



Forstliche Versuchs-  
und Forschungsanstalt  
Baden-Württemberg

# WALDZUSTANDSBERICHT

# 2024



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LÄNDLICHEN RAUM  
UND VERBRAUCHERSCHUTZ



# IMPRESSUM

**Herausgeberin:**

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA)

**Autor/-innen:**

Kapitel 1:

Stefan Meining (Büro für Umweltüberwachung), Dr. Heike Puhlmann, Dr. Horst Delb (alle FVA)

Kapitel 2:

Dominik Wonsack, Dr. Horst Delb (alle FVA)

Kapitel 3, 5, 7 und 9:

Stefan Meining (Büro für Umweltüberwachung), Dr. Heike Puhlmann (FVA)

Kapitel 4:

Dr. Charalambos Neophytou, Jörn Erbacher, Andrea Danler (alle FVA)

Kapitel 6:

Dr. Peter Hartmann (FVA)

Kapitel 8:

Stefan Meining (Büro für Umweltüberwachung), Dr. Heike Puhlmann, Eva Kranefeld (alle FVA), Lars Rathmann (Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

**Titelfoto:**

Stefan Meining

Motiv: Eichenkrone

**Bestellung an:**

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg  
Wonnhaldestraße 4  
79100 Freiburg

Tel.: (0761) 40 18 - 0

fva-bw@forst.bwl.de

www.fva-bw.de

ISSN: 1862-863X

**Download:**

Hier können Sie den Waldzustandsbericht herunterladen:

[www.fva-bw.de/waldzustandserhebung](http://www.fva-bw.de/waldzustandserhebung)

Alternativ können Sie den folgenden QR-Code scannen:



Mit diesem Druckprodukt unterstützen wir die Aufforstung und den Umbau deutscher Wälder durch die Schutzgemeinschaft Deutscher Wald e.V.

## VORWORT



Liebe Leserinnen und Leser,

die Wälder spielen im Klimaschutz als einer der wichtigsten natürlichen Kohlenstoffspeicher eine entscheidende Rolle. Trotz der Waldschäden der letzten Jahre konnte das Niveau des Kohlenstoffspeichers Wald in Baden-Württemberg in den vergangenen zehn Jahren in etwa gehalten werden. Darüber hinaus haben die Wälder in Baden-Württemberg jährlich rund fünfzehn Millionen Tonnen Kohlenstoff der Atmosphäre entzogen und als klimaneutralen Rohstoff der Wirtschaft zur Verfügung gestellt.

Dennoch sollten wir nicht den Fehler machen und den Wald in seiner Rolle als „Klimaschützer“ überfordern. Vielmehr müssen wir in allen Sektoren die Kohlendioxid-Emissionen weiter deutlich senken, damit wir als Land Baden-Württemberg bis 2040 die Klimaneutralität gemeinsam erreichen.

Die Botschaft ist daher ganz klar: Nur gesunde Wälder können Kohlendioxid aus der Atmosphäre aufnehmen und als Kohlenstoff im Holz speichern sowie den nachwachsenden Rohstoff Holz liefern, einen Lebensraum für Tiere und Pflanzen bieten und als Erholungsraum für uns Menschen dienen.

Der Waldzustandsbericht zeigt uns jedes Jahr den aktuellen Gesundheitszustand der Wälder anhand der Nadel- und Blattverluste auf.

Die feuchte Witterung von Herbst 2023 bis zum Sommerbeginn 2024 hat zu einer guten Wasserversorgung der Wälder beigetragen. Dies hat insgesamt zu einer leichten Entspannung des Gesundheitszustands der Waldbäume geführt. Der Langzeittrend zeigt jedoch, dass wir mit einem mittleren Nadel- und Blattverlust von 25,8 Prozent auf einem Niveau liegen, das die 1980er und 1990er Jahre deutlich übertrifft. Ein starker Rückgang von vier Prozent gegenüber dem letzten Jahr ist erfreulicherweise im Anteil deutlich geschädigter Waldflächen auf nunmehr 40 Prozent festzustellen.

Einen deutlichen Rückgang der mittleren Kronenverlichtung bei den Nadelbäumen haben die Tannen und die Kiefern auf aktuell 20,4 bzw. 28,5 Prozent zu verzeichnen. Bei den Laubbäumen entspannt sich der Kronenzustand der Buchen leicht auf 31,3 Prozent und der

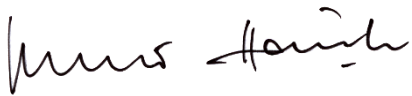
des Bergahorns und der der Eschen deutlich auf 15,1 bzw. 35,4 Prozent. Der Zustand der Fichten und Douglasie bleibt nahezu unverändert bei 25,5 bzw. bei 19,3 Prozent. Der Fichte macht die nach wie vor hohe Population der häufigsten Borkenkäferart, des Buchdruckers, zu schaffen. Nach einer leichten Erholung im letzten Jahr hat sich der Laubverlust der Eichen wieder auf 31,6 Prozent erhöht. Dieser Anstieg geht im Wesentlichen auf die älteren Eichen zurück, die neben der extremen Witterung der vergangenen Jahre in diesem Jahr besonders durch den Fraß verschiedener Schmetterlingsraupen zusätzlich geschwächt wurden.

Der mittlere Nadel- und Blattverlust der Bäume unter 60 Jahren liegt mit 16,5 Prozent rund 18 Prozent deutlich unter dem der Bäume über 60 Jahre.

Der Kohlenstoffspeicher „Wald“ kann nur mit einer aktiven Waldpflege, welche die Verjüngung und Entwicklung klimaanpassungsfähiger Mischwälder fördert, erhalten werden.

Zur Unterstützung dieser vielfältigen mittel- bis langfristigen Herausforderungen für den Wald und der mit ihm verbundenen Akteure hat die Landesregierung im Jahr 2020 den Prozess der Waldstrategie 2050 gestartet. Die Ziele der Waldstrategie müssen weiter mit Hochdruck verfolgt werden, damit wir unsere Wälder und deren vielfältige Leistungen für uns als Gesellschaft und für die Forstbetriebe erhalten.

Stuttgart, im November 2024



Peter Hauk MdL  
Minister für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz



# INHALT

<b>1</b>	<b>ERGEBNISSE DER WALDZUSTANDSERHEBUNG</b>	<b>5</b>
	Nadel-/Blattverlust	6
	Regionale Verteilung	7
	Schwerpunktregion Oberrheinebene	8
	Abgestorbene und ausgefallene Bäume	9
	Vergilbung	11
	Schadstufen	11
	Fruktifikation	12
	Fichte	13
	Tanne	15
	Kiefer	16
	Douglasie	17
	Sonstige Nadelbäume	17
	Buche	18
	Eiche	19
	Bergahorn	21
	Esche	22
	Sonstige Laubbäume	23
<b>2</b>	<b>DIE AKTUELLE WALDSCHUTZSITUATION DER EICHE</b>	<b>24</b>
	Was genau schädigt die Eichen?	24
	Vitalitätsschwächung und Eichenkomplexkrankheit	24
	Kahlfraß durch blattfressende Schmetterlinge	25
	Zweipunktiger Eichenprachtkäfer als Schadensverstärker	26
	Pilotstudie zur Eichenkomplexkrankheit	27
	Ausblick	27
<b>3</b>	<b>WITTERUNG</b>	<b>28</b>
	Witterungsverlauf	28
	Temperatur und Niederschlag 2024	30
	Neuer Bodenfeuchte-Monitor der FVA	30
	Abmilderung von Wasserextremen durch Wasserrückhalt im Wald	32
<b>4</b>	<b>FÖRDERUNG ALTERNATIVER BAUMARTEN IM KLIMAWANDEL</b>	<b>36</b>
	Erhaltung von Genressourcen	36
	Bereitstellung von forstlichem Vermehrungsgut	37
	Vorgehen der FVA Baden-Württemberg	38
	Fazit und Ausblick	40
<b>5</b>	<b>STOFFEINTRÄGE</b>	<b>42</b>
	Säure- und Stickstoffeinträge	42
	Basische Nährelemente	43
<b>6</b>	<b>DER WALDBODEN - BODEN DES JAHRES 2024</b>	<b>44</b>
	Wie können wir die Grundlage unserer Wälder nachhaltig bewahren?	44
	Leistungen und Funktionen der Waldböden	44
	Erhaltung der Leistungsfähigkeit	45
	Gefährdungen der Waldböden = Gefährdung der Bodenfunktionen!	45
	Bodenschutzkonzepte im Wald Baden-Württembergs	46

<b>7</b>	<b>DAS FORSTLICHE UMWELTMONITORING</b>	<b>47</b>
	Methodischer Aufbau	48
	Internationale Einbindung	49
<b>8</b>	<b>METHODIK DER WALDZUSTANDSERHEBUNG</b>	<b>50</b>
	Durchführung der Waldzustandserhebung 2024	50
	Qualitätssicherung	51
	Auswertungsmethoden	52
	Ergänzung des terrestrischen Monitorings durch sensorgestützte Vitalitätserfassung	52
<b>9</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT</b>	<b>54</b>
	Leichte Erholung in diesem Jahr	54
	Schadensschwerpunkt Oberrheinebene	55
	Gefährdung der Eichen durch Prachtkäfer	55
	Alternative Baumarten	55
	Waldboden – der Boden des Jahres 2024	56
	Fazit	56
<b>10</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>58</b>
	<b>ANLAGEN</b>	<b>60</b>



## 1 ERGEBNISSE DER WALDZUSTANDSERHEBUNG

Nach den teilweise extrem trockenen und heißen Jahren der letzten Dekade profitieren die Wälder in diesem Jahr von zahlreichen und ergiebigen Niederschlägen, die in den letzten Monaten für eine gute Wasserversorgung der Bäume gesorgt haben. Die Bodenwasserspeicher konnten sich bereits im Winterhalbjahr 2023/2024 wieder auffüllen und auch während der Vegetationszeit 2024 wurden die Wälder ausreichend und regelmäßig mit Niederschlag versorgt, so dass in diesem Jahr kaum akuter Trockenstress in den Baumkronen festzustellen war. Kürzere Hitze- und Trockenphasen traten lediglich im Hochsommer auf, die allerdings nur einen geringen Einfluss auf den Waldzustand hatten (Abb. 1).

