

Rasmus Enderle, Nadine Bräsicke, Karl-Heinz Berendes

## Herausforderungen in der Waldschutzforschung: Ein forstentomologischer und -pathologischer Rück- und Ausblick

Challenges in forest protection research: Looking backwards and forwards  
from a forest entomology and forest pathology perspective

261

### Zusammenfassung

Die Waldschutzforschung hat ihre Anfänge im 19. Jahrhundert und ist im Vergleich zur langen und facettenreichen Geschichte der Waldnutzung eine recht junge Disziplin, die bereits eine umfangreiche Entwicklung vollzogen hat. Der verfasste Übersichtsartikel möchte die Entwicklung der Waldschutzforschung ausgehend von den Anfängen, über die Entwicklung von Regulierungsmaßnahmen bis hin zu den großen Herausforderungen im Klimawandel und der Globalisierung darstellen, ohne hierbei Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben. Der Fokus liegt dabei auf der Forstentomologie und der Forstpathologie. Ergänzend erfolgt eine systematische Auswertung von Beiträgen zur Waldschutzforschung im *Journal für Kulturpflanzen* sowie ein kurzer Ausblick über die zukünftigen Möglichkeiten der Waldschutzforschung.

**Stichwörter:** Waldschutz, Forstentomologie, Forstpathologie, Forschungsgeschichte

### Abstract

Research with regard to forest protection started in the 19th century and is a relatively young field when compared to the long and diverse history of the human use of forests. However, since then there has been significant progress and development in the field of forest protection research. This article provides an overview on this deve-

lopment in Germany, starting from the mainly descriptive research in the beginning, followed by the subsequent development of control measures up to the large challenges of climate change and globalisation. The article does not claim to be complete and focuses on forest entomology and forest pathology. The overview is accompanied by a systematic analysis of publications on forest protection research in the *Journal für Kulturpflanzen*. Moreover, a short outlook on the future of forest protection research is provided.

**Key words:** Forest protection, Forest entomology, Forest pathology, Research history

### Einleitung

Die heutige Ausdehnung unserer Wälder in Deutschland wurde sehr stark vom Menschen bestimmt, und dieser Einfluss reicht in Mitteleuropa Jahrtausende zurück. Die Wälder waren in den Anfängen eine Flächenreserve für die beginnende landwirtschaftliche Nutzung und für die zunehmende Bevölkerungsentwicklung (BURSCHEL, 1997; GROBER, 2010). Dies veränderte schon frühzeitig die Baumartenzusammensetzung der Wälder (FIRBAS, 1949; ELLENBERG et al., 2010). Im Laufe des Mittelalters wurden Nutzungssysteme wie die Nieder- und Mittelwaldwirtschaft entwickelt (Tab. 1).

Das breite Spektrum vorindustrieller Waldnutzung wurde durch die fast flächendeckende Einführung der

### Affiliation

Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz im Gartenbau und Forst, Braunschweig

### Kontaktanschrift

Dr. Rasmus Enderle, Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz im Gartenbau und Forst, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, E-Mail: rasmus.enderle@julius-kuehn.de

### Zur Veröffentlichung eingereicht/angenommen

15. März 2021/11. Juni 2021

Tab. 1. Nutzungsgeschichte des Waldes bzw. Entwicklung einer nachhaltigen Forstwirtschaft in Deutschland

Eckpunkte der dt. Forstwirtschaft (inkl. des Waldschutzes)	Vorläufer/Begründer
<b>Altertum</b> Ackerbau und Viehweide	<b>4. Jh. vor Chr. – 6. Jh. nach Chr.</b> –
<b>Mittelalter</b> Niederwaldbetrieb (kurze Nutzungsintervalle, Erneuerung durch Stockausschlag) Mittelwaldwirtschaft (Kombination aus kurzen und langen Nutzungsintervallen, zweischichtiger Bestandsaufbau) Anfang der dt. Forstwirtschaft (planmäßige Aufforstung von Ödland mit Nadelholzarten durch Saat, Bsp. Nürnberger Reichswald)	<b>6. Jh. – 15. Jh. nach Chr.</b> – – Peter Stromer (1315 – 1388)
<b>Neuzeit</b> Nachhaltige Forstwirtschaft (kontinuierliche beständige und nachhaltige Nutzung des Waldes), Verfasser von „ <i>Silvicultura oeconomica</i> “ Geregelte/nachhaltige Forstwirtschaft durch Einführung der Fachdisziplinen Waldbau und Forsteinrichtung Geregelte/nachhaltige Forstwirtschaft durch Maßnahmen der Bestandsbegründung und –pflege	<b>15. Jh. – 18. Jh. nach Chr.</b> Hans Carl von Carlowitz (1645 – 1714) Heinrich Cotta (1763 – 1844) Gerhard Ludwig Hartig (1764 – 1837)
<b>Neuere Geschichte</b> Forstabschätzung (Normalwaldmodell als Grundlage der Forsteinrichtung = Vorläufer der forstlichen Betriebswirtschaftslehre) Forstliche Statik als Vorläufer der forstlichen Betriebslehre und Regeln der Durchforstung von Waldbeständen Wegbereiter der angewandten (Forst)Entomologie und Verfasser entomologischer Schriften an der Höheren Forstlehranstalt Eberswalde Bodenreinertragslehre (maximaler finanzieller Bodenertrag mit Fichte und Kiefer = Anbau von Nadelholz-Monokulturen) Naturnahe Forstwirtschaft (Anbau von Mischwäldern, Förderung der natürlichen Verjüngung, Bewahrung der Standortqualität) Erste Untersuchungen zu wichtigen Krankheiten der Waldbäume (Begründer der Forstpathologie) Dauerwald und naturnahe Waldwirtschaft (Mischwaldprinzip) und Begründer eines Institutes für Mykologie Auffassung „der Wald als Ökosystem“ und Verfasser des dt. Standardwerkes: „ <i>Waldbau auf ökologischer Grundlage</i> “ Mitbegründer des Faches Populationsökologie und Verfasser des Lehrbuches der Forstpathologie und des Forstschutzes Ursachen der Massenvermehrung von Forstinsekten, verband die angewandte Entomologie mit der Ökosystemforschung und Verfasser der Standardwerke: „ <i>Die Forstschädlinge Europas</i> “	<b>Ab 18. Jh. nach Chr.</b> Johann Christian Hundeshagen (1783 – 1834) Carl Heyer (1797 – 1856) Julius Theodor Christian Ratzeburg (1801 – 1871) Max Pressler (1815 – 1886) Karl Gayer (1822 – 1907) Robert Hartig (1839 – 1901) Alfred Möller (1860 – 1922) Alfred Dengler (1874 – 1944) Fritz Schwerdtfeger (1905 – 1986) Wolfgang Schwenke (1921 – 2006)

Hochwaldwirtschaft ab dem 19. Jahrhundert weitgehend auf die Holzproduktion beschränkt (MEYER & AMMER, 2019). Dies hatte zur Folge, dass die ursprüngliche Baumartenzusammensetzung unserer Wälder durch die Einflüsse des Menschen zugunsten eines höheren Nadelholzanteils verändert wurde (ZUNDEL, 1990). Im Laufe der Nutzungsgeschichte des Waldes entwickelte sich ab dem 19. Jahrhundert zunehmend die Waldschutzforschung infolge zunehmender biotischer und abiotischer Gefährdungen für den Wald. Als noch junge Fachdisziplin ist bis zur Gegenwart eine weitreichende Entwicklung zu verzeichnen, die in Zukunft z. B. durch weiterentwickelte Forschungsmethoden neue Herausforderungen bewältigen wird.

