

Nadine Bräsicke¹, Karl-Heinz Berendes (a. D.)¹, Henrik Hartmann²

Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in den Landeswäldern Deutschlands von 2015 bis 2020

The use of PPPs in the state forest (property of the land) from 2015 to 2020 in Germany

Affiliationen

¹Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Waldschutz, Braunschweig.

²Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Waldschutz, Quedlinburg.

Kontaktanschrift

Dr. Nadine Bräsicke, Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Waldschutz, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, E-Mail: nadine.braesicke@julius-kuehn.de

Zusammenfassung

Der Klimawandel fördert die Häufigkeit von extremen Wetterlagen, die abiotische und biotische Störungen in Wäldern verstärken und damit die Forstwirtschaft vor große Herausforderungen stellt. Für die Schadensbegrenzung werden neben vorbeugenden Handlungsoptionen (wie waldbauliche Maßnahmen) ebenso z. B. Maßnahmen der sauberen Waldwirtschaft (Entzug von Brutraum u. a. für Holz- und Rindenbrüter) umgesetzt. In bedrohlichen bis existenzgefährdenden Waldschutzsituationen erlaubt der im Pflanzenschutzgesetz (PflSchG) beschriebene integrierte Pflanzenschutz den Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel (PSM), als *Ultima Ratio*. Bei Natur- und Umweltschutzbehörden werden Bedenken wegen möglicher Nebenwirkungen von PSM geäußert, während in den Medien mitunter der Eindruck entsteht, dass die Anwendung von PSM in der Forstwirtschaft gängige Praxis ist.

Der vorliegende Artikel zeigt Daten zum PSM-Einsatz von 2015 bis 2020, die auf den Jahresberichten der Landesministerien basieren, die 3,3 Mio. der insgesamt 11,5 Millionen Hektar Wald in Deutschland bewirtschaften (Thünen, 2022). Während der sechs Jahre wurden insgesamt 13.675 ha Wald (0,41 % der Fläche, durchschnittlich 2.279 ha/Jahr) mit PSM behandelt. Davon erfolgte auf 2.657 ha (0,08 %, durchschnittlich 443 ha/Jahr) eine Anwendung mit Insektiziden. Die hier vorgestellten Daten decken jedoch nur 29 % der gesamten Waldfläche in Deutschland ab.

Generell werden mehr als 80 % aller deutschen Wälder nach den Vorschriften von Holzzertifizierungen bewirtschaftet (1,17 Mio. ha nach FSC (2024); 8,7 Mio. ha nach PEFC (2024)), bei denen der Einsatz von PSM nur in Ausnahmefällen möglich ist. Auch wenn es unmöglich ist, alle Anwendungen von PSM im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes vollständig zu vermeiden, so zeigen die gemeldeten Zahlen doch, dass sie sich auf einige wenige notwendige Anwendungen als letztes Mittel zur Regulierung von Schaderregern oder des

vollständigen Waldverlustes bzw. erheblicher wirtschaftlicher Schäden beschränken.

Stichwörter

Waldschutz, Pflanzenschutzmittel, Insektizide, Fungizide, Herbizide, Rodentizide

Abstract

Climate change is increasing frequency and intensity of abiotic and biotic disturbances in forests, making forest protection measures very difficult. Preventative silvicultural measures (e.g., increasing forest structure) aim to reduce risks of biotic forest damage, but in situations of forest protection which pose a threat to the very existence of the forest, integrated pest management described in the Plant Protection Act (PflSchG) allows the use of chemical plant protection products (PPP). The nature/environment protection agencies raise concerns about potential side effects of PPP, while the media sometimes convey the impression that applications of PPP are common practice in forest management.

We present PPP usage data from 2015 to 2020, based on annual reports from state ministries, which manage 3.3 of the 11.5 million hectares of forest in Germany (Thünen, 2022). During the 6 years, 13,675 ha of forest (0.41% of area, on av. 2,279 ha/yr) have been treated with PPP. Of these, 2,657 ha (0.08%, 443 ha/yr) had been treated with insecticides. The data presented cover only 29% of the total forest area in Germany.

More than 80% of all German forests are managed under regulations of timber certifications (1.17 million ha to FSC (2024); 8.7 million ha to PEFC (2024)), where the use of PPP is only possible in exceptional cases. While it is impossible to avoid completely all applications of PPP in the context of integrated pest management, the reported numbers show that are limited to a few necessary applications as a last means to



(c) Die Autoren/Die Autorinnen 2025

Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt wird (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

Zur Veröffentlichung eingereicht/angenommen: 16. September 2024/20. Dezember 2024

control forest pests or complete forest loss resp. significant economic damage.

Keywords

forest protection, plant protection products, insecticides, fungicides, herbicides, rodenticides

Einleitung

Basierend auf dem Waldbericht der Bundesregierung (BMEL, 2024) gehört Deutschland mit ca. 11,5 Millionen Hektar Wald zu den sechs walddreichsten Ländern der EU. Mit 79 % prägen Mischwälder unseren Wald. Ein Großteil des Waldes ist Privatwald (48 %) oder Eigentum der Kommunen (20 %). Dagegen befinden sich 29 % (3,3 Mio. ha) im Eigentum der Länder bzw. 3 % im Eigentum des Bundes (0,3 Mio. ha). Für einen relativ hohen Anteil an Wäldern sind Schutzgebiete ausgewiesen. Bezogen auf die Gesamtwaldfläche liegt der Waldanteil z. B. in FFH-Gebieten oder in Vogelschutzgebieten bei jeweils 17 % bis 18 % bzw. in Landschaftsschutzgebieten oder Naturparke bei jeweils 43 % bis 44 % (BMEL, 2021). Zudem werden mehr als 80 % aller deutschen Wälder nach den Vorschriften von Holzzertifizierungen bewirtschaftet (1,17 Mio. ha nach FSC (2024); 8,7 Mio. ha nach PEFC (2024)), bei denen ein Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM) nur in wenigen Ausnahmefällen vorgesehen ist. Der Waldbesitz von Bund und Ländern ist fast vollständig zertifiziert.

Unser Wald garantiert vielfältige Ökosystemleistungen und der nachwachsende Rohstoff Holz sichert mit seiner vielseitigen Wertschöpfungskette Arbeitsplätze und Einkommen. So beschäftigt der Cluster Forst & Holz mehr als 1 Mio. Menschen und erwirtschaftete im Jahr 2020 einen Umsatz von ca. 180 Milliarden Euro (Thünen, 2024).

Mit dem Klimawandel steigen die Durchschnittstemperaturen und extreme Witterungsereignisse nehmen zu, die in den letzten Jahren bereits zu enormen Schäden im Wald geführt haben. Bedeutende Schadverursacher in Wäldern sind häufig wärmeliebende Arten, die durch Klimaänderungen begünstigt werden. Hierzu zählen bei den Insekten verschiedene Borkenkäfer-, Prachtkäfer-, Schmetterlings- und Blattwespenarten sowie bei den Baumkrankheiten zahlreiche parasitäre Arten. Mit abnehmender Vitalität der Baumarten infolge von

Trocken- und Hitzestress steigt die Befallsintensität schädigender Waldinsekten und damit die Befallsfläche, die Pathogenität pilzlicher Erreger und, was aktuell immer präsenter wird, das Auftreten von Komplexerkrankungen (Langer, 2024; Lobinger et al., 2024). Die daraus resultierende biotische Gefährdung der Wälder wird zusätzlich durch die Einschleppung invasiver Arten verstärkt.