Die Trockenschäden der letzten Jahre sind in den Wäldern Baden-Württembergs dennoch weiterhin sichtbar. Abgestorbene Kronenteile, Totäste und Veränderungen in der Verzweigungsstruktur spiegeln eine mehrjährige Entwicklung in den Baumkronen wider, die durch ein regenreiches Jahr nicht

ausgeglichen werden kann. Zudem werden in langanhaltenden Dürrephasen die Feinwurzeln der Bäume sowie die bestehende Symbiose zu verschiedenen Wurzelpilzen (Mykorrhiza) geschädigt, was die Wasser- und Nährstoffaufnahme der Bäume über einen längeren Zeitraum stark beeinträchtigen kann.

Die letzten Jahre waren geprägt von einer besonders hohen Belastung der Wälder durch biotische Schaderreger. Das massenhafte Vorkommen von verschiedenen Borkenkäferarten führte besonders bei Fichte und Tanne zu außerordentlich hohen Schadholzmengen. Ausgehend von einer hohen Populationsdichte kam es in diesem Sommer – trotz einer deutlichen Entwicklungsverzögerung aufgrund der kühl-feuchten Witterung im Frühjahr – landesweit wieder zu einer starken Verbreitung der Fichten-Borkenkäfer und zu entsprechend großen Mengen absterbender Bäume. Dagegen konnte bei der Tanne eine deutliche Abnahme der Borkenkäferschäden registriert werden.



**Abb. 1:** Unterschiedlich stark verlichtete Baumkronen zweier Eichen. Links: gute und dichte Belaubung, rechts: schlechte Belaubung mit hohem Totastanteil (Foto: L. Richardt).

Bei den Laubbaumarten wurde in diesem Jahr landesweit ein erhöhter Blattfraß durch verschiedene Insekten beobachtet. Vor allem der Blattfraß durch Schmetterlingsraupen bei der Eiche sowie der Reifungs- und Minierfraß des Springrüsslers bei der Buche führten in der Folge zu einem zusätzlichen Vitalitätsverlust, was die Anfälligkeit der Bäume gegenüber anderen Schadorganismen, wie rinden- oder holzbrütenden Käferarten sowie verschiedenen Pilzarten, weiter erhöhte.

Die Waldzustandserhebung untersucht den Kronenzustand der Waldbäume. Dazu werden auf einem systematisch angelegten Stichprobennetz Probebäume ausgewählt und dauerhaft markiert. Im Jahr 2024 wurden in Baden-Württemberg 321 Stichprobenpunkte mit insgesamt 7.696 Bäumen untersucht (siehe Kapitel „Methodik der Waldzustandserhebung“ ab S. 50).

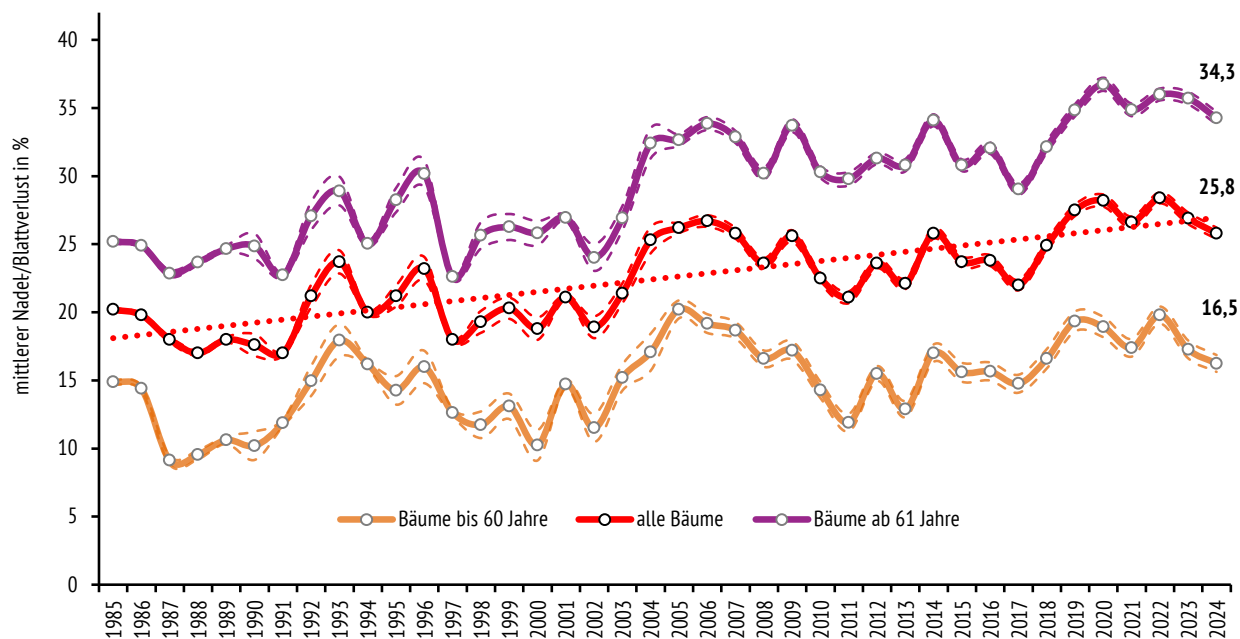
### Nadel-/Blattverlust

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung in Baden-Württemberg zeigen im zweiten Jahr in Folge eine leichte Verbesserung des Kronenzustands der Waldbäume. Die mittlere Kronenverlichtung verringert sich gegenüber dem Vorjahr um 1,1 Prozentpunkte auf 25,8 Prozent (Abb. 2) und erreicht damit den niedrigsten Wert der letzten sechs Jahre. Dennoch bleibt das Verlustniveau weiterhin über dem Schadensniveau des Trockenjahres 2018.

Während junge Bäume in der Regel vitalere Baumkronen aufweisen (Abb. 3), ist die Kronenverlichtung bei älteren Bäumen im Mittel deutlich höher. Bei der Waldzustandserhebung wird daher zwischen den Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“ unterschieden. In der zeitlichen Entwicklung ergibt sich für die beiden Altersgruppen ein weitgehend

paralleler Verlauf der mittleren Kronenverlichtung. Dieses Jahr zeigt sich eine stärkere Erholung bei den älteren Bäumen, was im Wesentlichen auf den verbesserten Kronenzustand älterer Tannen und Kiefern zurückzuführen ist.

Sowohl bei den jüngeren als auch bei den älteren Bäumen ist im langjährigen Trend eine deutliche Zunahme der Waldschäden seit Beginn der Waldzustandserhebung zu erkennen. In den vergangenen zwanzig Jahren haben vor allem klimabedingte Belastungen zu anhaltenden Vitalitätsverlusten in den Wäldern geführt. Zu den Hauptursachen zählen hohe Sommertemperaturen, langanhaltende Dürren sowie zunehmende Spätfrostgefahr, die in hohem Maße die Stabilität der Wälder beeinträchtigen und das Auftreten verschiedener Schadorganismen begünstigen. Besonders nach dem extrem heißen und trockenen Sommer 2003 und den Trockenjahren 2018 bis 2020 sind die Schäden in den Wäldern Baden-Württembergs deutlich ange-



**Abb. 2:** Entwicklung des mittleren Nadel-/Blattverlusts aller Bäume sowie der Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“. Die gepunktete Linie stellt den linearen Trend des Nadel-/Blattverlusts aller Bäume dar. Die gestrichelten Linien geben den jeweiligen Vertrauensbereich von 95 Prozent an.





**Abb. 3:** Jüngere Bäume haben oftmals eine dichte Belaubung. Links: junge Tanne, rechts: junge Eiche (Fotos: S. Meining).

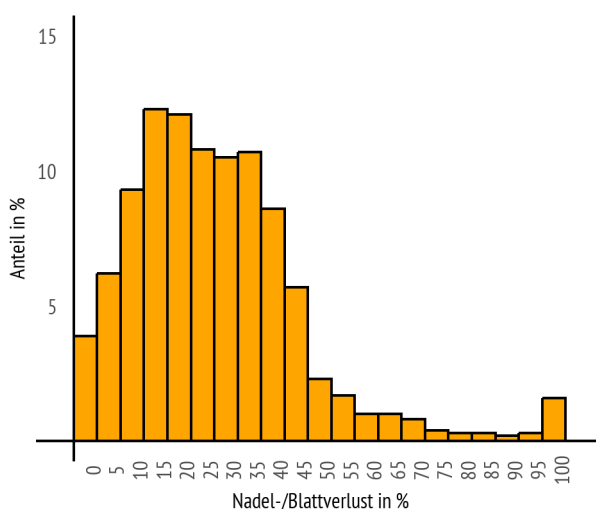
stiegen. Trotz der leichten Erholung in den letzten beiden Jahren weisen die Wälder Baden-Württembergs weiterhin ein hohes Schadensniveau auf.