Zur Erstellung des Artikels wurden hauptsächlich Standardliteratur und Übersichtsartikel aus dem Fachgebiet Waldschutz herangezogen sowie durch gezielte Internetrecherchen komplettiert. Dabei wurde ein Fokus auf forstentomologische und forstpathologische Aspekte des Waldschutzes gelegt, während die Themenbereiche Wildtierökologie und –management nicht Gegenstand dieses Artikels sind. Eine systematische Auswertung von Beiträgen im *Journal für Kulturpflanzen* (bzw. im *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes*) ergänzt die zeitliche Einordnung der Forschungsthemen. Der Übersichtsartikel resümiert die wesentlichen, richtungsweisenden Aspekte

exemplarisch, ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

## Die Geschichte der Waldschutzforschung bis heute

### 19. Jahrhundert: Die ersten Anfänge des Waldschutzes

Der Wald war im 17. und 18. Jahrhundert durch Kahlhiebe und durch die Nieder- und Mittelwaldwirtschaft stark übernutzt worden, die Waldfläche insgesamt stark geschrumpft (BARTSCH et al., 2020). Eine Wende setzte im letzten Drittel des 18. Jahrhunderts ein, als Folge der großen Veränderungen in der Landwirtschaft sowie der technischen und wirtschaftlichen Entwicklung in Europa (KÜSTER, 2013; POSCHLOD, 2015). In den regional stark übernutzten Waldbeständen auf vorwiegend devastierten Böden wurde vermehrt mit der Fichte und der Kiefer aufgeforstet, weil beide Baumarten besonders geeignet waren, auf Kahlfeldern und Blößen rasch geschlossene Waldbestände zu bilden. Natürlich hatte die Reinbestandswirtschaft auch Nachteile, die sich in der Gefährdung durch Schadinsekten zeigte. Massenvermehrungen, u. a. durch rindenbrütende Borkenkäfer oder durch Schadschmetterlinge, traten zunehmend auf und vernichteten große Waldflächen.

Mit dem Ziel, die zahlreichen Probleme und Fragen der Praxis zu lösen, begann um 1871 die Gründung des forstlichen Versuchswesens (KÄTZEL & DEGENHARDT, 2007) unter systematischer Nutzung von Versuchsflächen (PRETZSCH et al., 2014). Es wurden verschiedenste Bewirtschaftungsformen erkundet. Hierzu zählten erstmals Bemühungen zur Förderung des Laubholzes in Kiefernbeständen beziehungsweise von Mischbeständen (MILNIK, 2007).

Die Anfänge der forstentomologischen Forschung fanden sich zunächst in der Beobachtung und Beschreibung der „Waldverderber und ihrer Feinde“ (RATZBURG, 1860), in dem bereits die wichtigsten Schadinsekten und Wirbeltiere in Wäldern benannt und beschrieben wurden. Auch Beobachtungen zu Nützlingen und deren Schonung sowie erste Studien zur Regulierung von Schadinsekten wurden durchgeführt. In den Anfängen der Forstpathologie war eine wichtige erste Erkenntnis, dass es Pilze gibt, die an lebenden Bäumen Holzfäule verursachen. Diese Einsicht stand entgegen einer anderen Meinung, dass nämlich die Holzfäule erst zur Entstehung der Pilze führe (SCHÜTT, 1979). Nachdem sich die erst genannte Erkenntnis durchsetzte, wurden zunächst die wichtigen, Holzfäule verursachenden Pilze untersucht, wie der Wurzelschwamm (*Heterobasidion annosum* s. l.), der die Rotfäule verursacht, oder der Hallimasch (*Armillaria* spp.). Die wenigen Forstpathologen arbeiteten damals vor allem deskriptiv. Bis etwa zur Mitte des 20. Jahrhunderts fokussierte sich die Forschung auf die Identifizierung der Erreger als Krankheitsverursacher und auf Möglichkeiten der Bekämpfung, wie der Einsatz von Präparaten mit Kupfer zur Schüttelebekämpfung.

### 20. Jahrhundert: Waldschutz etabliert sich als eigene Disziplin

Das 20. Jahrhundert war schon früh von größeren Schadereignissen geprägt (Tab. 2) und der zweite Weltkrieg wirkte sich auch auf die Waldwirtschaft aus. Begleitet durch eine unsorgfältige Waldwirtschaft mit intensiven Durchforstungen und Kahlschlägen wurden aus der Not heraus die Nadelholzarten weiterhin als reine Altersklassenwälder im Kahlschlagbetrieb gefördert.

In der Waldschutzforschung ermöglichte die Erarbeitung von kritischen Zahlen zu wichtigen Schadinsekten an der Kiefer eine Schadensprognose (RICHTER, 1960), während erste Monitoringverfahren bereits Ende des 19. Jahrhunderts praktiziert wurden (MÖLLER et al., 2007). Zudem fanden bereits Beobachtungen zu multiplen Parasit-Wirt-Komplexen statt, um Antagonisten zu fördern (PSCHORN-WALCHER, 1973). In erster Linie standen jedoch die Kausalzusammenhänge zur Entstehung von Massenvermehrungen der Schadinsekten an Kiefer und Fichte im Fokus. Vor allem der Nährstoff- und Wassermangel der Bäume in Verbindung mit der Nahrungsqualität der Nadeln wurden als Ursache untersucht. Auch im Bereich der Pathologie wurde mehr und mehr klar, dass eine isolierte Betrachtung von Krankheitserregern und ihrer Bekämpfung unzureichend ist, und dass experimentelle, interdisziplinäre Ansätze notwendig sind, um das komplexe Gefüge zwischen Wirt, Pathogen und Umwelt aufzudecken. Neue technische Entwicklungen ermöglichten zudem tiefergehende, experimentelle Untersuchungen mit verfeinerten Methoden (SCHÜTT, 1979).

Massenvermehrungen von Feld- und Waldmaikäfer traten in Gebieten mit warm-trockenem Klima und sandigen Böden auf und sind aus den 1930er, 1950/60er sowie 1970/80er bis 1990er Jahren bekannt (ALTENKIRCH et al., 2002). Hauptsächlich führte der Engerlingsfraß an Laub- und Nadelholzverjüngungen zu großen Schäden, die den Waldumbau von Kiefernbeständen verhindern. In den 1960er Jahren standen vorrangig Maßnahmen zum Objektschutz sowie zur Erprobung neuer Mittel und Bekämpfungsstrategien im Fokus der Forschung (DELB, 2004; SCHRÖTER, 2004; FVA BW, 2010).