Für die Schadensbegrenzung stehen je nach Schadverursacher begrenzt vorbeugende Handlungsoptionen (wie waldbauliche Maßnahmen oder Maßnahmen der sauberen Waldwirtschaft) zur Verfügung. Fast ausschließlich in einem akuten Schadensfall (z. B. einer Insektengradation) erfolgt der Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel als letzte Lösung (Ultima Ratio) im integrierten Pflanzenschutz. Während zum Beispiel für periodisch und großflächig auftretende Schadschmetterlinge eine regelmäßige und flächendeckende Überwachung der Populationsdichte mit stufig-artspezifischen Überwachungs- und Prognoseverfahren möglich ist (Möller, 2014; Bublitz, 2016; Delb, 2016), gibt es diese Option für andere Schaderreger, wie u. a. Pracht- und Borkenkäfer nicht. Bei Waldschutzmaßnahmen mit einem zugelassenen PSM handelt es sich immer um Entscheidungen im Einzelfall, die z. B. die Biologie der Schädlinge, die Gefährdung und das Regenerationspotenzial des Waldbestandes sowie waldbauliche Alternativen und wirtschaftliche Überlegungen miteinschließt.

Für den Einsatz in Wäldern steht aktuell nur noch eine überschaubare Anzahl an zugelassenen Pflanzenschutzmitteln zur Verfügung. Die Anwendung ist über das Pflanzenschutzgesetz (PflSchG) geregelt. Hierzu zählen u. a. verschiedene Fungizide, Herbizide, Insektizide und Rodentizide. In den letzten Jahrzehnten ist die Anzahl der zur Anwendung im Wald zugelassenen Wirkstoffe deutlich zurückgegangen (Tab. 1). Auch qualitativ hat sich das Spektrum der PSM-Wirkstoffe mit der Zeit verändert. Waren im Zeitraum von 1980 bis 1990 noch die Organophosphate (u. a. mit einer systemischen Wirkung) als zugelassene insektizide Wirkstoffe im Forst dominant, wurden diese ab 1998 von den Pyrethroiden (mit einer Kontakt- und Fraßwirkung) abgelöst (Altenkirch et al., 2002). Die aktuelle Online-Datenbank des BVL enthält – neben je einem Präparat mit dem Wirkstoff *Tebufenozid* (Häutungsbeschleuniger) bzw. *lambda-Cyhalothrin* (Pyrethroid) – als zugelassene Mittel ausschließlich den Wirkstoff *Bacillus thuringiensis*. Eine spezifische Schädigung nur des Zielorganismus gibt es bei diesen biologischen ebenso wie bei den vorhandenen

Tab. 1: Anzahl der im Forst zugelassenen Pflanzenschutzmittel (M) bzw. -wirkstoffe (W).

Zugelassene PSM	Fungizide M/W	Herbizide M/W	Insektizide M/W	Rodentizide M/W
1980*	35/8	44/20	59/22	4/2
1989/90*	31/5	55/11	54/18	4/2
1994*	21/4	24/6	11/6	3/2
2005 ¹	14/3	35/5	5/4	20/3
2014 ¹	13/3	62/6	9/6	29/2
2024 ¹	13/5	49/8	10/5	12/1

*Angaben aus Altenkirch et al. (2002)

¹Angaben des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), Online-Datenbank

chemischen Präparaten nicht. Die Entwicklung neuer Wirkungsmechanismen in PSM ist daher ausdrücklich erwünscht. Für die Notwendigkeit, Wälder im Falle einer Bedrohung schützen zu müssen, bedarf es nicht nur spezifischerer, sondern insgesamt weiterer Wirkstoffe und Mittel, unter denen ausgewählt werden kann und die ad-hoc eine hinreichende Wirkung erzielen.

Der vorliegende Beitrag wertet die Daten zum PSM-Einsatz in Wäldern von 2015 bis 2020 aus, die auf den jährlichen Meldungen der Landesministerien an das BMEL basieren. Hierbei werden die Daten aus den Bundesländern zum Landeswald mit der jeweiligen Waldschutzsituation zusammengeführt und die Notwendigkeit von PSM-Anwendungen im Wald diskutiert.

Material und Methoden

Im Erhebungszeitraum 2015 bis 2020 wurde die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (im Auftrag des BMEL) in der Eigentumsart „Staatswald-Land, Landesbetriebe und Anstalten des öffentlichen Rechts“ erhoben, welche in Deutschland 3.337.112 ha Wald (Thünen, 2022) bewirtschaften. Die Meldungen erfolgten über die Landesministerien der Bundesländer für die Wirkungsbereiche Fungizide, Herbizide, Rodentizide und Insektizide. Einen Ausnahmefall bildete die Anwendung von Insektiziden mit Luftfahrzeugen, die über alle Waldbesitzarten gemeldet wurde. Diese Einsätze werden größtenteils über die Waldschutz-Dienststellen der Länder koordiniert, organisiert und durchgeführt. Die jährliche Abfrage erfolgte über einheitliche Formulare und war auf den genannten Erhebungszeitraum begrenzt.

Des Weiteren waren die vorliegenden Daten der Länder bereits aggregiert, was eine nachfolgend differenzierte Ana-

lyse erschwerte. Auch wenn die Meldungen teils über die Minimalanforderungen der Abfrage hinausgingen, musste für die Auswertung der Daten auf Bundesebene der kleinste gemeinsame Nenner betrachtet werden. Eine Auswertung nach Bundesländern war nicht Zielstellung der Datenerhebung.

Die Aussagekraft der hier vorgestellten Daten für die Gesamtwaldfläche Deutschlands ist begrenzt, da laut der vierten Bundeswaldinventur (Thünen, 2022) nur für einen Flächenanteil von 29 % überhaupt Daten vorliegen (Abb. 1). Grund hierfür sind die unterschiedlichen Besitzverhältnisse des Waldes. Zu beachtende Datenschutzvorgaben bei der Erhebung, Verarbeitung und Nutzung von waldbezogenen Daten, z. B. bei Privatbesitz ließen keine landesweiten Angaben für nichtstaatliche Flächen (mit Ausnahme der Luftfahrzeuganwendungen) zu.

Das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) erstellt regelmäßig Berichte über die Menge der PSM und der darin enthaltenen Wirkstoffe, die im Inland abgegeben oder ausgeführt wurden. Darunter befinden sich auch PSM aus dem Parallelhandel. Diese Veröffentlichungen werden wiederkehrend in der gesellschaftlichen Diskussion zum Thema chemischer Pflanzenschutz in Deutschland zitiert. Roßberg et al. (2019) sehen die Gleichsetzung von Absatzzahlen (für PSM und deren Wirkstoffe) mit der tatsächlichen Anwendung von PSM als problematisch an. Die Berichte stellen allgemeine Zahlen zu den Mengen nach Wirkungsbereichen (Herbizide, Insektizide, etc.), ohne Angabe der Kultur (Ackerbau, Zierpflanzen, Forst, etc.) dar. In der Konsequenz sind diese Zahlen nicht für eine Auswertung nutzbar. Von einer Extrapolation der Länderdaten auf die Gesamtwaldfläche, z. B. auf Grundlage der Angaben zum Inlandsabsatz (Verkauf) von PSM, wurde daher abgesehen.