Die Häufigkeitsverteilung der beobachteten Nadel-/Blattverluste zeigt, dass die Kronenverlichtung bei etwa der Hälfte aller Bäume mit 15 bis 35 Prozent bewertet wurde (Abb. 4). Nur

bei etwa vier Prozent wurde eine ungeschädigte Baumkrone ohne Nadel-/Blattverlust festgestellt, während 1,6 Prozent der Bäume als stehend tot mit 100 Prozent Nadel-/Blattverlust registriert wurden.

### Regionale Verteilung

Bedingt durch die große naturräumliche Vielfalt Baden-Württembergs, aber auch Unterschiede in den Waldbeständen (z. B. Baumartenanteile, Bestandesalter) weisen die beobachteten Schädigungsgrade eine ausgeprägte räumliche Verteilung auf. In Abbildung 6 sind die Anteile der Bäume ab einer Kronenverlichtung von 50 Prozent für jeden Landkreis in Baden-Württemberg dargestellt. Als besonders betroffen fällt hierbei der Enzkreis mit 26,6 Prozent stärker geschädigter Bäume (vor allem ältere Buchen) auf. Auch in den von Buchen und Eichen geprägten Regionen des Odenwalds, des Neckarlands und der Schwäbischen Alb sind zum Teil erhöhte Schädigungsgrade zu beobachten. Im Landkreis Waldshut ist der vergleichsweise hohe Anteil an Bäumen mit stärkerer Kronenverlichtung im Wesentlichen auf den schlechten Zustand der dort aufgenommenen Fichten zurückzuführen.



**Abb. 4:** Häufigkeitsverteilung der Nadel-/Blattverluste aller bewerteten Bäume der Waldzustandserhebung 2024.





Abb. 5: Lichter Baumbestand mit viel Totholzanteil im Hartwald bei Karlsruhe (Foto: S. Schmidt).

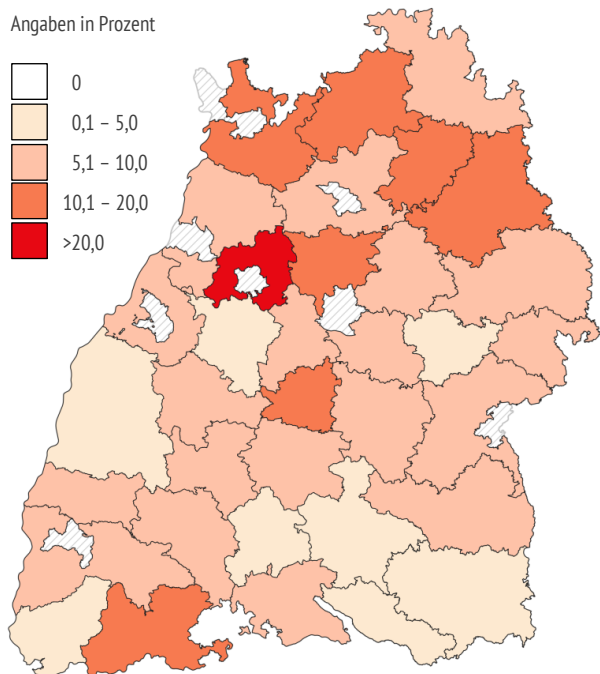


Abb. 6: Anteil an Bäumen mit einer Kronenverlichtung von mindestens 50 Prozent in den Landkreisen Baden-Württembergs. Landkreise mit weniger als 50 Bäumen in der Stichprobe wurden nicht berücksichtigt (grau gestreift).

### Schwerpunktregion Oberrheinebene

Die Oberrheinebene zählt zu den Regionen in Baden-Württemberg, die in besonderem Maße den Auswirkungen des Klimawandels ausgesetzt sind (Abb. 5). Die gegenwärtigen klimatischen Bedingungen sind gekennzeichnet durch hohe Temperaturen und geringe Winterniederschläge sowie äußerst lange Trockenphasen im Sommer, deren Häufigkeit und Intensität in Zukunft weiter zunehmen wird. Bereits heute sind die Auswirkungen auf die Wälder in der Region, von Weil am Rhein im Süden bis Schwetzingen im Norden, offensichtlich. Insbesondere die Kiefer weist auf den oft kiesigen bis sandigen, wenig wasserspeichernden Böden eine hohe Absterberate auf. Aber auch andere Baumarten wie Buche, Eiche oder Hainbuche zeigen häufig deutliche Anzeichen von Trockenstress, wie Zopftrocknis und einen hohen Totholzanteil in den Baumkronen. Vor allem auf den sandigen Standorten in der Oberrheinebene sind seit Jahrzehnten vielerorts außerdem sehr hohe Populationsdichten des Maikäfers vorzufinden, dessen Engerlinge durch Wurzelfraß besonders die Waldverjüngung erheblich beeinträchtigt und zum Absterben bringt. Zusätzlich wird eine Etablierung standortangepasster heimischer Baumarten auf vielen Flächen durch das starke Vorkommen von



invasiven Pflanzenarten wie der Kermesbeere, der Spätblühenden Traubenkirsche oder des Japanknöterichs erschwert.

Für weite Teile der stark aufgelichteten Wälder der Region ist das waldbauliche Ziel heute in erster Linie die Walderhaltung, damit wichtige Ökosystemleistungen des Waldes unter den sich ändernden Klimabedingungen dauerhaft für zukünftige Generationen sichergestellt werden.

Vor diesem Hintergrund hat sich im Jahr 2020 in der nördlichen Oberrheinebene die „Arbeitsgruppe Hardtwald“ (AG Hardtwald) mit Vertretern der Unteren Forstbehörden, von ForstBW, der Forstdirektion und der FVA Baden-Württemberg zusammengeschlossen. Ziel der AG Hardtwald ist es, für die klimasensitive Region zwischen Rastatt und Mannheim forstliche Konzepte für die zukünftige Behandlung der Wälder im Hardtwald zu entwickeln. Um das Schadensausmaß in den Wäldern zu erfassen, wurde 2022 auf Bestandesebene eine Schadansprache durch die Forstrevierleitenden durchgeführt. Allein im Waldentwicklungstyp Kiefer sind dabei über ein Drittel der Bestandesfläche (> 2.700 Hektar) in die höchste Schadklasse eingestuft worden (MOOSMAYER, 2024).

## Abgestorbene und ausgefallene Bäume

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung zeigen, dass die Gesamtausfallrate der Bäume dieses Jahr mit 4,5 Prozent gegenüber dem Vorjahr leicht angestiegen ist (Abb. 7). Die Gesamtausfallrate setzt sich aus der Ausfall- und der Mortalitätsrate zusammen. Die Ausfallrate umfasst alle Bäume, die seit der letzten Erhebung entfernt wurden (planmäßige und zufällige Nutzung) oder durch andere Gründe wie Windwurf und Kronenbruch dieses Jahr nicht mehr aufgenommen werden können. Im Gegensatz dazu gibt die Mortalitätsrate den Prozentsatz der Bäume an, die seit der letzten Erhebung abgestorben sind, aber noch im Waldbestand stehen.

Mit 15,1 Prozent ist die Ausfallrate bei der Esche besonders hoch. Die Baumart wird seit Jahren landesweit von dem pilzlichen Erreger des Eschentriebsterbens massiv geschädigt und zum Absterben gebracht. Eine höhere Ausfallrate mit 5,0 Prozent ist auch für die von Borkenkäfer stark befallene Fichte zu verzeichnen (Abb. 8). Bei der Kiefer und der Tanne liegt die Ausfallrate aktuell mit 4,2 bzw. 4,0 Prozent etwas darunter. Für die Laubbaumarten Buche und Eiche werden mit 2,9 bzw.

## Aktuelle FVA-Projekte

### Anpassungsstrategien für den Erhalt der Ökosystemleistungen von Wäldern in Klimawandel-Hotspots (WaldlabOR)

Im Rahmen des Verbundprojektes „WaldlabOR“ untersucht die FVA Baden-Württemberg zusammen mit der Universität Freiburg und dem Praxispartner Landkreis Karlsruhe den Klimawandel-Hotspot Oberrhein mit dem Ziel, neue Konzepte der Waldbewirtschaftung zu entwickeln. Hierbei sollen unter anderem Risiken und Risikostandorte mit verbesserten Umweltmodellen präziser identifiziert sowie geeignete waldbauliche Lösungen erarbeitet werden. Hierfür werden zum Beispiel innovative Bewässerungsmethoden getestet, um die Überlebenschancen von Forstkulturen in Phasen extremer Trockenheit zu erhöhen. Zudem wird geprüft, wie die waldbauliche Ziele auch unter einer hohen Populationsdichte des Maikäfers erreicht werden können. Auch die Auswirkungen des Klimawandels auf vorhandene Schutzgebiete und die Notwendigkeit einer Anpassung von Schutzgebietskonzepten werden untersucht. Mithilfe einer Risikomodellierung werden in unterschiedlichen Szenarien die Waldentwicklung und deren Auswirkung auf verschiedene Ökosystemleistungen quantifiziert. Darüber hinaus sollen auf der Grundlage von qualitativer Forschung Vorschläge für die Verbesserung von Partizipationsprozessen im Kommunalwald erarbeitet werden.

Das Projekt ist Teil der REGULUS-Innovationsgruppe und wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.