Bis 1971 wurden auch die insektiziden Eigenschaften des DDT genutzt, um großflächigen Befall einzudämmen (SCHWENKE & STEGER, 1961). Zuvor wurde Arsen (bis 1945) gegen Raupenplagen an der Kiefer eingesetzt. Ein großer Fortschritt war in dieser Zeit der Einsatz von Luftfahrzeugen (Starrflügler), um die Kronenschädlinge bekämpfen zu können. Erste Versuche in den 1950er Jahren führten zum Umdenken in der Applikationstechnik, weil die vom Boden geführten Nebelgeräte gegen Kronenschädlinge unzureichend waren. Bereits bis 1929 waren rund 25.000 ha Waldfläche mit dem Flugzeug behandelt worden (SCHWENKE, 1979). Im Bereich des Pflanzenschutzes waren gegen Mitte des Jahrhunderts auch Fungizide, zum Beispiel im Bereich des Holzschutzes, ein wichtiges Forschungsfeld (HÖPPNER et al., 2011).

**Tab. 2. Die großen Schadereignisse zwischen 1920 und 2020 in Deutschland (eine Auswahl), nach REISCH, 1974; ALTENKIRCH et al., 2002; PRIEN, 2016; WOHLGEMUTH et al., 2019.**

Auftreten wichtiger Forstpathogene	
<b>Ulmensterben</b>	
1918	erstes Auftreten des Erregers <i>Ophiostoma ulmi</i> in Europa
1970er	zweite Welle in Europa
1991	<i>O. novo-ulmi</i> als neue Spezies und Verursacher der zweiten Welle beschrieben
<b>Eichensterben</b>	
1944	Eichensterben im Forstamt Hellefeld
1995	BBA-Symposium zum Eichensterben in Deutschland
1998	Aktuelles Eichensterben in Niedersachsen
1999/2001	Untersuchungen zum Eichensterben in Nordrhein-Westfalen von 1900 bis 2000
<b>Eschentriebsterben</b>	
1992	erstmalig in Polen festgestellt
2002	Anzeichen in Deutschland beobachtet
2006	Verursacher wird identifiziert (Erstbeschreibung als <i>Chalara fraxinea</i> )
Massenvermehrungen wichtiger Forstschadinsekten	
<b>Forleule (<i>Panolis flammea</i>)</b>	
1922 – 1924	nordostdeutsches Tiefland, Befallsfläche: 200.000 ha
1956	Mittelfranken, Befallsfläche: 8.600 ha
1961/1962	Nordbayern, Behandlungsfläche: 6.600 ha
<b>Kiefernspanner (<i>Bupalus piniaria</i>)</b>	
1928/1929	Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Kahlfraß auf 3.500 ha
1937/1941	Letzlinger Heide, Pommern, Mecklenburg, Behandlungsfläche: 16.200 ha
<b>Kiefernspinner (<i>Dendrolimus pini</i>)</b>	
1945 – 1949	Mitteldeutschland, Behandlungsfläche: 46.000 ha
1993 – 1998	Brandenburg, Befallsfläche: 259.000 ha, Behandlungsfläche: 89.000 ha
2013/2014	nordostdeutsches Tiefland, Befallsfläche 25.000 ha
<b>Nonne (<i>Lymantria monacha</i>)</b>	
1923/1924	Ostpreußen, Pommern, Mecklenburg, Brandenburg, Befallsfläche: k. A.
1938/1941	Mitteldeutschland, Befallsfläche: k. A.
1978 – 1984	Deutschland, Befallsfläche: 500.000 ha
<b>Kiefernbuschhornblattwespe (<i>Diprion pini</i>)</b>	
1959 – 1960	Nordbayern, Fraßfläche > 50.000 ha
2016/2017	nordostdeutsches Tiefland, Befallsfläche: 30.000 ha
<b>Schwammspinner (<i>Lymantria dispar</i>)</b>	
1992 – 1994	Südwestdeutschland, Befallsfläche: 129.000 ha
2018/2019	Bayern, Befallsfläche: 10.000 ha
<b>rindenbrütende Borkenkäfer (Scolytinae)</b>	
1945 – 1951	Mitteleuropa, Schadholz: 30 Mio. Festmeter
2003	Deutschland, Schadholz: 4,2 Mio. Festmeter
2018 – 2020	Deutschland, Schadholz: 178 Mio. Festmeter
<b>Waldmaikäfer (<i>Melolontha hippocastani</i>)</b>	
1986–2009	nordbadische Oberrheinebene, Hessisches Ried, Befallsfläche: 10.000 ha in 2009

**1970er und 1980er Jahre: Luftschadstoffe und Waldsterben**

Der Schadstoffeintrag in die Wälder nahm mit der Erschließung fossiler Rohstoffe wie Kohle und Öl und damit

die Waldbelastung durch Luftverunreinigungen immer mehr zu. Anfang der 70er Jahre wurden vermehrt Schäden an Weißtannen beobachtet und erstmals mit Luftschadstoffen in Zusammenhang gebracht. Das Tannen-

sterben breitete sich zunehmend aus. Zu Beginn der 80er Jahre kamen weitere massive Schäden in Fichtenbeständen hinzu, ebenso waren die Hauptbaumarten Kiefer, Buche und Eiche betroffen. Der Begriff „Neuartige Waldschäden“ hielt Einzug in den Sprachgebrauch der Fachleute. Die zunehmende Bedeutung von Schwächepathogenen und Komplexkrankheiten führte schließlich dazu, dass MANION (1981) das bis heute gültige Konzept der Krankheitsspirale formulierte, bei dem abiotische und biotische prädisponierende, auslösende und verstärkende Faktoren Berücksichtigung finden.

Großen Einfluss auf die Waldschadensforschung hatten ab Mitte der 1980er Jahre die gesellschaftspolitischen Prozesse. Hohe Nadelverluste und Absterbeereignisse in den Wäldern förderten die Ursachenforschung (KÄTZEL & DEGENHARDT, 2007). Angesichts vielfältiger Waldschäden begann um 1985 ein Umdenken, verbunden mit der Einrichtung von ersten Überwachungssystemen zur Erfassung von Vitalitätsänderungen und Schadsymptomen (MÖLLER et al., 2007). 1984 startete die erste bundesweite Waldschadenserhebung auf Basis eines permanenten, systematischen Stichprobennetzes.

In den 1970er Jahren wurde der Häutungshemmer Diflubenzuron (Präparat: Dimilin) entwickelt, und fand bei der Abwehr von freifressenden Schmetterlingslarven und Blattwespen Einzug in den Waldschutz. Die selektive Wirkungsbreite und die eingeschränkte Wirkungsdauer stellten einen Fortschritt in der chemischen Bekämpfung dar. Mit der Entwicklung der Pyrethroide konnte die Aufwandmenge an Wirkstoff bei den Insektiziden weiter reduziert werden. Als synthetische Abkömmlinge des natürlichen Pyrethrums wurden die Wirkstoffe Cypermethrin und Cyhalothrin zugelassen. Ab 1984 wurden Pyrethroide u. a. zur Vorausflugbekämpfung von Borkenkäfern eingesetzt (ALTENKIRCH et al., 2002).