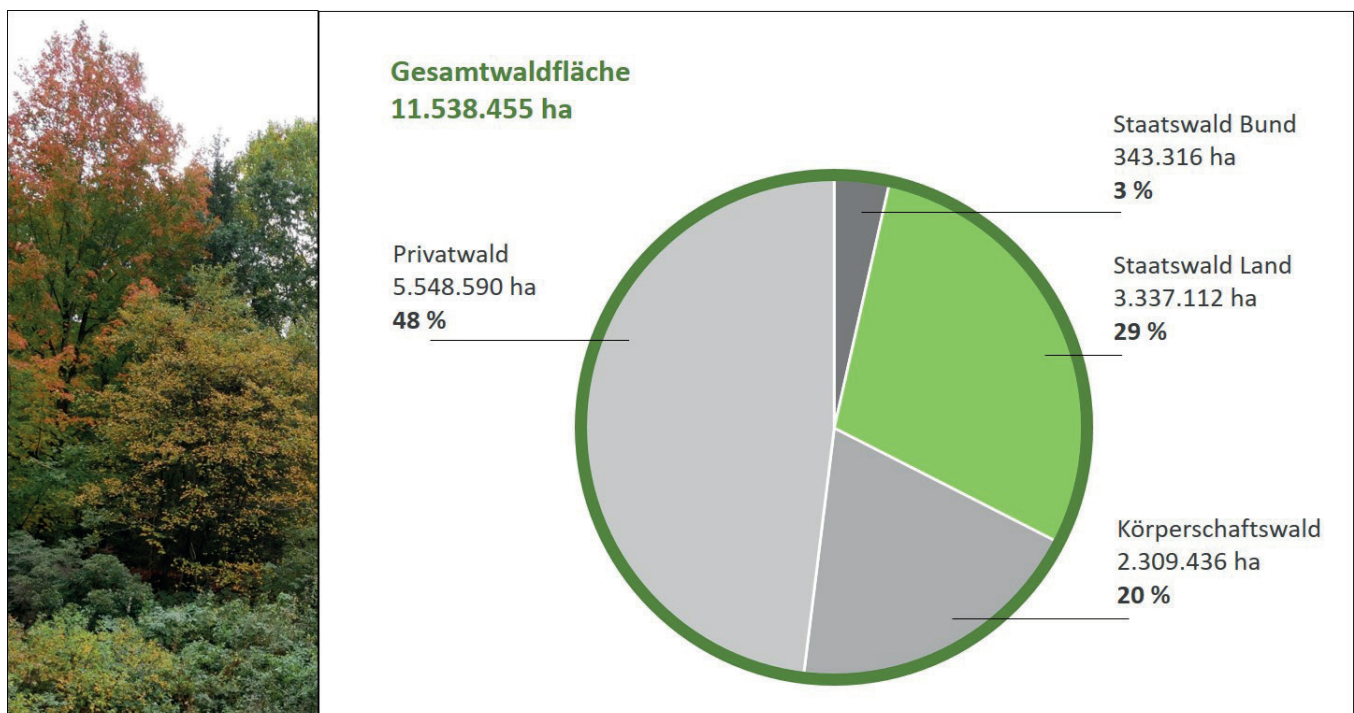


Abb. 1: Waldfläche [ha] in Deutschland nach Eigentumsart (Ergebnisdatenbank BWI 4, Thünen, 2022).

Die abgefragten Daten zu den angewendeten PSM haben in der Regel Waldflächen als Bezugsgröße. Das gilt nicht für die Behandlung liegenden Holzes entlang der Wegränder (Holzpolter), die vornehmlich das behandelte Holzvolumen in Kubikmeter als Bezugsgröße haben. Eine weitere Ausnahme findet sich bei Insektizidbehandlungen von Jungpflanzen in Kulturen gegen den Großen Braunen Rüsselkäfer (*Hylobius abietis* (L.)). Diese Anwendungen werden teilweise auf die Fläche bezogen angegeben, teilweise in Stückzahl behandelter Pflanzen. Rahmenwerte für Pflanzdichten, Standflächen und maximale Reihenabstände der Baumarten sind variabel (Burschel & Huss, 1997), so dass von der behandelten Pflanzenzahl nicht auf eine Flächengröße geschlossen werden kann. In Folge war nur ein unvollständiges Gesamtbild verfügbar. Deshalb wurden die Flächenangaben zu Kulturschäden durch Rüsselkäfer aus der Gesamtdarstellung zu der jährlich behandelten Waldfläche (siehe Tab. 2) herausgenommen und in einem separaten Kapitel, zusammen mit den auf Stückzahl gemeldeten Anwendungen in Kulturen beschrieben. Ebenso wurden die Mengenangaben zu mit Insektiziden behandelten Holzpoltern getrennt in einem Kapitel dargestellt.

Ergebnisse und Diskussion

Überblick der behandelten Waldflächen

Im genannten Erhebungszeitraum wurden rechnerisch insgesamt 13.675 ha Landeswald mit PSM behandelt – dies entspräche einem Anteil von 0,4 %. Eine Summierung der jährlichen Angaben zu einer Gesamtfläche ist jedoch nicht unproblematisch, da ein unbekannter Teil der Anwendungen verschiedener Jahre auch auf denselben Flächen stattgefunden haben kann. Unberücksichtigt in der flächenhaften Betrachtung blieben die eingesetzten Insektizide gegen *H. abietis* (Behandlung teilweise mit Bezug auf die Pflanzenzahl) sowie gegen rinden- und holzbrütende Borkenkäfer (als Holzpolter-/Einzelbaumbehandlung). Die jährlich behandelte Fläche variierte zwischen den Wirkungsbereichen je nach der Waldschutzsituation. Hauptsächlich wurden Herbizide, Insektizide und Rodentizide angewendet (Tab. 2).

Fungizide

Fungizide wurden in den sechs Meldejahren nicht ausgebracht (Tab. 2), selbst nicht in dem Wald zugehörigen Kämpfen und Forstpflanzgärten. Die Anwendungen in (Forst-)Baumschulen waren nicht Teil der Erhebung. Der Eichenmehltau ist wohl die bekannteste Pilzerkrankung an Eiche, verursacht durch Echte Mehltaupilze. Gefördert durch niedrige Luftfeuchtigkeit und intensive Besonnung kommt es im Hochsommer häufig zu einem massiven Befall der Johannestriebe (Butin, 2019). Befallene Eichen leiden unter einer reduzierten Photosyntheseleistung und einer geringeren Speicherung von Reservestoffen (Brännhage & Gross, 2020). Eine Anwendung von Fungiziden wird jedoch nur bei Sämlingen oder Jungpflanzen u. a. in Baumschulen oder in Kulturen in Erwägung gezogen (Butin, 2019).

Herbizide

Auf einer Landeswaldfläche von insgesamt 5.147 ha (knapp 38 % der behandelten Flächen) erfolgten in den Jahren von 2015 bis 2020 Anwendungen von Herbiziden (Tab. 2), die überwiegend auf den Wirkstoffen Glyphosat (78,5 %) oder Fluazifop (21,0 %) basierten. Eine dichte Bodenvegetation kann die Keimung und Entwicklung der natürlichen Verjüngung verzögern oder gar verhindern. Neuanpflanzungen oder Jungwüchse können durch Wurzelkonkurrenz, Verdämmung oder Überschirmung durch die Konkurrenzvegetation in der weiteren Entwicklung stark beeinträchtigt werden. Als problematisch werden u. a. Brombeere, Land-Reitgras und Adlerfarn angesehen. Neben mechanischen Verfahren besteht daher im Rahmen der Konkurrenzsteuerung und der Jungwuchspflege auf Verjüngungsflächen, Kahlflächen oder unter Altholz die Möglichkeit eines Einsatzes mit Herbiziden (Berendes, 2002). Ebenso breiten sich im Wald zunehmend gebietsfremde Pflanzenarten aus, die die einheimische Flora zurückdrängen und die Gesundheit von Mensch und Wildtier beeinträchtigen können. Eine Etablierung und Ausbreitung solcher invasiven Neophyten (z. B. Spätblühende Traubenkirsche, Riesen-Bärenklau) wird in Wäldern ebenfalls mit der Ausbringung von Herbiziden versucht zu begrenzen.

Tab. 2: Umfang der mit Pflanzenschutzmitteln behandelten Waldfläche im Landeswald von 2015 bis 2020.

Jahr	Summe [ha]	Anteil ¹ [%]	Fungizide [ha]	Herbizide [ha]	Insektizide* [ha]	Rodentizide [ha]
2015	4.714	0,14	0	832	1.392	2.490
2016	2.745	0,08	0	1.360	612	773
2017	1.857	0,06	0	1.054	6	797
2018	935	0,03	0	569	46	320
2019	1.834	0,05	0	447	513	874
2020	1.590	0,05	0	885	88	617
Summe²	13.675	0,41	0	5.147	2.657	5.871

¹Bezugsfläche Staatswald-Land: 3.337.112 ha (nach Thünen, 2022), *umfasst flächige Anwendungen mit Bodengeräten, hand- und rückentragbaren Pflanzenschutzgeräten sowie Luftfahrzeugen, nicht enthalten sind alle Anwendungen gegen *Hylobius abietis* sowie Holzpolterbehandlungen

²Die Summe der Jahreswerte kann eine (unbekannte) Anzahl an Flächen enthalten, die über die Jahre mehrfach behandelt wurden. Insofern ist die tatsächliche Flächensumme vermutlich geringer.

