinheiten auf. Das Revier stellte bei den genutzten Altdaten die höchste Auflösungsebene dar, auf der räumlich verortete Schadensmeldungen verfügbar waren, insbesondere wenn längere und überregionale Zeitreihen betrachtet werden. Mittlerweile ändert sich diese Situation infolge der Nutzung IT-gestützter Verfahren bei der Stehendbefallssuche, da digitale Datenbestände mit hoher Genauigkeit aufgebaut werden, aus denen sich diese Informationen für wesentlich kleinere Bezugseinheiten

(z. B. Raster) generieren lassen. Gleiches gilt für die Schwellenwerte, deren Nutzen bei kleineren Flächeneinheiten an Relevanz gewinnt und die sich für den Waldbesitzer auch einfacher in Bezug zur betreffenden Fläche setzen lassen.

Insgesamt zeigen die Untersuchungen, dass die noch ausstehende Zusammenführung der Prädiktoren zu einem kombinierten Gefährdungsschlüssel die regional differenzierte Einordnung des Reviers in das allgemeine Befallsgeschehen ermöglichen könnte. Die Einbeziehung der Anzahl der Schwellenwertüberschreitungen innerhalb eines definierten Zeitraums erlaubt zudem die Identifizierung lokaler Risikobereiche.

Die Schadholzmengenschätzung muss aktuell als Arbeitsfeld betrach-

tet werden. Zwar wird der Entwicklungstrend nachvollziehbar abgebildet, genaue Mengenangaben sind bisher aber nicht möglich. Auf Revierebene ist die Schwankungsbreite der Modellergebnisse zu groß, was u. a. mit einer zu niedrigen Datensatzzahl in der zugrunde liegenden Zeitreihe zusammenhängen kann.

Die Lösung der Problematik der Datenverfügbarkeit im Frühjahr vor der Käfersaison mittels szenarienbasierter Entwicklungspfade wird als Voraussetzung dafür gesehen, eine flächig anwendbare und über Schwellenwerte hinausgehende quantitative Gefährdungseinschätzung zu entwickeln.

Ausblick

Da es sich um Ergebnisse eines nicht abgeschlossenen Projekts innerhalb einer Verbundstruktur handelt, sind weitere Modell Anpassungen möglich. Unabhängig davon ist die Weiterentwicklung bzw. Fertigstellung des Bewertungsschlüssels zu einem praxistauglichen Klassifizierungsansatz vorgesehen. Ebenfalls ein Arbeitsschwerpunkt wird die Ergebnisintegration in das Borkenkäfer-Frühwarnsystem „IpsRisk“ sein.

Unterstützt durch die inzwischen wesentlich bessere Datenlage eröffnet sich perspektivisch die Möglichkeit, einige Einschränkungen, die im Rahmen der Untersuchung identifiziert wurden, durch die Weiterentwicklung des Ansatzes zu einer höher aufgelösten, rasterbasierten Gefährdungsbewertung anzugehen.

Literaturhinweise:

- [1] Johann Heinrich von Thünen-Institut (2012): Dritte Bundeswaldinventur (2012) – Ergebnisdatenbank. Braunschweig. [https://bwi.info/inhalt1.3.aspx?Text=1.04%20Baumarten-gruppe%20\(rechnerischer%20Reinbestand\)&prRole=public&prInv=BWI2012&prKapitel=1.04](https://bwi.info/inhalt1.3.aspx?Text=1.04%20Baumarten-gruppe%20(rechnerischer%20Reinbestand)&prRole=public&prInv=BWI2012&prKapitel=1.04).
 [2] PROFFT, I.; BAIER, U.; SEILER, M. (2008): Borkenkäfer als Vitalitätsindikator für einen standortgerechten Fichtenanbau. Timber loss caused by bark beetle as vigour indicator for future forestry decisions. In: Forst und Holz 63 (2), S. 32–37.
 [3] BAIER, U.; MAJUNKE, C.; OTTO, L.-F. (2006): 80 Jahre Forstschuttmeldedienst in den ostdeutschen Ländern. Von den einen belächelt – von den anderen geschätzt; AFZ-DerWald, Heft 14, S. 783–785.
 [4] STADELMANN, G. (2013): Spatio-temporal infestation dynamics of the European spruce bark beetle in Switzerland. quantifying environmental drivers and effects of forest management.

1. Band. Zürich. [5] ELITH, J.; LEATHWICK, J. R.; HASTIE, T. (2008): A working guide to boosted regression trees. In: J. Anim. Ecology 77 (4), S. 802–813. [6] LITKE, K. M.; CROSS, J.; HARRISON, R. B.; ZABOWSKI, D.; TURNBLOM, E. (2017): Understanding spatial and temporal Douglas-fir fertilizer response in the Pacific Northwest using boosted regression trees and linear discriminant analysis. In: Forest Ecology and Management 406, S. 61–71. [7] NETHERER, S.; NOPP-MAYR, U. (2005): Predisposition assessment systems (PAS) as supportive tools in forest management-rating of site and stand-related hazards of bark beetle infestation in the High Tatra Mountains as an example for system application and verification. In: Forest Ecology and Management 207 (1-2), S. 99–107. [8] NETHERER, S.; PENNERSTORFER, J.; MATTHEWS, B. (2019): Trockenstress von Fichtenbeständen fördert den Schadholzanfall durch Buchdrucker. In: Forstschutz aktuell (65), S. 29–37.



Sven Sonnemann

sven.sonnemann@smul.sachsen.de, und **Torsten Seltmann** sind Referenten im Referat Waldentwicklung/Waldschutz im Staatsbetrieb Sachsenforst. **Lutz-Florian Otto** leitet das Referat. **Anett Wenzel** ist Leiterin des Referats Waldschutz, Standortskunde und Umweltmonitoring im FFK Gotha.