Natürlich standen immer wieder auch biologische Verfahren im Fokus der Waldschutzbeobachtung und -forschung. Der Einsatz von Bakuloviren (gegen Schmetterlingslarven und Afterraupen) blieb allerdings weitestgehend chancenlos, weil die Vermehrung der Viren in reinen Zellkulturen nicht zur Praxisreife gelangt war bzw. die hohe UV-Empfindlichkeit der Viren und die abnehmende Sensitivität der Zielorganismen hohe Dosierungen erforderte (ALTENKIRCH et al., 2002).

Die Möglichkeit, Sexuallockstoffe (Pheromone) für die Prognose einzusetzen, gewann ebenso an Potenzial. Bereits um 1930 wurden erste Pheromonfallen aus Papier mit weiblichen Nonnenfaltern bestückt. Da das Verfahren sehr aufwendig war, wurde für den Schwammspinner 1970 ein Lockstoff identifiziert, welcher auch synthetisch herzustellen war. Es folgten Untersuchungen zum synthetischen Lockstoff sowie zu verschiedenen Fallentechniken, wobei weitere Lepidopterenarten mit einbezogen wurden (SCHWERDTFEGER, 1981). Soziallockstoffe (Aggregationspheromone) wurden für die Prognose der Borkenkäfer genutzt. Für mehrere Borkenkäferarten konnten verschiedene Lockstoffe identifiziert und synthetisiert werden, die gute Möglichkeiten der Überwachung boten (SCHWERDTFEGER, 1981).

**1990er Jahre: Waldschutz in der politischen Debatte**  
Die Übereinkunft zur biologischen Vielfalt beeinflusste die Waldschutzforschung nachhaltig. Mit der Biodiversitätskonvention von Rio (1993) und dem nationalen Waldprogramm Deutschland wurde ein ökosystemarer Ansatz für die Umsetzung der Konvention entwickelt – als forstpolitischer Diskurs. Die nationalen Waldbauprogramme der Länder wurden um weitere Elemente ergänzt, mit dem Ziel, durch eine Stärkung der Biodiversität auch die verschiedenen Waldfunktionen und Ökosystemleistungen zu sichern und ggf. zu verbessern. In dieser Zeit gewann die Waldzertifizierung (z. B. FSC, PEFC) an Bedeutung.

Mit der Veränderung der abiotischen Rahmenbedingungen zu Beginn der 1990er Jahre geriet auch die Eiche zunehmend unter Stress. Vor allem die explosionsartige Ausbreitung des Schwammspinners ist neben weiteren Schadinsekten und sekundär auftretenden Schadorganismen am Ursachenkomplex des Eichensterbens beteiligt. Nach der Gradation des Schwammspinners (1992 bis 1995) zeigte sich das Eichensterben mit einer bislang nicht erreichten Intensität (WULF & BERENDES, 1993; WULF, 1996; DELB & BLOCK, 1999; SEEMANN, 1999). Ab 1994 wurde der Einsatz ausgewählter Bakterienstämme von *Bacillus thuringiensis* mit dem Luftfahrzeug (Hubschrauber) gegen Schwammspinnerlarven in Eichenwäldern fokussiert, mit großem Erfolg (SCHRÖTER & SEEMANN, 1996; SCHMUTTERER & HUBER, 2005).

Borkenkäferkalamitäten entwickelten sich besonders nach Sturmwetterlagen („Vivian“/„Wiebke“: 1990, „Lothar“: 1999), die mehrere Millionen Festmeter Käferholz in Deutschland verursachten.

In dieser Zeit wurde zu holzentwertenden Pilzen bei der Nasslagerung von Stammholz geforscht. Der Waldschutz widmete sich auch der Ursachenforschung, der ökonomischen Bewertung verursachter Waldschäden, den waldbaulichen Aspekten zur Vorsorge und der Erarbeitung von Konzepten eines integrierten Pflanzenschutzes. Hierbei wurde der praktische Einsatz von entomopathogenen Pilzen, wie mit *Beauveria brongniartii* gegen Engerlinge der Maikäfer oder *B. bassiana* als natürlicher Antagonist der Borkenkäfer untersucht. Die Ergebnisse zeigten eine beschränkte Wirksamkeit. Die Lagerfähigkeit und die hinreichende Aktivität der Pilze für eine Infektion der Entwicklungsstadien wurden als Probleme erkannt (ROHDE & BRESSEM, 1996; ALTENKIRCH et al., 2002). Das integrierte System der Borkenkäferbekämpfung wurde 1993 in den Mittelpunkt des Waldschutzes gestellt. Die Gegenmaßnahmen umfassen bis heute den gesamten Bereich von waldbaulicher Vorbeugung, der intensiven Überwachung bis hin zur Möglichkeit chemischer Schutzmaßnahmen.

Die großflächigen Aufforstungen landwirtschaftlicher Flächen begünstigten zudem Massenvermehrungen der Kurzschwanzmäuse. Insbesondere die Zunahme der Verunkrautung und ein lockerer oder fehlender Bestandesschirm fördern die Habitateignung dieser Flächen. In unregelmäßigen Zyklen kommt es daher zu erheblichen Schäden in Kulturen und Naturverjüngungen zumeist an

Laubholz (ALTENKIRCH et al., 2002). In der Forschung wurde mit dem Einsatz chemischer Mittel (Rodentizide) die verdeckte Ausbringung in Köderstationen fokussiert, um die Primärvergiftung zu minimieren und gleichzeitig die Umweltverträglichkeit der Bekämpfung zu verbessern.

### 2000er Jahre: Klimawandel wird Hauptfokus der Waldschutzforschung

Witterungsextreme (Trockensommer in 2003, Sturmtief „Gerrit“ in 2005, Orkan „Kyrill“ in 2007) prägten die Waldentwicklung in den 2000er Jahren. Im Mittelpunkt des Waldschutzgeschehens standen einerseits die Fichtenwälder und ihre Gefährdung durch rindenbrütende Borkenkäfer sowie die Kiefernwälder, die durch nadel-fressende Schmetterlingslarven in Kombination mit dem *Diplodia*-Triebsterben in Bedrängnis gerieten. Andererseits traten Schäden in Laubholzbeständen, hervorgerufen durch pilzliche Pathogene, Komplexkrankheiten und die zusätzliche Etablierung des Eichenprozessionsspinner auf. Neben anderen invasiven Schadorganismen breitete sich der Erreger des Eschentriebsterbens in Deutschland aus (SCHUMACHER et al., 2007) und führte zu einem massiven Rückgang der Eschen, sodass bis heute mit dieser Baumart keine planmäßige Forstwirtschaft möglich ist.