[www.waldlabor-oberrhein.de/das-waldlabor](http://www.waldlabor-oberrhein.de/das-waldlabor)

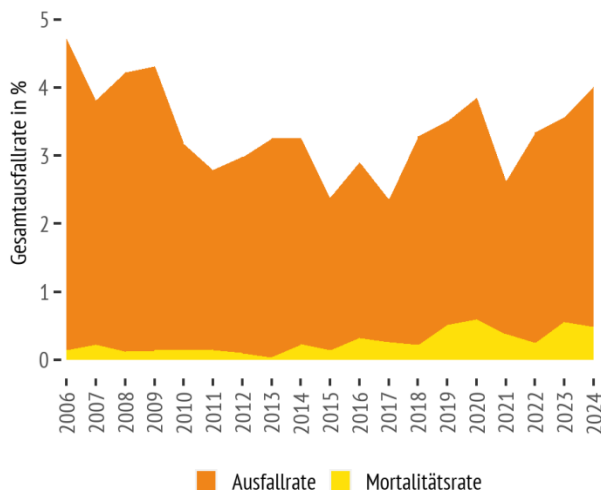


1,2 Prozent noch vergleichsweise geringe Ausfallraten bestimmt.

Die Mortalitätsrate ist im Vergleich zum Vorjahr von 0,6 auf 0,5 Prozent leicht abgesunken (Abb. 7). Sie liegt jedoch weiterhin über dem langjährigen Mittel, was im Wesentlichen durch den seit Jahren erhöhten Anteil an abgestorbenen Eschen begründet ist. Zudem stieg die Mortalitätsrate der Kiefern dieses Jahr auffallend stark an. Zu beachten ist jedoch, dass insbesondere bei den Baumarten Fichte und Tanne Käferbäume im Rahmen des Borkenkäfermonitorings in der Regel schnell aus dem Bestand entfernt werden und so zwar in die Ausfallrate, jedoch nicht in die Mortalitätsrate der Waldzustandserhebung einfließen.

Seit 2006 sind auf dem einheitlichen Raster des 8x8 km-Netzes 58 Prozent der ursprünglich aufgenommenen Fichten ausgefallen. Für die Esche liegt der Wert sogar noch etwas darüber. Deutlich geringer ist hingegen der Prozentanteil bei den Eichen: Hier sind 34 Prozent der im Jahr 2006 aufgenommenen Eichen aktuell nicht mehr in der Stichprobe vertreten. Zu

berücksichtigen ist, dass hierbei verschiedene Ausfallgründe (planmäßige Nutzung, Sturm, Insekten etc.) sowie unterschiedliche Altersstufen von Jungwüchsen bis Altbeständen im Kollektiv enthalten sind.



**Abb. 7:** Anteil der Gesamtausfallrate unterteilt in Ausfall- und Mortalitätsrate (berechnet auf dem einheitlichen 8x8 km-Netz ab 2006).



**Abb. 8:** Durch Borkenkäferbefall abgestorbene Fichten in der Nähe von Pfullendorf (Foto: S. Meining).



## Vergilbung

Neben dem Nadel-/Blattverlust wird die Vergilbung der Baumkronen verwendet, um die Schadstufeneinteilung der Bäume zu berechnen. Zu Beginn der Waldschadensdiskussion Anfang der 1980er Jahre traten Vergilbungserscheinungen an den Nadeln und Blättern großflächig in vielen Regionen Baden-Württembergs als eindeutiges Anzeichen einer Nährstoffunterversorgung der Wälder auf. Insbesondere an Fichten und Tannen wurde damals aufgrund von hohen Säureeinträgen auf exponierten Standorten der Mittelgebirgsregionen, wie z. B. des Schwarzwalds oder des Odenwalds, ein hoher Vergilbungsanteil festgestellt. Mittlerweile sind erheblich weniger Bäume von einer akuten Vergilbung betroffen. Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung zeigen, dass derzeit lediglich 0,7 Prozent der Waldfläche eine Vergilbung aufweisen. Die in den letzten Jahrzehnten reduzierten Säureeinträge aus der Luft und die mittlerweile großflächig durchgeführten Bodenschutzkalkungen haben eine allmähliche Regeneration der Waldböden und somit eine langfristig verbesserte Ernährungssituation der Waldbäume eingeleitet.

Während immissionsbedingte Verfärbungen der Nadeln nur noch selten auftreten, wurden in den letzten Jahren häufiger Vergilbungssymptome an Laubhölzern beobachtet, die sich im Verlauf des Sommers nach länger anhaltenden Dürrephasen

entwickeln. Durch die unzureichende Wasserversorgung und gleichzeitig hohe Verdunstung leiden die Bäume oftmals unter Trockenstress und können so weniger Nährstoffe aufnehmen, so dass es zu einer Verfärbung der Blätter kommt. Zudem treten neben den klassischen Vergilbungssymptomen auch andere Verfärbungen wie Verbraunung oder Rotfärbung der Blattorgane auf, die nicht einer einzigen Ursache zugeordnet werden können, sondern häufig aus einem Zusammenspiel zwischen abiotischen und biotischen Ursachen resultieren.

## Schadstufen

Die Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2024 zeigen eine Abnahme der deutlich geschädigten Waldfläche in Baden-Württemberg. Aktuell sind insgesamt 40 Prozent der Waldfläche deutlich geschädigt (Schadstufen 2 bis 4) und damit so wenig wie seit dem Jahr 2018 nicht mehr (Abb. 9). Gleichzeitig hat sich unter den günstigen Witterungsbedingungen der Anteil der ungeschädigten Waldfläche (Schadstufe 0) in diesem Jahr auf 24 Prozent erhöht. Mit insgesamt 36 Prozent ist ebenfalls der Anteil an schwach geschädigter Waldfläche (Schadstufe 1) angestiegen. Die positive Entwicklung der Schadstufenentwicklung in diesem Jahr sollte jedoch nicht über das weiterhin erhöhte Schadniveau der Wälder hinwegtäuschen: Einerseits ist der Anteil stark geschädigter Waldfläche seit mehreren Jahren

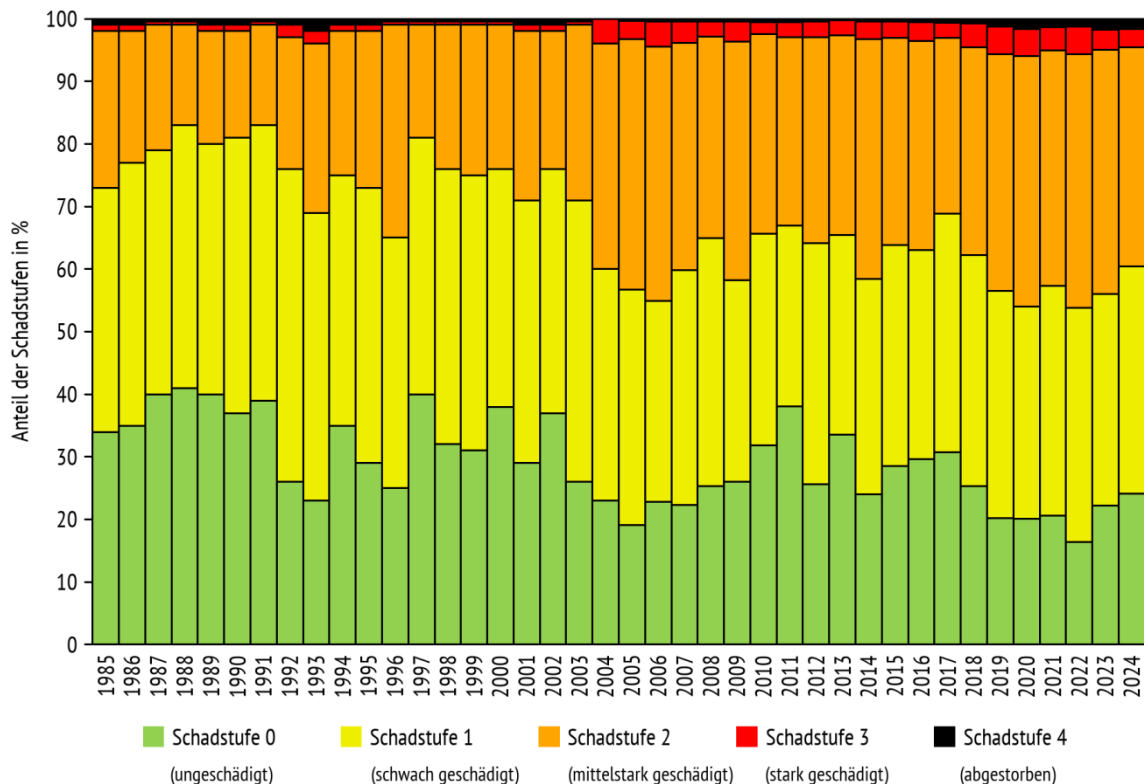


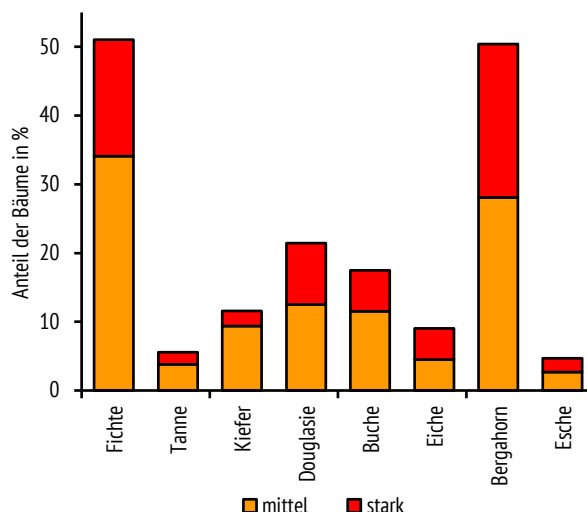
Abb. 9: Schadstufenverteilung der Waldzustandserhebung von 1985 bis 2024.

nahezu konstant hoch, während andererseits die ungeschädigte Waldfläche im Vergleich der Zeitreihe sehr niedrig ist.