Rodentizide

Ein Einsatz von Rodentiziden erfolgte von 2015 bis 2020 auf insgesamt 5.871 ha im Landeswald (Tab. 2). Diese werden im Wald verdeckt ausgebracht, z. B. in geeigneten Köderstationen. Besonders nach Sturmereignissen und Borkenkäferkalamitäten bieten dichte Gras- und Kräuterdecken, auf den entstandenen rasch vergasenden Freiflächen sowie den verlichteten Beständen, ein günstiges Habitat für pflanzenfressende Mäuse (LWF, 2023a). Betroffen sind insbesondere neu angepflanzte junge Laubbäume (Burschel & Huss, 1997; Bartsch et al., 2020; LWF, 2023a). Mäuse können durch ihren Samen- und Keimlingsverzehr sowie das Benagen junger Forstpflanzen die Verjüngung des Waldes stark beeinflussen und große Schäden verursachen (Altenkirch et al., 2002). Begünstigt durch den milden Winter 2014/2015 und den trockenen Sommer 2015 waren auf einzelnen Waldumbau- und Erstaufforstungsflächen Gegenmaßnahmen erforderlich (Tab. 2). Ab 2018 führte die kalamitätsbedingte Krisensituation bei den Borkenkäfern zum Verlust massiver Waldflächen. Auf diesen umfangreichen Freiflächen, die möglichst auch mit Laubhölzern aufgeforstet wurden, traten nun erhebliche Gefährdungen durch Mäuse auf. Ausschließlich die zu den Wühlmausarten zählenden Kurzschwanzmäuse (Erd-, Rötel- und Feldmaus sowie Schermaus) verursachen hierbei weitreichende Schäden (AFZ-Der Wald¹, Ausgabe 7 der Jahre 2016, 2017, 2018, 2019 sowie 11/2020, 9/2021).

Insektizide

Flächige Anwendungen mit Insektiziden summierten sich im Erfassungszeitraum auf 2.657 ha im Landeswald (Tab. 2). Mit einem Anteil von 94 % (= 2.487 ha) erfolgte die Ausbringung der PSM im Kronenraum der Wälder mit Hubschrauber, nur zu 6 % (= 170 ha) mit hand- und rückentragbaren Pflanzenschutzgeräten. Die gemeldeten Zahlen zeigen deutlich, dass der flächige Einsatz von Insektiziden auf wenige, existenziell gefährdende Anwendungen im Landeswald begrenzt ist.

¹ <https://www.digitalmagazin.de/marken/afz-derwald>

Waldbedrohende Massenvermehrungen von Schadinsekten stellen den Schwerpunkt bei der Anwendung von Insektiziden dar. Die oft umfangreichen Borkenkäferschäden können nicht flächig, sondern nur an liegendem Holz behandelt werden, bei Kulturproblemen mit Rüsselkäfern werden gezielt die Einzelpflanzen behandelt. Da großflächige Massenvermehrungen gefährlicher Schmetterlingsarten relativ selten auftreten, sind Hubschraubereinsätze in Deutschland ein nicht regelmäßig genutztes Verfahren (Abb. 2). Die Regulierung freifressender Schmetterlingsraupen in den Baumkronen mittels Luftfahrzeug (vgl. Lemme et al., 2025; Otto & Bandau, 2025) stellt vielmehr eine auf den einzelnen Waldbestand bezogene Ultima Ratio (Möller et al., 2018) dar, wenn über aufwändige Monitoringverfahren eine existentielle Gefährdung als sicher gilt. Bezogen auf den Umfang der in den Jahren 2015 bis 2020 mit Luftfahrzeugen ausgebrachten Insektizide zeigt, dass der Großteil der Flächenbehandlungen sich gegen Schmetterlingsraupen richtete (Tab. 3). Diese Applikationstechnik ermöglicht, die in der Baumkrone an Blättern oder Nadeln fressenden Insekten direkt zu erreichen und effektiv zu regulieren. Durch die Luftfahrzeugtechnik ist eine exakte, gleichmäßige Verteilung des Insektizids gewährleistet, die mit bodengestützten Geräten nicht erzielt werden kann (Altenkirch et al., 2002).

Im Meldezeitraum traten als Hauptschädiger in Kiefernbeständen die Schmetterlingslarven der Nonne (in 2015, 2020) und des Kiefernspinners (in 2015) sowie die Afterraupen der Kiefernbuschhornblattwespen (in 2016) waldfächenbedrohend auf (AFZ-Der Wald, Ausgabe 7 der Jahre 2016, 2017, 2018, 2019 sowie 11/2020, 9/2021). Obwohl die Baumart Kiefer grundsätzlich eine gute Regenerationsfähigkeit nach Nadelfraß besitzt, verhindert besonders frühzeitiger Kahlfraß im Jahr, der ebenso die Maitriebe und Knospen betreffen kann, einen Wiederaustrieb. Zudem ist eine nachfolgend feuchte und kühle Witterung, die einen Befall mit Sekundärschädlingen eindämmt, Voraussetzung für eine Regeneration, die aber in Zeiten des Klimawandels eher seltener werden wird. In Folge ausgedehnter Hitze-/Dürreperioden kann die Mortalitätsrate betroffener Kiefern nach einem Kahlfraß stark ansteigen (Wenk & Möller, 2013; Habermann, 2017).

Tab. 3: Umfang der mit Insektiziden (mittels Luftfahrzeug, LFZ) behandelten Waldfläche im Landeswald bzw. auf der Gesamtwaldfläche (alle Waldbesitzarten) in den Jahren 2015 bis 2020.

Jahr	behandelter Landeswald		behandelter Gesamtwald		nur per LFZ regulierbare Schadinsekten*
	Fläche [ha]	Anteil ¹ [%]	Fläche [ha]	Anteil ² [%]	
2015	1.381	0,04	2.072	0,02	A, B, E, F
2016	610	0,02	4.716	0,04	C, F
2017	0	0	61	0,001	D
2018	0	0	2.354	0,02	D
2019	408	0,01	7.337	0,06	D
2020	88	0,003	3.171	0,03	A, D
Summe	2.487	0,08	19.711	0,17	

¹Bezugsfläche Staatswald-Land: 3.337.112 ha (Thünen, 2022), ²Bezugsfläche über alle Besitzarten: 11.538.455 ha (Thünen, 2022), *verursachende Schadinsekten: Nonne (A), Kiefernspinner (B), Kiefernbuschhornblattwespen (C), Schwammspinner (D), Eichenfraßgesellschaft wie Frostspanner-Arten, Grüner Eichenwickler (E), Eichenprozessionsspinner (F)

In Eichen- und Eichenmischwäldern erforderte das Gradationsgeschehen des Schwammspinners (in 2017 bis 2020), der Eichenfraßgesellschaft (in 2015) und des Eichenprozessionsspinners (in 2015, 2016) in einigen Befallsgebieten den Einsatz von Insektiziden nach § 18 PflSchG (AFZ-Der Wald, Ausgabe 7 der Jahre 2016, 2017, 2018, 2019 sowie 11/2020, 9/2021). Generell besitzen Eichen eine sehr gute Regenerationsfähigkeit, so dass normalerweise unmittelbar nach einem Laubverlust eine Wiederbelaubung über ruhende Knospen einsetzt. Starke Blattverluste und der zusätzliche Befall der Regenerationstriebe (auch der Johannestriebe als regulärer zweiter Blattaustrieb im Juni eines Jahres) mit Eichenmehltau schwächen den Baum durch den Verbrauch von Reservestoffen und erhöhen die Anfälligkeit für Trockenheit und Sekundärschädlingbefall. Deshalb führen jährlich wiederkehrende Belastungen durch diese und weitere Stressfaktoren zu einer stark eingeschränkten Frühholzbildung und in Folge zu einer ungenügenden Wasserversorgung, die letztlich ein allmähliches Absterben betroffener Eichen verursacht (Delb, 2012; Wolf & Petercord, 2012; LWF, 2020). Starker Nadel- und Blattfraß der Raupen ist in diesen Szenarien meist der Auslöser für das weitere Schadgeschehen bis hin zum Absterben der Bäume. Über gezielte Behandlungsmaßnahmen wird der Blattfraß gestoppt, die Folgeschäden verringert und damit wertvolle Waldlebensräume erhalten (Abb. 2). EU-Verordnungen, nationales Pflanzenschutzrecht und der Nationale Aktionsplan für Pflanzenschutz fordern, dass je nach betroffener Baumart und Schadinsekt zugelassene Insektizide mit der größtmöglichen Selektivität und einer geringen Persistenz ausgewählt werden. Dies setzt jedoch eine möglichst umfangreiche Verfügbarkeit von Pflanzenschutzmitteln verschiedener Wirkstoffgruppen voraus, die seit einigen Jahren im Forst nicht mehr gegeben und in Folge nicht mehr