Vor dem Hintergrund des Klimawandels zeichnete sich zunehmend ab, dass die Zukunft der Hauptbaumarten über die Grenzen der Trockenstresstoleranz entschieden wird. Es gewannen zunehmend interdisziplinäre Forschungsansätze sowie ökologische und ökosystemare Fragestellungen in der Waldforschung an Bedeutung. Die Grundlagen für ein effizientes forstliches Monitoring wurden in der Vergangenheit geschaffen und das Waldschutzmeldewesen als modernes Verfahren implementiert. Die Versuchsflächendaten in den Ländern sind heute in Datenbanken zusammengefasst und beinhalten weitreichende Informationen u. a. zu Waldbeständen, zu Witterungsbedingungen und zu den an Einzelbäumen erfassten Messdaten, die für eine Datenanalyse und Modellierung genutzt werden. Zusätzlich kommen seit der Jahrhundertwende selbst in kleinen forstpathologischen Labors zunehmend molekularbiologische Methoden zum Einsatz und sind heutzutage fest etabliert. Dies hat zu enormen Fortschritten bei der Detektion, Diagnose, Identifikation und Taxonomie geführt. Es gab einen massiven Wissensschub in der Populationsgenetik von Schadorganismen, und damit zu ihrer Evolution, Vermehrungsweise und Verbreitungsgeschichte.

### Heute – Klimawandel und Globalisierung

Die sich verändernden Klimabedingungen werden bereits in den Waldbauplanungen der Länder berücksichtigt, der Waldbau als aktive Anpassungsmaßnahme durchgeführt. Strategien einer Risikominderung basieren dabei oft auf gezielter Mischwaldbegründung und naturnaher Waldwirtschaft (HANEWINKEL, 2009). Zunehmende Vitalitätsprobleme der Baumarten, bei einer ver-

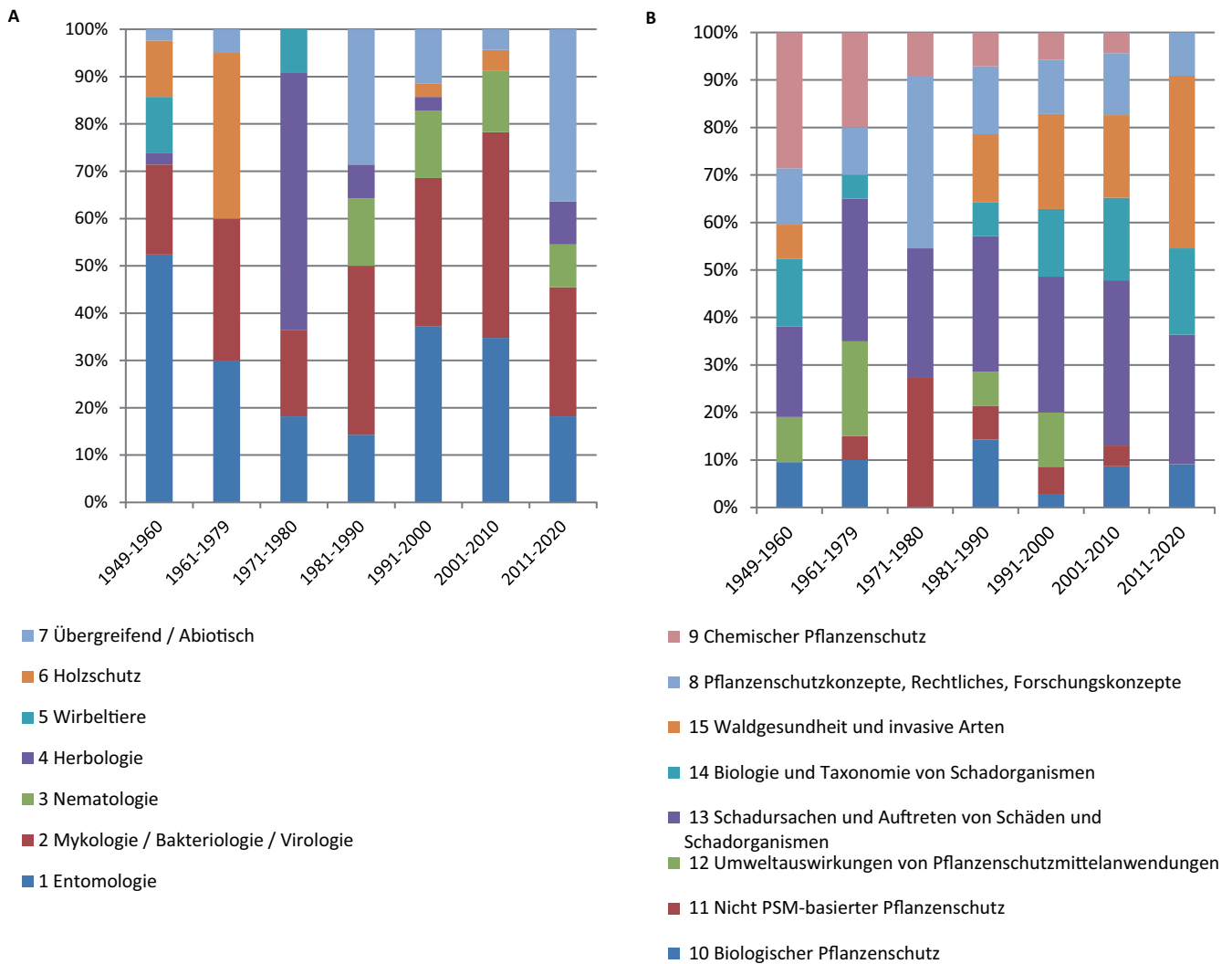
mehrten Befallsintensität und -fläche verschiedener Schadinsekten sowie einer veränderten Pathogenität von Pilzen und vermehrtem Auftreten von Komplexkrankheiten und invasiven Schadorganismen erhöhen jedoch die Vielzahl an Waldschutzproblemen. Im Zuge dessen werden die Anforderungen an das Risikomanagement im Waldschutz steigen. Eine neue Bewertung der einzelnen Schadorganismen für verbesserte, angepasste Überwachungs- und Prognosemethoden ist notwendig (MÖLLER, 2009), und ein generell besseres Verständnis der Auswirkungen des Klimawandels auf die Wirt-Schadorganismus-Beziehungen. Im Fokus stehen auch walddhygienische Anpassungsstrategien für das steigende Potential an Schadorganismen und zunehmende Restriktionen im Pflanzenschutz, sowie die Situationsanalyse für die Nutzen-Risiko-Bewertung bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln im Wald. Neben modellgestützten Risikoabschätzungen zu einzelnen Schadinsekten ist weiterhin die Entwicklung von biologischen Pflanzenschutzverfahren wichtig. Bei der heutigen Waldschutzforschung kommt ein breites Spektrum an Methoden zum Einsatz, die von Omics-Technologien über verschiedene Verfahren der Ökosystemmodellierung bis hin zur drohnengestützten Detektion von Schadorganismen reicht.