### Fruktifikation

Dieses Jahr ist vor allem bei den Baumarten Fichte und Bergahorn eine starke Fruchtbildung in den Baumkronen zu erkennen (Abb. 10). Knapp über 50 Prozent aller Bäume im blühfähigen Alter dieser beiden Baumarten zeigen in diesem Sommer einen mittelstarken bis starken Fruchtbehang. Auch Nebenbaumarten wie Linde und Erle fallen dieses Jahr durch eine starke Fruktifikation auf. Im Gegensatz dazu ist der Anteil an fruktifizierenden Bäumen bei den Baumarten Tanne, Kiefer, Buche und Esche deutlich geringer und hat im Vergleich zum Vorjahr sogar abgenommen. Besonders auffällig ist die weitgehende „Fruchtpause“ bei der Buche, die im vergangenen Jahr noch viele Bucheckern gebildet hat. Bei den Baumarten Douglasie und Eiche wurden zwar insgesamt ebenfalls nur wenige Bäume mit stärkerer Fruktifikation festgestellt, jedoch ist der Anteil der Fruktifikation bei diesen beiden Baumarten im Vergleich zum Vorjahr leicht angestiegen (Abb. 11).

Eine intensive Fruktifikation stellt für Bäume eine erhebliche physiologische Belastung dar. Die Bildung von Früchten wie Bucheckern, Eicheln oder Zapfen erfordert große Mengen an



**Abb. 10:** Anteil der Bäume mit mittlerer und starker Fruktifikationsintensität der Hauptbaumarten im Jahr 2024. Nur Bäume im blühfähigen Alter (> 49 Jahre).

Nährstoffen und Energiereserven. In Jahren mit starker Fruchtbildung wird oft das vegetative Wachstum zugunsten der Fruchtproduktion eingeschränkt, was häufig zu einer geringeren Blattmasse, schwächerer Seitenverzweigung und vermindertem Zuwachs führt. Dieser Effekt ist besonders ausgeprägt bei Baumarten mit großen Samen, wie Buche und Eiche, die in solchen Jahren häufig einen schlechteren Kronenzustand aufweisen.



**Abb. 11:** Stieleiche mit vielen grünen Eicheln (Foto: S. Meining).



## Fichte

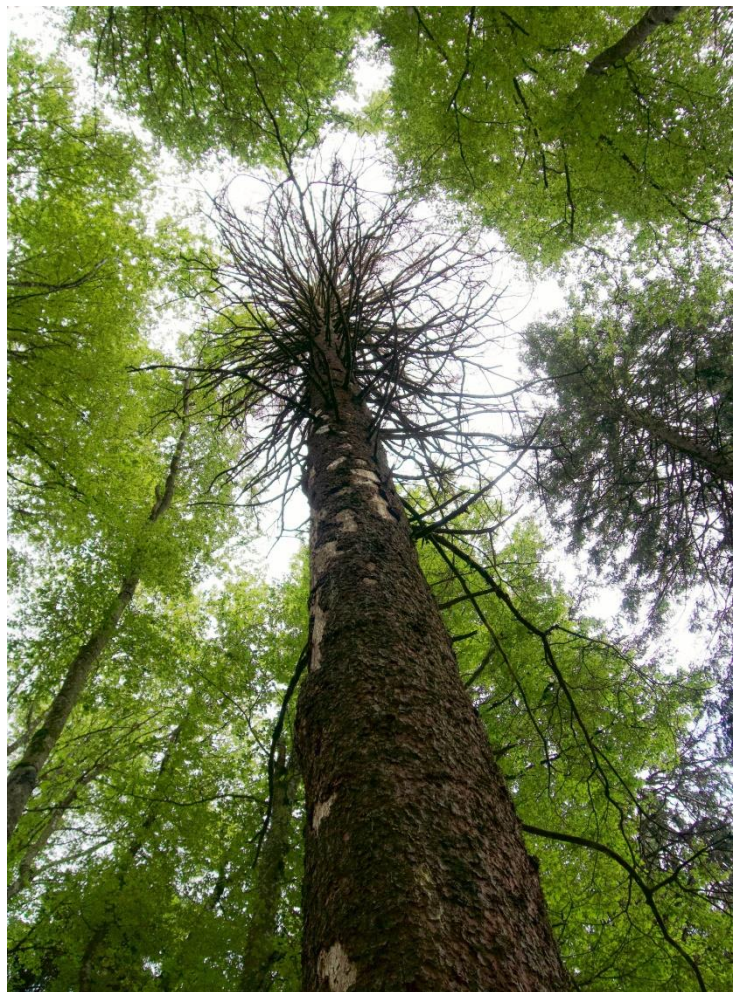
Der Kronenzustand der Fichte hat sich im Jahr 2024 gegenüber dem Vorjahr kaum verändert. Der mittlere Nadelverlust erhöht sich nur geringfügig um 0,6 Prozentpunkte auf 25,5 Prozent (Abb. 13). Damit verbleibt der Wert im vierten Jahr infolge im Mittel nahezu unverändert. Während die mittlere Kronenverlichtung der älteren Fichten auf hohem Schadniveau weitgehend konstant bleibt, erhöht sich das Verlustprozent dieses Jahr bei den jüngeren Fichten leicht. Insgesamt gelten 37 Prozent der Fichtenfläche in Baden-Württemberg als deutlich geschädigt. 42 Prozent sind schwach geschädigt und 21 Prozent ungeschädigt (Abb. 15).

Seit mehreren Jahren gerät die Baumart Fichte in den häufig sehr trockenen und heißen Frühjahrs- und Sommermonaten zunehmend unter Druck. In länger anhaltenden Dürreperioden kommt es bei der eher flachwurzelnden Fichte schnell zu Vitalitätseinbußen, die sich häufig in Kurztriebigkeit und vorzeitigem Nadelabwurf äußern. Zudem ist sie stark durch das massenhafte Auftreten verschiedener Borkenkäferarten gefährdet. In einigen Bereichen Baden-Württembergs, insbesondere in tieferen Lagen und warm-trockenen Regionen, ist daher eine geregelte Fichtenbewirtschaftung bereits heute nicht mehr erfolgversprechend.

Trotz der niederschlagsreicheren Witterung der letzten Monate ist die Massenvermehrung der an Fichte vorkommenden Borkenkäfer, vor allem des Buchdruckers (*Ips typographus*), nach wie vor ungebrochen und war auch in diesem Sommer empfindlich zu spüren. So liegt der durch Borkenkäfer verursachte Schadholzeinschlag immer noch weit über dem Niveau der Jahre vor der seit 2018 landesweit eingetretenen Massenvermehrung. Die adulten Käfer des Buchdruckers bohren sich in die Rinde ein und legen dort ihre Brut an. Nach Eiablage und dem Ausschlüpfen der Larven fressen diese unter der Rinde weiter, zerstören so die Leitbahnen und bringen den Baum schließlich zum Absterben (Abb. 12).

In diesem Jahr bremste zunächst die kühl-feuchte Witterung im Mai die Entwicklung der Fichtenborkenkäfer, die bereits im April bei fröhsommerlichen Temperaturen zum ersten Mal ausgeschwärmt waren. Doch führte danach die warm-trockene Sommerwitterung im Juli und August wieder zu günstigen Bedingungen für die weitere Entwicklung und Ausbreitung. Ausgehend von einer bereits sehr hohen Ausgangspopulation vermehrten sich die Borkenkäfer weiterhin massenhaft und

führten landesweit erneut zu einem hohen Schadholzaufkommen (FVA BADEN-WÜRTTEMBERG, 2024a). Obwohl die gute Wasserversorgung im Frühjahr die Widerstandskraft der Fichten in diesem Jahr erhöhte und die Fichten einen ersten Befall häufig durch den starken Harzfluss abwehren konnten, fielen im Verlauf des Sommers viele Fichten durch den großen Populationsdruck dem Käfer zum Opfer. Zusätzlich erschwerten die regelmäßigen Niederschläge im Frühjahr und Frühsommer in der forstlichen Praxis das zu dieser Zeit für das Borkenkäfermanagement besonders wichtige Auffinden befallener Fichten, da das Bohrmehl durch den Regen abgewaschen wurde und frischer Befall oftmals schwer zu erkennen war.