erfüllbar ist. Alleinig verblieben sind die Wirkstoffe *Bacillus thuringiensis* ssp. *kurstaki* und *aizawai* (biologisch), Tebufenozid (wachstumsregulierend) und lambda-Cyhalothrin (Kontaktwirkung). Bei Vorhandensein einer ausreichenden Blattmasse für die Applikation eines Präparates mit Fraßwirkung (z. B. in Eichenwäldern) und sehr hohen Larvendichten eines Schädling kann der Einsatz eines *B.t.*-Präparates bzw. Wachstumsreglers erfolgen. Die Schaderreger müssen bei solchen Mitteln eine gewisse Menge behandelter Blattmasse fressen, bevor der Fraß und damit ein weiterer Schaden gestoppt werden kann. Ist dagegen nur eine geringe Nadelmasse (z. B. in Kiefernwäldern) vorhanden, bei ebenfalls sehr hohen Larvendichten und einer Vorschädigung der Waldbestände, wird oftmals der Einsatz eines schneller wirkenden Kontaktinsektizids (als „Sofortstopp“) notwendig.

Insektizide gegen den Kulturschädling *Hylobius abietis*

Ein bedeutender Schädling in Nadelholzkulturen ist der Große Braune Rüsselkäfer (*H. abietis*), der auf entstandenen Freiflächen, z. B. nach Windwurf oder Borkenkäferschäden, überwiegend an frisch gepflanzten Koniferen zum Problem werden kann. Durch geringen Fraß der Käfer an Rinde und Kambium werden Jungpflanzen geschwächt und für Trockenheit oder andere Schadfaktoren prädisponiert, stärkerer und anhaltender Fraß führt bei Ringelung meist zum Absterben der kleinen Pflanzen (Altenkirch et al., 2002). Bei andauerndem Borkenkäferbefall sind fortlaufend frische Wurzelstöcke als Brutmaterial vorhanden, so dass Kulturen über einen längeren Zeitraum (bis zu ca. 5 Jahre) gefährdet sind. Der Regenerationsfraß der Altkäfer im Frühjahr sowie der Reifungsfraß

behandelte Waldfläche [ha]

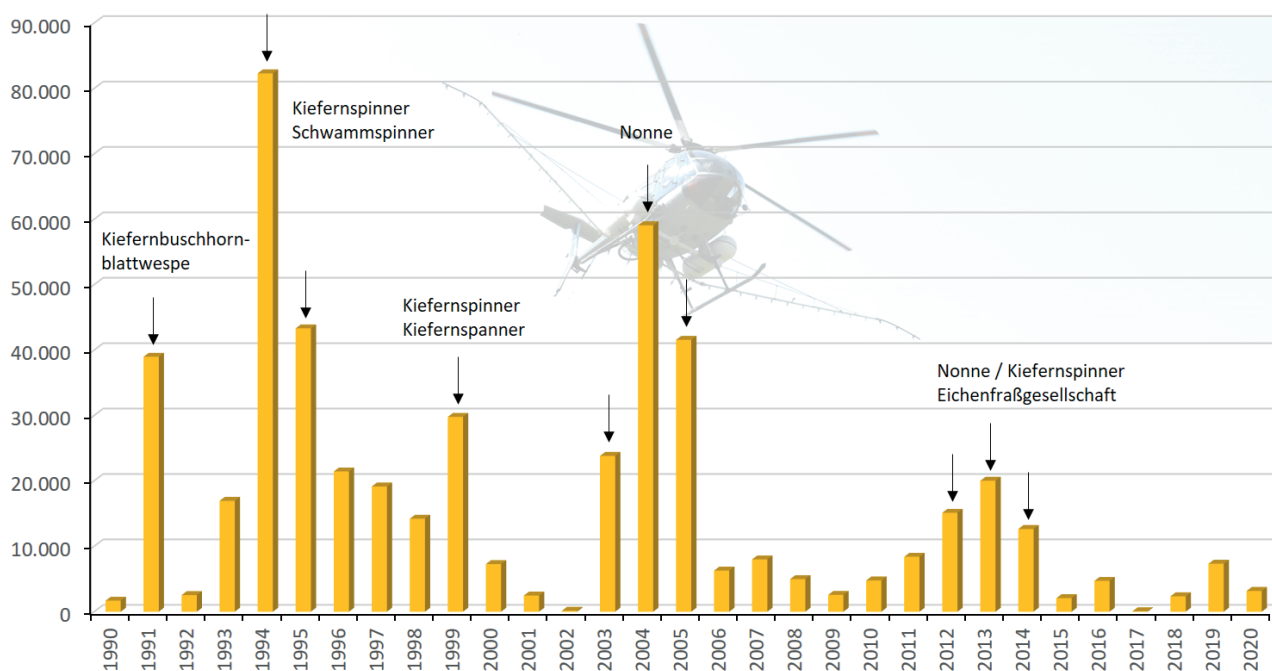


Abb. 2: Ausbringung von Insektiziden mit Luftfahrzeugen in Wäldern für den Zeitraum von 1990 bis 2020 mit Angabe der verursachenden nadel-/blattfressenden Schadinsekten für Spitzenwerte (Bezugsfläche ist die Gesamtwaldfläche in Deutschland, Datenquelle sind Angaben der Waldschutzdienststellen der Länder).

der Jungkäfer im Spätsommer bilden die Schwerpunkte der Fraßaktivität. Nach Triebenbacher et al. (2024) meldeten die Bundesländer im Zeitraum von 2012 bis 2023 eine Schadfläche von im Mittel ca. 710 ha/Jahr (im Kalamitätsjahr 2020 insgesamt fast 1.600 ha/Jahr) und einem geschätzten Schaden von 2 Mio. Euro.

Waldschutzmaßnahmen zur Vermeidung von Fraß an Jungpflanzen sind auf Verjüngungs- und Kulturflächen in unmittelbarer Nähe von Kahlflächen mit bruttauglichen Nadelbaumstümpfen begründet. Eine waldbauliche Maßnahme kann dann das Einhalten einer mehrjährigen Schlagruhe von mindestens 3 Jahren sein, wenn kein neues Brutmaterial auf den Kahlflächen entsteht, eine Bodenbearbeitung auf der Wiederaufforstung nicht durchführbar und wenig Konkurrenzvegetation zu erwarten ist (Altenkirch et al., 2002; Pfister et al., 2004). Durch den Anbau von Laubholz (je nach Standort) und durch die Förderung von Vorwäldern mit geeigneten Pionierbaumarten kann der Befallsdruck weiter verringert werden (Triebenbacher et al., 2024). Ist eine Neuaufforstung mit Koniferen vorgesehen, dann kann vor der Pflanzung bei bestehender Gefährdung eine vorbeugende Tauchbehandlung der Forstpflanzen mit einem zugelassenen Präparat oder nach der Pflanzung bei bereits festgestelltem Schaden eine kurative Spritzbehandlung der Einzelpflanzen mittels Gabel- oder Zangendüse auf der Kulturfläche erfolgen (LWF, 2023b). Im genannten Erhebungszeitraum wurden insgesamt ca. 824 Tsd. Jungpflanzen mittels Tauchung behandelt, für das Spritzverfahren wurden Angaben bezogen auf die behandelte Pflanzenzahl (ca. 1,1 Mio. Stück) sowie zusätzlich auf die betroffene Kulturfläche (ca. 2.680 ha) gemeldet (Tab. 4).