### Beiträge im Journal für Kulturpflanzen als Abbild der Waldschutzentwicklungen im letzten Jahrhundert?

Das *Journal für Kulturpflanzen* (ehem. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes*) feiert mit dieser Ausgabe sein 100-jähriges Jubiläum. Vor diesem Hintergrund wurde eine quantitative Auswertung der Beiträge mit Waldschutzbezug in dieser Zeitschrift durchgeführt, wohl wissend, dass ein einziges Publikationsorgan natürlich kein vollständiges Abbild über ein Forschungsfeld geben kann. Dennoch ist die Analyse im Hinblick auf die oben skizzierten Entwicklungen im Waldschutz interessant.

Bei Durchsicht der Ausgaben von 1949 bis heute wurden insgesamt 157 Beiträge mit einem aus dem Titel erkennlichen Bezug zum Waldschutz identifiziert. Diese wurden jeweils sieben Disziplinen und acht Kategorien zugeordnet (Abb. 1).

Die Anzahl der Beiträge zum Thema Holzschutz bestätigen, dass dieses Thema in den 1950ern und 1960ern von größerem Interesse war, und im Anschluss an die großen Stürme in den 1990ern noch einmal im Hinblick auf die Lagerung von Stammholz an Bedeutung gewann. Beiträge zu abiotischen Schäden und Disziplin-übergreifenden Themen wurden vor allem in den 1980ern und im letzten Jahrzehnt veröffentlicht, was zu den in diesen Zeiten bestimmenden Themen Waldsterben und Klimawandel passt. Hingegen wurden in den 1970er Jahren vor allem herbologische Artikel veröffentlicht. Die Anzahl der Beiträge zum chemischen Pflanzenschutz, in den 1950er Jahren noch ein bestimmendes Thema, gingen kontinuierlich zurück. Eine sehr deutliche Zunahme an Beiträgen zum Thema Waldgesundheit und invasive Arten ist in den letzten Jahrzehnten auffällig.



**Abb. 1.** Zeitliche Entwicklung der Hauptthemen von publizierten Waldschutzbeiträgen im *Journal für Kulturpflanzen*. Insgesamt 157 im *Journal für Kulturpflanzen* publizierte Beiträge mit Waldbezug wurden entsprechend des im Titel angedeuteten Inhalts jeweils sieben verschiedenen Waldschutzdisziplinen (A) und acht thematischen Kategorien (B) zugeordnet. Hier dargestellt ist der prozentuale Anteil dieser Zuordnungen in den jeweiligen Jahrzehnten der Erscheinung.

## Die Waldschutzforschung von morgen

### Erwartete Herausforderungen

Es ist davon auszugehen, dass sich der bisherige Trend fortsetzt und die gesellschaftlichen Anforderungen an den Wald und seine Multifunktionalität weiter steigen, während zukünftig immer weniger integrierte Pflanzenschutzmaßnahmen sowie chemische Pflanzenschutzmittel verfügbar sein werden. Weitere Einschränkungen, gerade im chemischen Pflanzenschutz, begrenzen auch die Möglichkeiten eines Wirkstoffwechsels entsprechend der „Guten fachlichen Praxis“. So wird der für die Anpassung an den Klimawandel erforderliche Waldumbau sowie die Aufforstungsmaßnahmen auf Schadflächen des Borkenkäfers regelmäßig durch Massenvermehrungen von Kurzschwanzmäusen erschwert. Aktuell ist im chemischen Pflanzenschutz nur noch ein einziger Wirkstoff (Zinkphosphid) zur Reduktion der Schadnager im Forst zugelassen.

Vor dem Hintergrund des steigenden Waldschutzrisikos, der großen Unsicherheit bezüglich der zukünftigen Entwicklung des Klimas und der nicht kalkulierbaren Risiken durch biologische Invasionen wird ein adaptives Management empfohlen. Neben intensiver Überwachung der Schadorganismen gilt es, möglichst viele Handlungsoptionen zu erhalten und neu zu schaffen, um im Bedarfsfall eine informierte Wahl aus einem möglichst großen Portfolio an Handlungsalternativen treffen zu können (BRANG et al., 2014). Gleichzeitig wird versucht, die Risiken durch Diversifizierung auf möglichst vielen Ebenen zu streuen. Durch waldbauliche Maßnahmen soll die Resistenz und Resilienz der Wälder gegenüber abiotischen und biotischen Störungen in einem andauernden Prozess erhöht werden. Eine Schlüsselstrategie ist dabei die sukzessive Anpassung der Baumartenzusammensetzung an die zu erwartenden klimatischen Verhältnisse der Zukunft, wobei auch das Risiko biotischer und abiotischer Schadfaktoren zu berücksichtigen

ist. Eine besondere Herausforderung liegt in der Wahl geeigneter Baumarten und Herkünfte (Provenienzen), und zwar auf einer Vielzahl unterschiedlicher Standorte. Neben heimischen können auch nichtheimische Baumarten Entwicklungsmöglichkeiten bieten, die geprüft werden sollten. Die künstliche Verbringung von Pflanzmaterial in Gebiete, die für die betreffende Baumart oder Provenienz zukünftig bessere Umweltbedingungen bieten (*assisted migration*), birgt Chancen und Risiken, die in einem Abwägungsprozess einzubeziehen sind (GÖMÖRY et al., 2020).

Mithilfe ökosystemarer Ansätze ist es Aufgabe der Waldschutzforschung, für diese Fragestellungen geeignete Wissensgrundlagen zu schaffen. So gilt es weiterhin, die Biologie, Diversität und Evolution von Waldbäumen, Schadorganismen und ihrer Antagonisten in Abhängigkeit von ihrer Umwelt zu erforschen (DESPREZ-LOUSTAU et al., 2016). Auf Basis solchen Wissens können neue biologische Pflanzenschutzverfahren entwickelt werden. Zudem sind die Erarbeitung und Abstimmung fachübergreifender Konzepte mit anderen Disziplinen, insbesondere dem Waldbau, stärker zu fokussieren.

### Perspektiven und Möglichkeiten der Waldschutzforschung

Die zukünftige Waldschutzforschung kann neue Möglichkeiten im Monitoring, in der Erfassung von Schäden und in der Entwicklung von Gegenmaßnahmen erarbeiten. Mithilfe neuer Technologien in der Sensorik und der Vernetzung sowie Verarbeitung von Daten soll ein Maximum an Informationen bereitgestellt und zur Unterstützung bei der Entscheidungsfindung in der Forstwirtschaft genutzt werden. Dieses Konzept wird unter den Begriffen *Precision Forestry* und, im Hinblick auf Waldschutz, *Precision Pest Management* zusammengefasst (SLIPPERS et al., 2020). Bei der Erfassung der Daten und bei deren Nutzung in Entscheidungsunterstützungssystemen wird der Einsatz von Künstlicher Intelligenz zweifellos eine wichtige Rolle spielen.

Molekularbiologische Methoden wie CRISPR/Cas oder die Nutzung von RNA-Interferenz (kurz RNAi oder auch RNA-Silencing) bieten unzählige Möglichkeiten bei der Erforschung von Schadorganismen und ihrer Interaktionen mit Wirt und Umwelt, aber auch bei der Erhöhung der Resistenz der Wälder und bei der direkten Bekämpfung von Schadorganismen (FLETCHER et al., 2020; SLIPPERS et al., 2020). Natürlich ist es auch Aufgabe der Forschung, die Gefahren solcher Methoden zu ergründen und zu benennen. Sogenannte Wächterpflanzungen (*sentinel plantings*) gelten als ein zukunftssträchtiges Werkzeug, um die Ausbreitung invasiver Schadorganismen effektiver zu verhindern (VETTRAINO et al., 2015).