**Abb. 12:** Abgestorbene Fichte mit abfallender Rinde nach Buchdruckerbefall (Foto: C. Wegscheider).

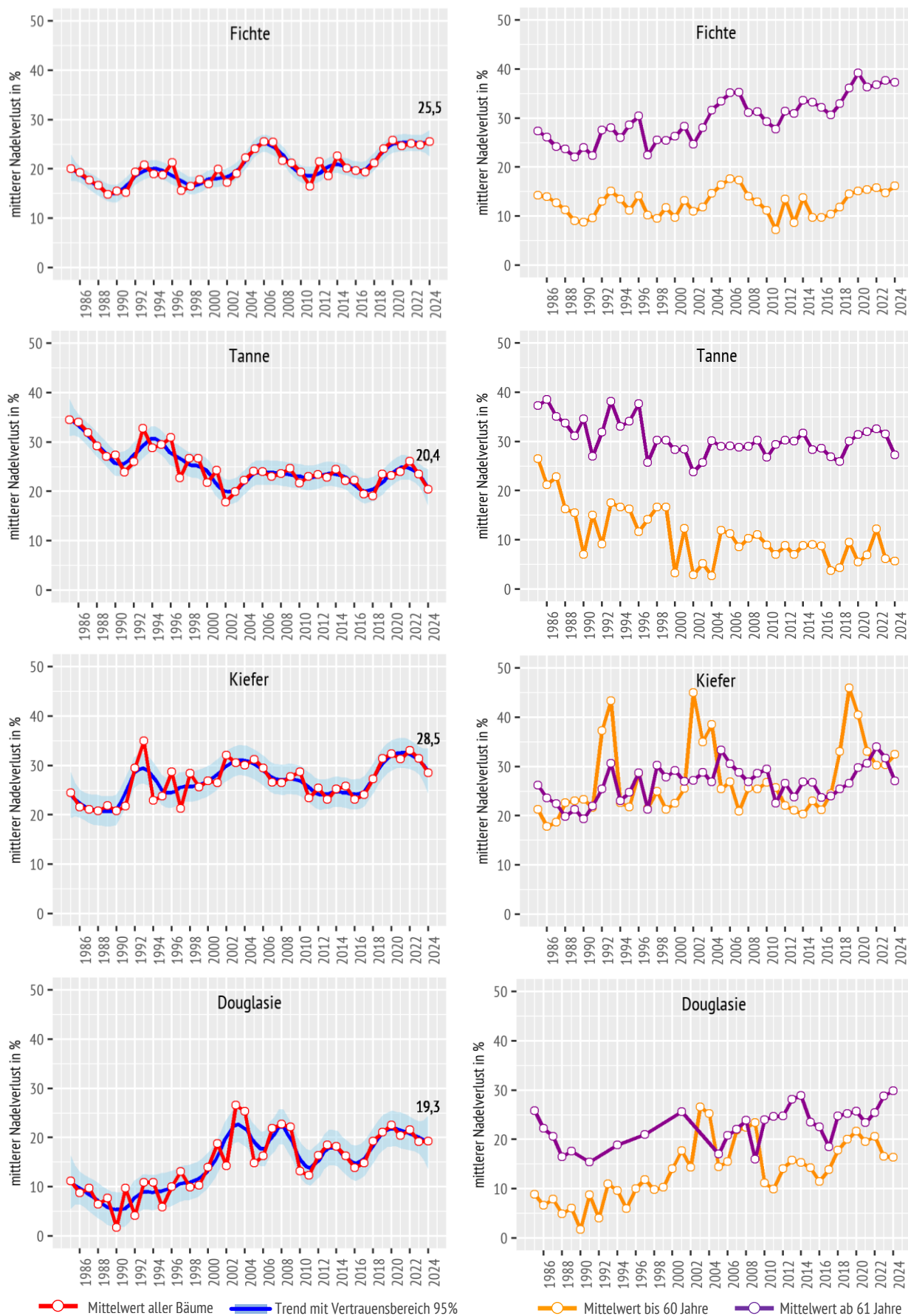


Abb. 13: Mittlerer Nadelverlust der Jahre 1985 bis 2024 der Baumarten Fichte, Tanne, Kiefer und Douglasie. Links: alle Bäume, rechts: Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“.



## Waldstrategie Baden-Württemberg 2050

### DigitalDetect – dem Buchdrucker auf der Spur

Um dem Borkenkäferproblem in Zeiten des zunehmenden Klimawandels beizukommen, ist ein effizientes Borkenkäfer-Management wichtiger denn je: Nur eine frühzeitige Erkennung von Befall im Bestand garantiert, dass befallene Bäume rechtzeitig entnommen werden können, noch bevor die Folgegeneration aus dem Baum ausfliegt und für weiteren Befall sorgt. Bisher konnte frischer Befall nur durch aufwendige terrestrische Befallskontrollen erkannt werden. Daher stellt sich die Frage, ob in Zukunft Fernerkundungsmethoden dabei helfen können, den Aufwand der Befallskontrollen zu reduzieren und die Effizienz der gesamten Borkenkäfer-Managementkette zu erhöhen.

Das Projekt „DigitalDetect“ arbeitet an Methoden der Fernerkundung zur möglichst frühen Erfassung von Borkenkäferbefall an Fichte. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Erkennung von Überwinterungsbäumen, also im Sommer befallenen Bäumen, in denen die Käfer überwintern und erst im Frühjahr wieder ausfliegen. Konkret wird untersucht, zu welchem Zeitpunkt im Jahr und mit welcher Genauigkeit diese Bäume erkannt werden und inwieweit Witterung und Schneebedeckung die Erkennung beeinflussen. Konventionelle Kontrollen dienen als Referenz für die gewonnenen Satelliten- und Drohnen- und Daten. Die Untersuchungen finden im Nationalpark Schwarzwald statt, wo kein Borkenkäfer-Management stattfindet und Bäume somit über die gesamte Zeit von Befall bis Ausflug beobachtet werden können.



[www.fva-bw.de/fernerkundung/schaderfassung](http://www.fva-bw.de/fernerkundung/schaderfassung)

### Tanne

Der Kronenzustand der Tanne hat sich gegenüber dem Vorjahr deutlich verbessert. Der mittlere Nadelverlust verringert sich um 3,1 Prozentpunkte auf 20,4 Prozent (Abb. 13). Somit sinkt das Verlustprozent der Tanne im zweiten Jahr hintereinander, bleibt jedoch weiterhin leicht über dem Wert aus dem Trockenjahr 2018. In diesem Jahr ist besonders die Verbesserung des Kronenzustands älterer Tannen deutlich zu erkennen. Im Gegensatz dazu bleibt die mittlere Kronenverlichtung bei jüngeren Tannen, nach einer starken Erholung im Vorjahr, auf niedrigem Niveau weitgehend konstant. Im Vergleich zur Fichte ist der Anteil deutlich geschädigter Waldfläche bei der Tanne mit insgesamt 30 Prozent auffallend gering und der Anteil ungeschädigter Tannenfläche mit 37 Prozent vergleichsweise hoch (Abb. 15). 33 Prozent der Waldfläche sind bei der Tanne als schwach geschädigt eingestuft.

Als tiefwurzeln- de Baumart ist die Tanne in der Lage, länger anhaltende Trockenphasen besser zu überstehen als andere Baumarten. Dies trifft insbesondere auf die häufig flachwurzeln- de Fichte zu, die oftmals auf den gleichen Standorten mit der Tanne vergesellschaftet ist. Allerdings stellte der enorme Trockenstress der Jahre 2018 bis 2020 auch für die Tanne eine hohe Belastung dar, die sich in einem schlechteren Kronenzustand und einer erhöhten Mortalität äußerte. Die letzten beiden Jahre, mit vergleichsweise vielen und regelmäßigen Niederschlägen, scheinen jedoch das große Regenerationsvermögen der Baumart Tanne zu belegen, die höhere Nadelverluste unter günstigen Wuchsverhältnissen offenbar innerhalb kurzer Zeit wieder ausgleichen kann.

Die hohe Vitalität der Tanne zeigt sich auch in einer spürbar verringerten Belastung durch Tannenborkenkäfer. Nachdem in den vergangenen Jahren häufig rot verfärbte Tannen mit

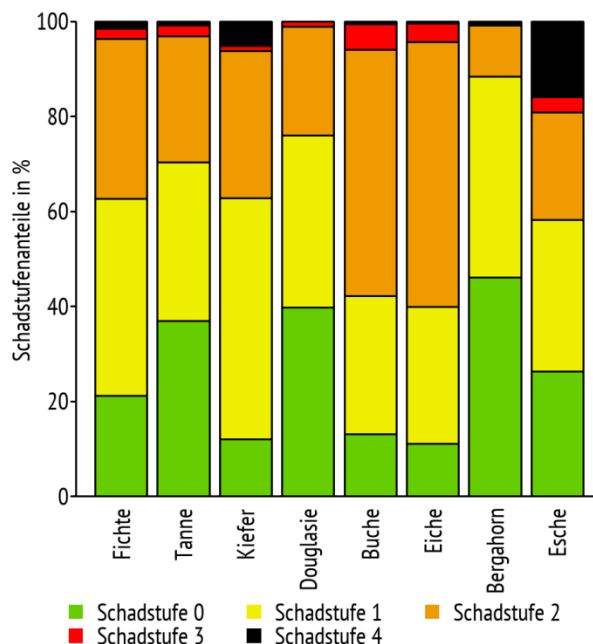
Borkenkäferbefall aufzufinden waren, ist aktuell ein merklicher Rückgang der Tannenschadholzmenge zu verzeichnen (FVA BADEN-WÜRTTEMBERG, 2024a). Auffallend ist aber der weiterhin hohe Parasitierungsgrad durch die Tannenmistel (*Viscum album ssp. abietis*), die dem Baum Wasser und darin gelöste Nährstoffe entzieht. Knapp 20 Prozent aller aufgenommenen Tannen weisen Mistelbefall in der Baumkrone oder am Stamm auf. Zudem ist an älteren Tannen häufig eine Verbraunung der innenliegenden Nadeln zu beobachten, was auf unterschiedliche Schadauslöser wie klimabedingten Stress, Nährstoffmangel und/oder Pilzbefall hindeuten kann.

### Kiefer

Der mittlere Nadelverlust der Kiefer verringert sich dieses Jahr um 2,9 Prozentpunkte auf 28,5 Prozent (Abb. 13). Damit ist auch bei der Kiefer im zweiten Jahr infolge eine Verbesserung des Kronenzustands zu erkennen. Allerdings ist in diesem Jahr nur bei den älteren Kiefern eine Verringerung des Nadelverlusts zu erkennen, während in der jüngeren Altersgruppe das



**Abb. 14:** Kiefer mit starkem Mistelbefall in der Baumkrone (Foto: S. Meining).



**Abb. 15:** Anteile der Schadstufen für die Hauptbaumarten im Jahr 2024. Die Schadstufen 2 bis 4 werden zur deutlich geschädigten Waldfläche zusammengefasst.