Der Große Braune Rüsselkäfer war in den Berichten zur Waldschutzsituation (AFZ-Der Wald, Ausgabe 7/2019, 11/2020, 9/2021) zwischen 2018 und 2020 zunächst relativ wenig in Erscheinung getreten. Vor dem Hintergrund kalamitätsbedingt großer Aufforstungsflächen in den Folgejahren ist jedoch davon auszugehen, dass diese Art und weitere Kulturschädlinge bei Nadelbäumen an Bedeutung gewinnen werden. Dieser Trend ist gegen Ende des betrachteten Zeitraums ab 2018 für die Gesamtanzahl an behandelten Jungpflanzen bereits sichtbar (Tab. 4).

Mengenangaben zu mit Insektiziden behandelten Holzpoltern

Die Rohstoffversorgung ist mit der nachhaltigen und umweltschonenden Produktion von Holz eine der wichtigsten Waldfunktionen in Deutschlands Wäldern. Kaum ein anderer Rohstoff besitzt so vielfältige Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten wie Holz (Mantau, 2023). Das Statistische Bundesamt liefert jährlich eine Holzeinschlagsstatistik zum Rohholzaufkommen in Deutschland und in den jeweiligen Bundesländern sowie nach Waldeigentumsarten (siehe Destatis, 2024a). Im Erhebungszeitraum 2015 bis 2020 wurden insgesamt ca. 127,3 Mio. Festmeter ohne Rinde im Landeswald geerntet (Tab. 5). Der Holzeinschlag stieg vor allem in der Holzartengruppe „Fichte/Tanne/Douglasie und sonstige Nadelhölzer“ (für den genannten Zeitraum: 77,9 Mio. fm o. R.) stark an, gefolgt von den Holzartengruppen „Kiefer/Lärche“ (ca. 22,3 Mio. fm o. R.) und „Buche und sonstige Laubhölzer“ (ca. 23 Mio. fm o. R.). Mit ca. 4 Mio. fm o. R. war die Eiche im Erhebungszeitraum am Holzeinschlag beteiligt. Die Zwangsnutzungen haben sich ab 2018 deutlich erhöht (Trend anhaltend). Mehr als 40 % des eingeschlagenen Holzes wurde durch Insekten und/oder Sturmereignisse verursacht (Tab. 5), (siehe Destatis, 2024b).

Eine latente Gefährdung für die Wald- und Holzwirtschaft geht von den rindenbrütenden Borkenkäfern (u. a. Buchdrucker, Kupferstecher), vor allem an der Baumart Fichte, aber auch Kiefer aus. Diese Arten sind natürliche Bestandteile von Waldökosystemen und erfüllen wichtige Funktionen bei der Rückführung der im Wald wachsenden Gehölze in den Stoffkreislauf (Wermelinger, 2022). Unter günstigen Bedingungen können sich diese Käferarten sehr schnell so stark vermehren, dass sie nicht mehr nur geschwächte, absterbende Gehölze besiedeln, sondern auch gesunde Bäume als Bruthabitat nutzen. Ein stammumfassender Befall führt zum Absterben der Bäume und in kalamitätsbedingten Krisensituationen zum Verlust massiver Waldflächen, wie es ab 2018 (und über 2020 hinaus) im Bundesgebiet vielerorts zu beobachten war (Niesar et al., 2018). Präventive Maßnahmen beinhalten vor allem eine sorgfältige Überwachung gefährdeter Waldbestände und eine konsequente, rechtzeitige Aufarbeitung von bruttauglichem oder befallendem Holz auf der Fläche (Saubere Waldwirtschaft). Können z. B. besiedelte Holzpolter (ver-

Tab. 4: Umfang der in den Jahren 2015 bis 2020 durchgeführten Behandlungen gegen *Hylobius abietis* (L.) auf Verjüngungs-/Kulturflächen im Landeswald.

Jahr	Gesamtanzahl Jungpflanzen [Anzahl Pflanzen]	Tauchverfahren vor Pflanzung [Anzahl Pflanzen]	Spritzverfahren nach Pflanzung [Anzahl Pflanzen]	Spritzverfahren nach Pflanzung [Fläche in ha]
2015	297.930	83.730	214.200	369
2016	296.768	296.768	0	505
2017	315.044	212.959	102.085	439
2018	42.699	30.830	11.869	267
2019	294.000	173.000	121.000	343
2020	718.605	26.970	691.635	757
Summe	1.965.046	824.257	1.140.789	2.680

Tab. 5: Umfang des zwischen 2015 und 2020 liegend behandelten Holzeinschlags mit Insektiziden im Landeswald, bezogen auf den Gesamtholzeinschlag.

Jahr	Holzeinschlag					
	Gesamt ¹ [fm o. R.]	Ursache a-/biotisch ² [fm o. R.]	behandelt [fm o. R.]	Anteil [%]	mit Spritz- applikation [fm o. R.]	mit Storanet [fm o. R.]
2015	18.853.500	4.533.600	346.668	1,8	346.605	63
2016	18.111.300	2.326.200	310.885	1,7	309.559	1.326
2017	17.863.800	3.202.800	350.069	2,0	349.914	155
2018	22.362.700	12.565.000	1.993.485	8,9	1.990.785	2.700
2019	23.640.300	16.615.400	3.289.239	13,9	3.271.628	17.611
2020	26.519.900	19.855.000	2.497.594	9,4	2.453.749	43.845
Σ	127.351.500	59.098.000	8.787.940	6,9	8.722.240	65.700

¹Gesamteinschlag – Angaben vom Statistischen Bundesamt, Fachserie 3 Reihe 3.3.1 (2015 bis 2020)

²durch Schäden verursachter Gesamteinschlag (Wind/Sturm, Schnee/Duft, Insekten, Trockenheit, sonstige Ursachen) – Angaben vom Statistischen Bundesamt, Fachserie 3 Reihe 3.3.1 (2015 bis 2020)

schiedener Rundholzsortimente) nicht rechtzeitig aus dem Wald abtransportiert werden, besteht die Möglichkeit der Behandlung mit einem zugelassenen Insektizid als Vor-Ausflug-Behandlung (d. h. vor dem Ausflug der adulten Käfer), welches die mit Abstand häufigste und notwendigste Behandlungsmethode an liegendem Holz darstellt (Schutz der umliegenden Bestände vor Befall durch ausfliegende Käfer = „Objektschutz“). Weitere chemische Anwendungen sind bei festgestellter Gefährdung gegen rinden- und holzbrütende Borkenkäfer (Schutz des unbesiedelten Holzes vor Befall = „Produktschutz“) sowie nach Befallsbeginn gegen holzbrütende Borkenkäfer möglich. Beide letztgenannten Anwendungstypen werden deutlich seltener angewandt. Neben der Spritzbehandlung konnten bis zum 31.01.2022 (Aufbrauchfrist) Holzpolter alternativ auch mit dem Insektizidnetz Storanet® geschützt werden (Huber et al., 2020). Storanet® besaß für den Zeitraum vom 30.06.2014 bis 31.07.2020 eine Zulassung nach Pflanzenschutzrecht in Deutschland und wurde im Wald zum Schutz frischer, unbesiedelter Holzpolter gegen Borkenkäfer eingesetzt.