Grundvoraussetzung für eine zielorientierte Forschung im Sinne eines integrierten Waldschutzes sowie für ein gut funktionierendes Risikomanagement vor Ort sind gut ausgebildete Waldschutzspezialisten, deren Ausbildung zukünftig gesichert werden muss. Ebenso gilt es den Wissenstransfer in die Praxis und in die interessierte

Öffentlichkeit stärker in den Mittelpunkt zu stellen, den fachlichen nationalen Austausch zu intensivieren sowie einen Wissenstransfer zu Fragen des Waldschutzes auf europäischer Ebene zu fördern.

### Neues Institut für Waldschutz in der Bundesressortforschung

Als Reaktion auf die derzeitige Problemlage und die großen Herausforderungen wurde im Jahr 2021 die Gründung eines neuen Waldschutzinstituts auf Bundesebene beschlossen. Das neue Institut für Waldschutz wird unter dem Dach des Bundesforschungsinstituts für Kulturpflanzen (Julius Kühn-Institut) die Forschung und die Politikberatung in diesem Bereich stärken. Die Aufgaben des neuen Instituts sind die Erarbeitung von Strategien und Konzepten für den Waldschutz. Unter besonderer Berücksichtigung des Klimawandels wird zur Biologie, Vermeidung und integrierten Bekämpfung von Schädlingen und Krankheiten im Wald geforscht. Ein weiteres Forschungsziel ist die Stärkung der funktionalen Biodiversität und der natürlichen Regulations- und Abwehrmechanismen des Waldes gegen Krankheiten und Schädlinge (HAHN, 2021).

### Erklärung zu Interessenskonflikten

Die Autoren erklären, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.


### Literatur

- ALTENKIRCH, W., C. MAJUNKE, B. OHNESORGE (Hrsg.), 2002: Waldschutz auf ökologischer Grundlage, Stuttgart, Eugen Ulmer.
- BARTSCH, N., B. VON LÜPKE, E. RÖHRIG, 2020: Waldbau auf ökologischer Grundlage. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer.
- BRANG, P., P. SPATHELF, J.B. LARSEN, J. BAUHAUS, A. BONCINA, C. CHAUVIN, ..., M. SVOBODA, 2014: Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 87 (4), 492–503, DOI: 10.1093/forestry/cpu018.
- BURSCHEL, P., 1997: Grundriss des Waldbaus: Ein Leitfaden für Studium und Praxis. Berlin, Parey.
- DELB, H., 2004: Monitoring der Waldmaikäfer (*Melolontha hippocastani* F.)-Populationen und der Schäden durch Engerlinge in der nördlichen Oberrheinebene, Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 56 (5), 108–116.
- DELB, H., J. BLOCK, 1999: Untersuchungen zur Schwammspinner-Kalamität von 1992 bis 1994 in Rheinland-Pfalz, Eigenverlag der Versuchsanstalt.
- DESPREZ-LOUSTAU, M.L., J. AGUAYO, C. DUTECH, K.J. HAYDEN, C. HUSSON, B. JAKUSHKIN, ..., C. VACHER, 2016: An evolutionary ecology perspective to address forest pathology challenges of today and tomorrow. *Annals of Forest Science* 73 (1), 45–67, DOI: 10.1007/s13595-015-0487-4.
- ELLENBERG, H., C. LEUSCHNER, H. DIERSCHKE, 2010: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht: In ökologischer, dynamischer und historischer Sicht; 203 Tabellen. Stuttgart, E. Ulmer.
- FIRBAS, F., 1949: Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen. 312–314 Seiten/Bonner Jahrbücher, Bd. 149 (1949): Bonner Jahrbücher des Vereins von Altertumsfreunden im Rheinlande und des Rheinischen Provinzialmuseums in Bonn/Bonner Jahrbücher, Bd. 149 (1949): Bonner Jahrbücher des Vereins von Altertumsfreunden im Rheinlande und des Rheinischen Provinzialmuseums in Bonn. Jena, Gustav Fischer Verlag, DOI: 10.11588/bjb.1949.0.73808.