Schadniveau ansteigt. Im Vergleich zu anderen Baumarten fällt der Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen bei der Kiefer aber gering aus, da die Stichprobe vergleichsweise wenige Kiefern unter 60 Jahren umfasst. 37 Prozent der Kiefernfläche in Baden-Württemberg gilt aktuell als deutlich geschädigt (Abb. 15). Besonders auffällig ist der hohe Anteil an stehend abgestorbenen Kiefern (fünf Prozent). Demgegenüber sind lediglich 12 Prozent der Kiefernfläche in Baden-Württemberg ungeschädigt, während 51 Prozent als schwach geschädigt eingestuft werden.

In diesem Jahr konnte die Kiefer aufgrund der guten Wasserversorgung oftmals einen vitalen Jahrestrieb anlegen, was häufig zu dichteren Baumkronen führte. Zudem war die Blüh- und Fruktifikationsaktivität der meisten Kiefern in diesem Jahr vergleichsweise gering. Nichtsdestotrotz bleibt der Zustand der Kiefer auf bestimmten Standorten Baden-Württembergs weiter angespannt.

Die vergangenen Jahre haben mit ihren ausgeprägten Dürrephasen, langanhaltenden Hitzeperioden und milden Wintern zu einem erheblichen Vitalitätsverlust der Kiefern beigetragen. Infolgedessen sind, vor allem auf den warm-trockenen Standorten der Oberrheinebene, stark erhöhte Ausfallraten zu verzeichnen. Häufig wird die angespannte Wasserversorgung auf den dort vornehmlich vorkommenden sandig-kiesigen Stand-



orten zudem durch einen starken Mistelbefall (*Viscum album ssp. austriacum*) der Bäume verstärkt (Abb. 14). Durch den Trockenstress erhöht sich zudem die Anfälligkeit der Kiefern gegenüber dem Diplodia-Triebsterben, das durch einen pilzlichen Erreger ausgelöst wird, der lange in der Kiefer symptomlos vorkommt und erst in Schwächephasen des Baumes ausbricht. Ein Befall durch rindenbrütende Kiefernprachtkäfer und -borkenkäfer bringt die Kiefern dann meist vollends zum Absterben, was sich in diesem Jahr in einer auffallend angestiegenen Ausfall- und Mortalitätsrate der Kiefer zeigte.

## Douglasie

Nachdem sich der Kronenzustand der Douglasie im vergangenen Jahr verbessert hat, bleibt die mittlere Kronenverlichtung in diesem Jahr mit 19,3 Prozent nahezu konstant (Abb. 13). Allerdings ist in diesem Jahr, wie bereits seit einigen Jahren, eine weitere Verschlechterung des Kronenzustands älterer Douglasien zu erkennen. Dagegen ist das Kronenverlustprozent bei den jüngeren Douglasien in den letzten beiden Jahren gesunken. Insgesamt 24 Prozent der Douglasienfläche gelten aktuell als deutlich geschädigt (Abb. 15). Vergleichsweise groß ist der Anteil an ungeschädigter Douglasienfläche (40 Prozent), was mit dem hohen Anteil junger Douglasien in der Stichprobe zusammenhängt. 36 Prozent der Douglasienfläche im Land sind schwach geschädigt.

Oftmals ist an Douglasien eine Verlichtung der Baumkrone von innen nach außen zu beobachten. Durch den vorzeitigen Abwurf älterer Nadeljahrgänge lichten sich die inneren Bereiche der Baumkrone auf, so dass auch die Stammachse des Baumes im Bereich der Krone sichtbar wird (Abb. 16). Neben vorzeitigem Nadelverlust durch abiotische Faktoren wie Trockenheit und Hitze kann dabei häufig die Rußige Douglasienschütte eine entscheidende Rolle spielen. Durch einen pilzlichen Erreger (*Phaeocryptopus gaeumannii*) werden die Nadeln der Douglasie geschädigt und es kommt zunächst zu Vergilbungserscheinungen und schließlich zu einer intensiven Nadelschütte. Betroffen sind jeweils nur die älteren Nadeljahrgänge der Douglasie. Der aktuelle Nadeljahrgang bleibt bei starkem Befall als einziger meist vollständig am Baum. Derartige Schädigungen sind über mehrere Jahre in den Kronen sichtbar und waren auch in diesem Jahr die wesentliche Ursache für die erhöhte Kronenverlichtung älterer Douglasien.



Abb. 16: Stark aufgelichtete Douglasie (Foto: S. Meining).

Zusätzlich sind seit einigen Jahren an Douglasien auch Schäden durch die Douglasien-Gallmücke (*Contarinia pseudotsugae*) zu beobachten. Die Larven der Gallmücke bohren sich im Frühjahr kurz nach dem Austrieb in die jungen Nadeln, die sich anschließend verdicken und bis in den Sommer rötlich bis braun verfärben. Die geschädigten Nadeln fallen häufig vorzeitig ab. Im Gegensatz zur Rußigen Douglasienschütte sind hier vorwiegend die jüngeren Nadeljahrgänge der Douglasie betroffen.

## Sonstige Nadelbäume

In der Stichprobe der Waldzustandserhebung wird die Gruppe der sonstigen Nadelbäume sehr stark von der Lärche dominiert, die sich aus den Arten Europäische Lärche und Japanische Lärche zusammensetzt. Daneben finden sich einzelne Bäume von Schwarzkiefer und Thuja.

Nachdem die Lärchen im letzten Jahr eine sichtbare Erholung im Kronenzustand aufzeigten, bleibt der Zustand der Baumkro-

nen in diesem Jahr weitgehend konstant. Insbesondere auf den höher gelegenen Standorten der Mittelgebirge bildet die sommergrüne Nadelbaumart oftmals in Mischung mit Tanne, Fichte und Buche ökologisch wertvolle und stabile Waldbestände. Auf warm-trockenen Standorten der unteren Lagen ist die Lärche dagegen häufig durch den Befall des Lärchenbornekäfers (*Ips cembrae*) gefährdet.

## Buche

Der Kronenzustand der Buche hat sich gegenüber dem Vorjahr leicht verbessert. Der mittlere Blattverlust verringert sich um 1,0 Prozentpunkte auf 31,3 Prozent (Abb. 18). Während bei den älteren Buchen trotz geringer Fruktifikation dieses Jahr nur ein leichter Rückgang des Blattverlusts zu verzeichnen ist, geht die Kronenverlichtung bei den jüngeren Buchen etwas stärker zurück. Insgesamt sind 58 Prozent der Buchenfläche in Baden-Württemberg deutlich geschädigt (Abb. 15). Der Anteil an stark geschädigten Buchen ist hierbei mit fünf Prozent im Vergleich zu den meisten anderen Baumarten vergleichsweise hoch.

Demgegenüber gelten aktuell lediglich 13 Prozent der Buchenwälder als ungeschädigt und 29 Prozent als schwach geschädigt.

Der Zustand der Buche hat unter der zunehmenden Hitze und Dürre der letzten Jahre stark gelitten. Insbesondere infolge des extrem heißen und trockenen Jahres 2018 stieg der mittlere Blattverlust stark an. Seither hat sich der Vitalitätszustand der Buchen nur wenig erholt. Auch nach dem eher feuchten Jahr 2023 und dem regenreicheren Jahr 2024 kann zumindest bei den älteren Buchen noch kaum eine Verbesserung des Kronenzustands festgestellt werden. Oftmals sind die Dürreschäden der letzten Jahre noch in den Baumkronen in Form von fehlender Blattmasse und Totästen erkennbar, ohne dass bisher eine wesentliche Regeneration der degenerierten Verzweigungsstruktur stattgefunden hat (Abb. 17).

Bei der Buche besteht zudem ein enger Zusammenhang zwischen dem Kronenzustand und der Fruktifikationsintensität. In Jahren mit starkem Fruchtbehang bildet die Buche in der Regel weniger und kleinere Blätter aus, so dass die Kronenver-



**Abb. 17:** Buchenkronen mit schlechter Belaubung und hohem Anteil an Trockenästen (Foto: S. Meinung).



lichtung zum Teil deutlich ansteigt. Im jeweiligen Folgejahr konnte bisher immer eine weitgehende Regeneration der Bäume festgestellt werden. In diesem Jahr zeigt sich eine andere Situation: Nachdem die Buchen im letzten Jahr stark fruktifiziert haben und der Blattverlust aufgrund der relativ günstigen Witterungsverhältnisse nur leicht angestiegen ist, bleibt eine sichtbare Erholung in diesem Jahr größtenteils aus. Dies kann mit der extremen Vorschädigung vieler Buchen im Kronen- und Wurzelbereich zusammenhängen, wodurch das Regenerationsvermögen der Buchen herabgesetzt ist.

Schadensverstärkend wirkt sich dieses Jahr auch ein gegenüber dem Vorjahr leicht erhöhter Blattfraß durch den Buchenspringrüssler (*Rhynchaenus fagi*) aus. Während die adulten Käfer einen typischen Lochfraß verursachen, kommt es durch die Käferlarven zu einem Minierfraß an den Blättern. Die Blätter verfärben sich in der Folge braun und sterben teilweise ab. In Einzelfällen kann davon die gesamte obere Baumkrone betroffen sein. Zudem sind die in den letzten Jahren vorgeschädigten

Buchen häufig anfällig gegenüber anderen Schadorganismen wie Pfennig-Kohlenkruste, Borken- und Prachtkäfer und Holzbrütenden Insekten (DELB et al., 2024).