Da die Spritzbehandlung liegenden Holzes (Holzpolter) entlang von Waldwegen nicht sinnvoll auf die Waldfläche umgerechnet werden kann, beziehen sich Angaben zu PSM-Mengen hier immer auf Festmeter (fm). Bezogen auf den Gesamteinschlag (über alle Baumarten) im Landeswald (2015–2020: 127.351.500 fm o. R.) wurden im Erfassungszeitraum insgesamt 8.787.940 fm o. R. (6,9 %) mit Insektiziden zum Schutz des Rundholzes gegen Borkenkäfer behandelt. Davon erhielten insgesamt 99 % (8.722.240 fm o. R.) der im Wald gelagerten Hölzer eine Spritzbehandlung und 1,0 % (65.700 fm o. R.) einen Schutz über das imprägnierte Kunststoffnetz Storanet® (Tab. 5). Die Datenauswertung verdeutlichte, die ab 2018 infolge extremer Hitze und Dürre auftretende Schwächung und Devitalisierung der Waldbaumarten (insbesondere der Fichte und Kiefer), die gleichzeitig zu einer Begünstigung vieler Schaderregerarten (vor allem rindenbrütender Borkenkäfer) führte und sich in der Anwendung von Insektiziden an liegendem Holz widerspiegelte.

Fazit

Die vorliegende Datenauswertung verdeutlicht, dass der verfügbare Erhebungszeitraum von 2015 bis 2020 nur ein sehr kurzer Betrachtungszeitraum ist, um eine Beurteilung von PSM-Anwendungen im Wald zu ermöglichen. Langjährige Datenreihen würden Schwankungen zwischen den Jahren besser hervorheben und den allgemeinen Trend eines rückläufigen Einsatzes von PSM in Wäldern erkennbar machen. Insbesondere die Tatsache, dass in vielen Jahren ohne bedrohlichen bis existenzgefährdenden Schaderregerbefall keine Anwendung von PSM in Wäldern erfolgte, während z. B. bei Massenvermehrungen von Insekten ad-hoc höhere Mengen an PSM benötigt wurden.

Aktuell sind die Wälder häufigeren und intensiveren Störungen ausgesetzt, die stark vom Klima beeinflusst werden (Vacek et al., 2023). Insbesondere Trockenheit verringert die Vitalität der Bäume und erhöht gleichzeitig ihre Anfälligkeit für Schädlingsbefall und Krankheitserreger. Erhebliche Störungen in Waldbeständen sind die Folge, wenn Dürre und Hitze über einen längeren Zeitraum anhält, wie bei der Fichte, die von zahlreichen Borkenkäfern (insbesondere *Ips typographus* (L.)) befallen wird (Evans, 2008; Seidl et al., 2016; Buras et al., 2020). In der Folge sind massive Flächenverluste an Wald zu beklagen und die Waldwiederbegründungsflächen sind bereits jetzt so groß, dass Aufforstung und Pflege kaum leistbar sind. Der Waldumbau benötigt Zeit, denn erst mit klimaangepassten Wald(um)bau-Konzepten, einschließlich klimafitter Baumarten können aus störungsanfälligen Waldökosystemen resiliente Wälder umgestaltet werden. Konsequenter Waldschutz, auch mit Hilfe von Pflanzenschutzmitteln, kann die notwendige Zeit verschaffen, um den vorhandenen Wald in die Zukunft zu überführen. Waldschutzmaßnahmen mit Pflanzenschutzmitteln beschränken sich daher immer auf ein Mindestmaß an notwendigen Anwendungen, die mit den vorliegenden Daten für den Landeswald gestützt werden. Für einen großen Waldanteil von 48 % (5.548.590 ha) konnten keine Aussagen zum Einsatz von PSM generiert werden. Pri-

vater Waldbesitz unterliegt z. T. anderen Herausforderungen. Rund die Hälfte des Privatwaldes entfällt auf Privatpersonen oder Betriebe, die weniger als 20 ha bewirtschaften, sog. Kleinstprivatwald (Thünen, 2022). Die Waldstruktur, Baumartenzusammensetzung und der Pflegezustand variieren, ebenso ist die Prioritätensetzung bei den Ökosystemleistungen (Waldfunktionen) auf der Waldfläche unterschiedlich. Politische Vorgaben sowie gesetzliche Regelungen, Auflagen und Anwendungsbestimmungen im Rahmen des Pflanzenschutzes erschweren zusätzlich die Umsetzbarkeit von chemischen Waldschutzmaßnahmen oder diese unterbleiben im Zweifelsfall ganz. Grundsätzlich ist die Verfügbarkeit von PSM, die für die Anwendung in Wäldern genehmigt bzw. zugelassen sind, kritisch gering. Viele Forstbetriebe können ihrer Pflicht gemäß § 1 Bundeswaldgesetz (BWaldG) in vielen Fällen nur noch eingeschränkt nachkommen. Während für die wenig verbliebenden Präparate wichtiger Indikationen (wie gegen Borkenkäfer) nur noch eine Wirkstoffgruppe vorhanden ist, gibt es für viele andere Schaderreger (z. B. Prachtkäfer) kein zugelassenes PSM. Im ersteren Fall sind die Forstbetriebe gebunden, das einzig verbliebende, jedoch breitenwirksame Mittel bei einer Gefährdungssituation zu nutzen. Für eine gezielte Mittelwahl (bei größtmöglicher Selektivität und geringer Persistenz) und ein ausreichendes Resistenzmanagement sollten Pflanzenschutzmittel in den jeweiligen Mittelgruppen (z. B. Insektizide) mit Wirkstoffen aus mindestens drei verschiedenen Wirkstoffklassen zur Verfügung stehen (BMEL, 2019). Diese Zielquote wurde bis heute nicht erreicht.

Obwohl die Behandlung liegenden Holzes gegen Borkenkäfer und die Regulierung freifressender Schmetterlings- und Blattwespenlarven mittels Hubschrauber die letzten verbliebenden größeren Einsatzbereiche für Pflanzenschutzanwendungen im Wald sind, verlieren diese sehr wirksamen Waldschutzmaßnahmen an Akzeptanz bei Akteuren in der Naturschutzpolitik sowie in der Öffentlichkeit. Als Folge dessen werden immer weniger Pflanzenschutzmaßnahmen vorbereitet, beantragt und letztendlich auch genehmigt. Gleichzeitig steigt die Bereitschaft bei Akteuren in der Naturschutzpolitik großflächige Waldschäden insbesondere bei einschichtigen Nadelholzwäldern (der Fichte, Kiefer) zu tolerieren. In Zeiten des Klimawandels ist jedoch die Erhaltung jedes Waldökosystems, von einschichtigen Nadelholzwäldern bis zu mehrschichtigen Mischwäldern, wichtig. Im Bundeswaldgesetz (§ 1 BWaldG) ist u. a. festgelegt, dass der Wald aufgrund seiner Nutz-, Schutz- (Boden-, Lawinen-, Immissions- u. Klimaschutzfunktion) und Erholungsfunktion zu erhalten sowie seine ordnungsgemäße Bewirtschaftung nachhaltig zu sichern ist. Eine einseitige Gewichtung der Auswirkungen von chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen auf den Naturhaushalt ist hinsichtlich der mit dem Klimawandel auftretenden verheerenden Folgen für den Wald als Lebensraum und den damit verbundenen gesellschaftlichen Herausforderungen nicht gerechtfertigt.