- FLETCHER, S.J., P.T. REEVES, B.T. HOANG, N. MITTER, 2020: A Perspective on RNAi-Based Biopesticides. *Frontiers in Plant Science* **11**, 51, DOI: 10.3389/fpls.2020.00051.
- FVA BW, 2010: Evaluierung der Regulierungsmaßnahmen der Waldmaikäferpopulationen der nördlichen Oberrheinebene: Abschlussbericht des Projekts Nr. 1014. Zugriff: 12. März 2021, URL: [https://www.fva-bw.de/fileadmin/publikationen/sonstiges/maekaefer\\_evaluierung\\_1014.pdf](https://www.fva-bw.de/fileadmin/publikationen/sonstiges/maekaefer_evaluierung_1014.pdf).
- GITAU, C.W., R. BASHFORD, A.J. CARNEGIE, G.M. GURR, 2013: A review of semiochemicals associated with bark beetle (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) pests of coniferous trees: A focus on beetle interactions with other pests and their associates. *Forest Ecology and Management* **297**, 1–14, DOI: 10.1016/j.foreco.2013.02.019.
- GÖMÖRY, D., D. KRAJMEROVÁ, M. HRIVNÁK, R. LONGAUER, 2020: Assisted migration vs. close-to-nature forestry: what are the prospects for tree populations under climate change? *Central European Forestry Journal* **66** (2), 63–70, DOI:10.2478/forj-2020-0008.
- GROBER, U., 2010: Die Entdeckung der Nachhaltigkeit: Kulturgeschichte eines Begriffs. München, Kunstmann.
- HAHN, S., 2021: Forschung des Julius Kühn-Instituts (JKI) zum Waldschutz wird durch Einrichtung eines neuen Fachinstitutes in Quedlinburg gestärkt. Pressemitteilung, Julius Kühn-Institut. Zugriff 11. Juni 2021, URL: [https://www.julius-kuehn.de/media/Presse/2021/PDF/PI2021-06\\_NeuesWaldschutzInstitutamJKI-Qb.pdf](https://www.julius-kuehn.de/media/Presse/2021/PDF/PI2021-06_NeuesWaldschutzInstitutamJKI-Qb.pdf).
- HANEWINKEL, M., 2009: Risikomanagement und Klimawandel. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* **42**, 11-13.
- HÖPPNER, K., R. KÄTZEL, A. DEGENHARDT, K. DOBIÁS, HEYDECK, P., HIELSCHER, ..., F. STÄHR, 2011: 140 Jahre forstliches Versuchswesen in Eberswalde: Rückblicke und Perspektiven. In: *Wissenstransfer in die Praxis: Beiträge zum 6. Winterkolloquium am 24. Februar 2011 in Eberswalde*. MINISTERIUM FÜR INFRASTRUKTUR UND LANDWIRTSCHAFT (MIL) DES LANDES BRANDENBURG UND LANDESBETRIEB FORST BRANDENBURG (Hrsg.), Eberswalde, S. 68-99.
- KÄTZEL, R., A. DEGENHARDT, 2007: Die Bedeutung der Kiefer im Eberswalder forstlichen Versuchswesen. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* **32**, 22-30.
- KÜSTER, H., 2013: Geschichte des Waldes: Von der Urzeit bis zur Gegenwart. München, C.H. Beck.
- MANION, P.D., 1981: *Tree disease concepts*. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, Inc.
- MEYER, P., C. AMMER, 2019: Anthropogene Störungen – Waldnutzungen. In: *Störungsökologie*. WOHLGEMUTH, T., A. JENTSCH und R. SEIDL (Hrsg.), Bern, Haupt Verlag, S. 273-303.
- MILNIK, A., 2007: Zur Geschichte der Kiefernwirtschaft in Nordostdeutschland. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* **32**, 14-20.
- MÖLLER, K., 2009: Aktuelle Waldschutzprobleme und Risikomanagement in Brandenburgs Wäldern. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* **42**, 63-72.
- MÖLLER, K., C. WALTER, A. ENGELMANN, K. HIELSCHER, 2007: Die Gefährdung der Gemeinen Kiefer durch Insekten. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* **32**, 245-257.
- POSCHLOD, P., 2015: Geschichte der Kulturlandschaft: Entstehungsursachen und Steuerungsfaktoren der Entwicklung der Kulturlandschaft, Lebensraum- und Artenvielfalt in Mitteleuropa. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer.
- PRETZSCH, H., E. UHL, M. NICKEL, L. STEINACKER, G. SCHÜTZE, 2014: Die lange Geschichte der ertragskundlichen Versuchsflächen in Bayern. *LWF Wissen* (76), 7-30.
- PRIEN, S. (Hrsg.), 2016: *Ökologischer Waldschutz: Für eine biozidfreie Waldwirtschaft*. Stuttgart, Ulmer.
- PSCHORN-WALCHER, H., 1973: Die Parasiten der gesellig lebenden Kiefern-Buschhornblattwespen (Familie Diprionidae) als Beispiel für Koexistenz und Konkurrenz in multiplen Parasit-Wirt-Komplexen. *Verhandlungen der deutschen zoologischen Gesellschaft* **66**, 136-145.
- RATZEBURG, J.T.C., 1860: Die Waldverderber und ihre Feinde ober Beschreibung und Abbildung der schädlichsten Forstinsekten und der übrigen schädlichen Waldthiere, nebst Anweisung zu ihrer Vertilgung und zur Schonung ihrer Feinde. Berlin, Nicolaische Verlagsbuchhandlung (G. Parthen), DOI: 10.5962/bhl.title.16429.
- REISCH, J., 1974: *Waldschutz und Umwelt*. Berlin, Heidelberg, Springer, DOI: 10.1007/978-3-642-65804-4\_3.
- RICHTER, D., 1960: Über Nadelmassen der Kiefer und kritische Zahlen von Schadinsekten. *Archiv für Forstwesen* **9**, 859-900.
- ROHDE, M., U. BRESSEM, 1996: Untersuchungen zur Bekämpfung des Waldmaikäfers in Südhessen 1994. Teil A: Versuche zur Verminderung der Schäden durch den Waldmaikäfer (*Melolontha hippocastani*) im Flugjahr 1994 in den hessischen Forstämtern Bensheim und Lampertheim. *Fb. HLA* **22**, 1-66.
- SCHMUTTERER, H., J. HUBER, 2005: *Natürliche Schädlingsbekämpfungsmittel*. Stuttgart (Hohenheim), Eugen Ulmer.
- SCHRÖTER, H., 2004: Eine integrierte Strategie zur Regulierung der Waldmaikäfer (*Melolontha hippocastani* F.)--Populationen in der nördlichen Oberrheinebene. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* **56** (5), 103-107.
- SCHRÖTER, H., D. SEEMANN, 1996: Schwammspinnergradation 1993/94 in Baden-Württemberg – Prognose und Bekämpfung im Jahr 1994. *Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt* (322), 25-40.
- SCHUMACHER, J., A. WULF, S. LEONHARD, 2007: Erster Nachweis von *Chalara fraxinea* T. Kowalski sp. nov. in Deutschland – ein Verursacher neuartiger Schäden an Eschen. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* **59** (6), 121-123.
- SCHÜTT, P., 1979: Ungelöste Probleme der Forstpathologie – 100 Jahre nach Robert Hartig. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* **98** (1), 74–79, DOI: 10.1007/BF02743101.
- SCHWENKE, W., 1979: Waldschutz gegen Raupenplagen – gestern, heute und morgen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* **98** (1), 79–87, DOI: 10.1007/BF02743102.
- SCHWENKE, W., O. STEGER, 1961: Über Auftreten und Bekämpfung der Kiefernbuschhornblattwespen in Nordbayern 1959/60. *AFZ* **16**, 145–147. *Allg. Forstzeitschrift* **8**, 145-147.
- SCHWERDTFEGER, F., 1981: *Die Waldkrankheiten*. Hamburg, Berlin, Verlag Paul Parey.
- SEEMANN, D., 1999: Die Massenvermehrung des Schwammspinners (*Lymantria dispar* L.) in Baden-Württemberg 1993-994.
- SLIPPERS, B., B.P. HURLEY, J. ALLISON, 2020: Harnessing the potential of Precision Pest Management in plantation forests. *Southern Forests: a Journal of Forest Science* **82** (3), 197–201, DOI: 10.2989/20702620.2020.1813651.
- VETTRAINO, A., A. ROQUES, A. YART, J. FAN, J. SUN, A. VANNINI, 2015: Sentinel trees as a tool to forecast invasions of alien plant pathogens. *PLOS ONE* **10** (3), e0120571, DOI: 10.1371/journal.pone.0120571.
- WOHLGEMUTH, T., A. JENTSCH, R. SEIDL (Hrsg.), 2019: *Störungsökologie*. Jg.: 5018, Bern, Haupt Verlag.
- WULF, A., 1996: *Eichensterben in Deutschland: Situation, Ursachenforschung und Bewertung; Symposium am 13. und 14. September 1995 bei der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt Göttingen = Oak decline in Germany*. Berlin, Parey.
- WULF, A., K.-H. BERENDES (Hrsg.), 1993: *Schwammspinner-Kalamität im Forst: Konzepte zu einer integrierten Bekämpfung freifressender Schmetterlingsraupen; Kolloquium am 19. und 20. Oktober 1993 in Braunschweig = Gypsy moth damage to forests*. H. 293, Berlin, Hamburg, Parey.
- ZUNDEL, R., 1990: *Einführung in die Forstwissenschaft: 50 Tabellen*. Stuttgart, Ulmer.

© Der Autor/Die Autorin 2021.

 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>).

© The Author(s) 2021.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).