Erklärung zu Interessenskonflikten

Die Autoren/die Autorinnen erklären, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

Literatur

- Altenkirch, W., C. Majunke, B. Ohnesorge, 2002:** Waldschutz auf ökologischer Grundlage. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 434 S.
- Bartsch, N., B. von Lüpke, E. Röhrig, 2020:** Waldbau auf ökologischer Grundlage, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 676 S.
- Berendes, K.-H., 2002:** Forstwirtschaft. In: Zwerger, P., H.U. Ammon (Hrsg.) *Unkraut: Ökologie und Bekämpfung*. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 348–350.
- BMEL, 2019:** Jahresbericht 2018, Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. BMEL, Bonn, 68 S.
- BMEL, 2021:** Waldbericht der Bundesregierung 2021. BMEL, Bonn, 84 S.
- BMEL, 2024:** Der Wald in Deutschland, Ausgewählte Ergebnisse der vierten Bundeswaldinventur, Oktober 2024, Druck Kern GmbH, Bexbach, 58 S.
- Brännhage, J., A. Gross, 2020:** Eichenmehltau. *Erysiphe alphitoides* (Griffon & Maubl.) U. Braun & S. Takam. (Familie: Erysiphaceae). *Erysiphe hypophylla* (Nevod.) U. Braun & Cunningham. (Familie: Erysiphaceae). *Erysiphe quercicola* S. Takam. & U. Braun (Familie: Erysiphaceae). Factsheet Neomyceten. Birmensdorf: Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, URL: <https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl:23176>.
- Bublitz, T., 2016:** Monitoring der Eichenschädlinge. FVA-einblick 1/2016, 15–17.
- Buras, A., Rammig, A., Zang, C.S., 2020:** Quantifying impacts of the 2018 drought on European ecosystems in comparison to 2003. *Biogeosciences* 17, 1655–1672, DOI: 10.5194/bg-17-1655-2020.
- Burschel, P., J. Huss, 1997:** Grundriss des Waldbaus. Ein Leitfaden für Studium und Praxis. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin – Wien, 487 S.
- Butin, H., 2019:** Krankheiten der Wald- und Parkbäume, 2. aktualisierte Auflage, Eugen Ulmer KG, Stuttgart, 302 S.
- Delb, H., 2012:** Eichenschädlinge im Klimawandel in Südwestdeutschland. FVA-einblick 2/2012, 11–14.
- Delb, H., 2016:** Monitoring und Prognose der Schadorganismen im Wald: eine Kernaufgabe des Waldschutzes. FVA-einblick 1/2016, 4–9.
- Evans, H., 2008:** Increasing global trade and climate change: co-factors increasing the international movement and establishment of forest pests. In: FAO, *Climate-Related Transboundary Pests and Diseases*. FAO, Rome, pp. 24–26. High Level Conference on World Food Security Background Paper HLC/08/BAK/4.
- FSC, 2024:** Deutschland- Forest Stewardship Council, URL: <https://www.fsc-deutschland.de/wald/zahlen-und-fakten/>.
- Lemme, H., E. Geier, W.A. Hahn, 2025:** Luftgestützte Insektizid-Behandlungen gegen phyllophage Forstschadinsekten

- in Bayern seit dem Ende des Zweiten Weltkriegs. *Journal für Kulturpflanzen* **77** (2), 123–136, DOI: 10.5073/JfK.2025.02.11.
- Habermann, M., 2017:** Auswirkungen der Anwendungsbestimmungen für die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln mit Luftfahrzeugen im Wald. *J. Kulturpflanzen* **69**, 249–254. DOI: 10.1399/JfK.2017.08.01.
- Huber, S., P. Eichel, K. Bork, C. Triebenbacher, 2020:** Pflanzenschutzmittelsituation im Forst spitzt sich zu! – Blickpunkt Waldschutz **9/2020**, URL: <https://www.lwf.bayern.de/waldschutz/pflanzenschutz/249908/index.php>.
- Langer, G., 2024:** Einfluss des Klimawandels auf pilzliche und komplexe Erkrankung von Waldbäumen. In: Sachverständigenbüro Baum 4 GmbH (Hrsg.), 9. Fachtagung der Baumkontrolleure, 13.–14. Mai 2024 in Wiesbaden – Tagungsband. Patzer-Verlag, Berlin, Hannover, S. 34–52.
- Lobinger, G., K. Burkardt, H. Delb, A. Hahn, C. Hein, R. Hurling, M. Rohde, A. Rommerskirchen, D. Wonsack, 2024:** Eichenprachtkäfer und Eichensterben. *AFZ-Der Wald* **7/2024**, 38–41.
- LWF, 2020:** Redaktion waldwissen.net –: Kahlfraß eindämmen – Eichen retten. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, URL: <http://www.waldwissen.net>.
- LWF, 2023a:** Mäuse in Forstkulturen – Merkblatt 24, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Ortmaier-Druck GmbH, Frontenhausen.
- LWF, 2023b:** Behandlung von Rüsselkäferbefall in Kulturen – Merkblatt 44, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Ortmaier Druck GmbH, Frontenhausen.
- Mantau, U., 2023:** Holzrohstoffbilanzierung, Kreislaufwirtschaft und Kaskadennutzung – 20 Jahre Rohstoffmonitoring Holz. Gülzow, FNR, FKZ: 22015918, 126 S., ISBN: 978-3-942147-46-0.
- Möller, K., 2014:** Klimawandel und integrierter Waldschutz – Risikomanagement mit mehr Unbekannten und weniger Möglichkeiten. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe **55**, 59–65.
- Möller, K., F. Pastowski, K. Niedziolka, 2018:** IT-Lösung für den PSM-Einsatz per Hubschrauber. *AfZ-Der Wald* **18/2018**, 28–31.
- Niesar, M., S. Glück, F. Louen, M. Cescotti, A. Köhne-Dolcinni, 2018:** Fichten-Borkenkäfer-Massenvermehrung in nie dagewesener Intensität. URL: <http://www.waldwissen.net>.
- Otto, L.-F., F. Bandau, 2025:** Die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln im Staatswald des Freistaates Sachsen – Rück- und Ausblick. *Journal für Kulturpflanzen* **77** (02), 114–122, DOI: 10.5073/JfK.2025.02.10.
- PEFC, 2024:** Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes, URL: <https://www.pefc.de/pefc-siegel/zahlen-daten-fakten/>.
- Pfister, A., B. Perny, F. Gruber, H. Lick, J. Bader, 2004:** Merkblatt Großer Brauner Rüsselkäfer. Bundesamt und Forschungszentrum für Wald, Wien. URL: <http://bfw.ac.at/400/2320.pdf>.
- Roßberg, D., U. Heimbach, B. Klocke, S. Krengel, B. Rode-mann, J. Schwarz, P. Zwerger, 2019:** Wissenschaftliche Bewertung der aktuellen Absatzzahlen für Pflanzenschutzmittelwirkstoffe. In: BMEL (Hrsg): *Nationaler Aktionsplan Pflanzenschutz*, Jahresbericht 2018, 22–24, URL: https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00072499.
- Seidl, R., T.A. Spies, D.L. Peterson, S.L. Stephens, J.A. Hicke, 2016:** Searching for resilience: addressing the impacts of changing disturbance regimes on forest ecosystem services. *Journal of Applied Ecology* **53**, 120–129, DOI: 10.1111/1365-2664.12511.
- Destatis, 2024a:** Fachserie 3 Reihe 3.3.1. Land- u. Forstwirtschaft, Fischerei. Forstwirtschaftliche Bodennutzung – Holzeinschlagsstatistik, 2015–2020.
- Destatis, 2024b:** Genesis-Online Datenbank, Online: https://www.destatis.de/DE/Home/_inhalt.html
- Thünen, 2022:** Ergebnisdatenbank der vierten Bundeswaldinventur (2022), URL: <https://bwi.info>.
- Thünen, 2024:** Die wirtschaftliche Lage der Forst- und Holz-wirtschaft in Deutschland. Dossier, URL: <https://www.thuenen.de/de/themenfelder/wirtschaftsstrukturen-und-einkommensverhaeltnisse>.
- Triebenbacher, C., N. Geisthoff, K. Hielscher, L.-F. Otto, H. Schulz, J. Thiel, D. Wonsack, 2024:** Der Große Braune Rüsselkäfer – Möglichkeiten des Waldschutzes. *AFZ-Der Wald* **11/2024**, 36–40.
- Vacek, Z., Vacek, S., Cukor, J., 2023:** European forests under global climate change: Review of tree growth processes, crises and management strategies. *Journal of Environmental Management* **332**, 117353, DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.117353.
- Wenk, M., K. Möller, 2013:** Prognose Bestandesgefährdung-Bedeutet Kahlfraß das Todesurteil für Kiefernbestände? Eberswalder Schriftenreihe Band **51**, 9–14.
- Wermelinger, B., 2022:** Ökologische Bedeutung von Borkenkäfern. *Bündner Wald* **3/2022**, 48–51.
- Wolf, M., R. Petercord, 2012:** Eichenschäden in Nordbayern. *LWF aktuell* **88**, S. 4–8.