### Eiche

Nachdem sich die Vitalität der Eiche im letzten Jahr verbessert hat, ist in diesem Jahr wieder eine Verschlechterung des Kronenzustands zu beobachten. Der mittlere Blattverlust erhöht sich um 2,2 Prozentpunkte auf 31,6 Prozent (Abb. 18). Verantwortlich für diesen Anstieg sind im Wesentlichen die älteren Eichen, deren Verlustprozent sich merklich erhöht. Dagegen ist bei den jüngeren Bäumen im Mittel eine Verbesserung des Kronenzustands zu beobachten. Insgesamt gelten 60 Prozent der Eichenfläche als deutlich geschädigt – so viel wie bei keiner anderen Baumart (Abb. 15). Gleichzeitig gelten nur elf Prozent der Eichenfläche als ungeschädigt und 29 Prozent als schwach geschädigt.

## Waldstrategie Baden-Württemberg 2050

### Die Waldentwicklungstypen im Klimawandel (WET<sub>2024</sub>)

Für die Entwicklung der WET<sub>2024</sub> haben Expertinnen und Experten aus Forschung und Praxis der Landesforstverwaltung, der FVA Baden-Württemberg, von ForstBW und der Naturschutzverwaltung eng zusammengearbeitet. Das Ergebnis ist ein umfassender und anschaulicher Werkzeugkasten für die Waldbewirtschaftung im Klimawandel. Die WET<sub>2024</sub> bauen dabei auf den seit mehr als 30 Jahren bewährten Grundsätzen des Konzeptes „Naturnahe Waldwirtschaft“ auf und passen diese an die Herausforderungen im Klimawandel an.

Die WET<sub>2024</sub> zeigen verschiedene Wege auf, um die Wälder in ihrer Vitalität zu fördern und so bestmöglich an die Folgen des Klimawandels anzupassen. Jedoch sind die genauen Auswirkungen des Klimawandels auf die Wälder mit vielen Unsicherheiten verbunden. Daher sind die langfristigen Ziele für die Waldbestände offener formuliert und mittelfristige Ziele können, im Sinne eines adaptiven Waldmanagements, angepasst werden.

Das Risiko der Waldbestände vor klimawandelbedingten Schäden ist nicht überall gleich ausgeprägt. Die wissenschaftlichen Modelle der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt können die Risiken kleinräumig abbilden. Die Unterschiede erklären sich häufig im zukünftigen Lokalklima, in der Bodenbeschaffenheit und in der Exposition des Waldes. Die Zielsetzung und die empfohlene Waldbehandlung orientieren sich zukünftig an der lokalen Risikoeinstufung.



[www.fva-bw.de/news/wet2024](http://www.fva-bw.de/news/wet2024)

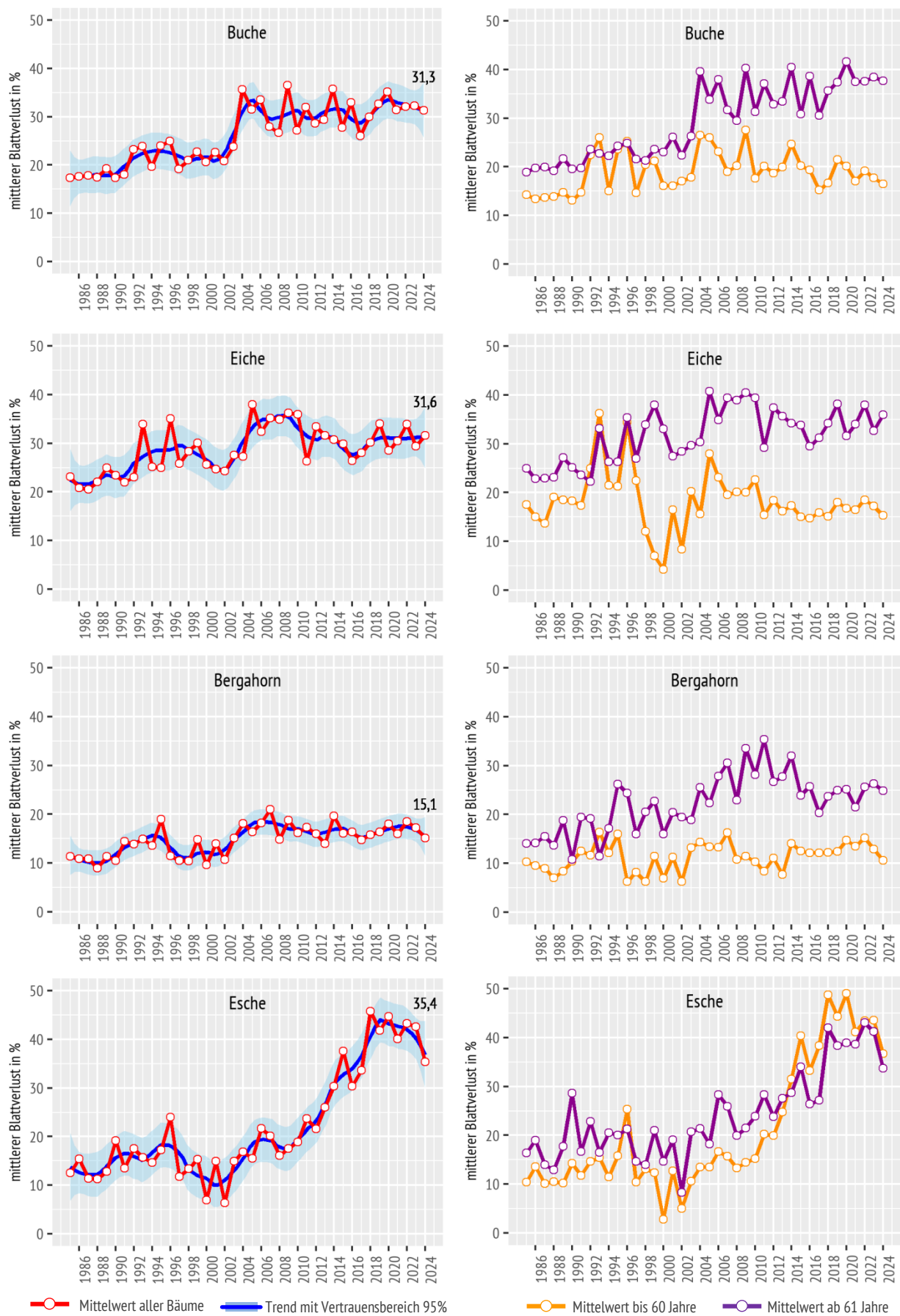


Abb. 18: Mittlerer Blattverlust der Jahre 1985 bis 2024 der Baumarten Buche, Eiche, Bergahorn und Esche. Links: alle Bäume, rechts: Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“.



Der Kronenzustand der Eiche wird neben abiotischen Klimafaktoren wie Trockenheit, Hitze oder Spätfrost regelmäßig durch das Auftreten blattfressender Insekten beeinflusst. So waren in diesem Jahr bei über 40 Prozent aller Eichen in der Stichprobe Schäden durch die sogenannte Eichenfraßgesellschaft festzustellen (Abb. 19). Diese umfasst verschiedene Schmetterlingsraupen, die in diesem Jahr wesentlich durch den Forstspanner (*Operophtera brumata* und *Erannis defoliaria*) geprägt waren und je nach Austriebszeitpunkt der einzelnen Bäume zu sehr unterschiedlichen Blattschadigungsgraden geführt haben. Dabei wurden spätreibende Eichen weitgehend verschont, da die im späteren Frühjahr einsetzende kühl-feuchte Witterung die Raupenaktivität und -entwicklung erheblich beeinträchtigte. Im Frühsommer können befallene Eichen die Fraßschäden oft durch einen erneuten Austrieb kompensieren. Allerdings wird diese Regenerationsbelaubung häufig durch den Mehltaupilz befallen, der auch im Laufe dieses Sommers vermehrt an den Eichen auffällig war.

Seit wenigen Jahren treten regional wieder häufiger Schäden durch den Eichenprachtkäfer (*Agrilus biguttatus*) auf. Betroffen sind vor allem vorgeschädigte Eichen mit schlechtem Kronenzustand. Ein Befall kann sich z. B. durch Schleimfluss am Stamm als Abwehrreaktion betroffener Eichen oder in Form von Spechtabschlägen äußern. Bei starkem Befall sterben die betroffenen Eichen ab. Aktuelle Informationen zum Gesundheitszustand der Eiche und zum zunehmenden Befall durch Eichenprachtkäfer sind in diesem Bericht im Kapitel „Die aktuelle Waldschutzsituation der Eiche“ ab S. 24 zusammengetragen.

## Bergahorn

Der Kronenzustand des Bergahorns hat sich gegenüber dem Vorjahr verbessert. Der mittlere Blattverlust verringert sich um 2,1 Prozentpunkte auf 15,1 Prozent (Abb. 18). Dabei ist sowohl bei den älteren als auch bei den jüngeren Bäumen eine Verringerung des Schädigungsgrades festzustellen. Lediglich 12 Prozent der Bergahornfläche in Baden-Württemberg sind deutlich geschädigt (Abb. 15). Dagegen werden 46 Prozent der Fläche als ungeschädigt und 42 Prozent als schwach geschädigt eingestuft.



Abb. 19: Blattfraß an einem Eichenblatt (Foto: S. Meining).

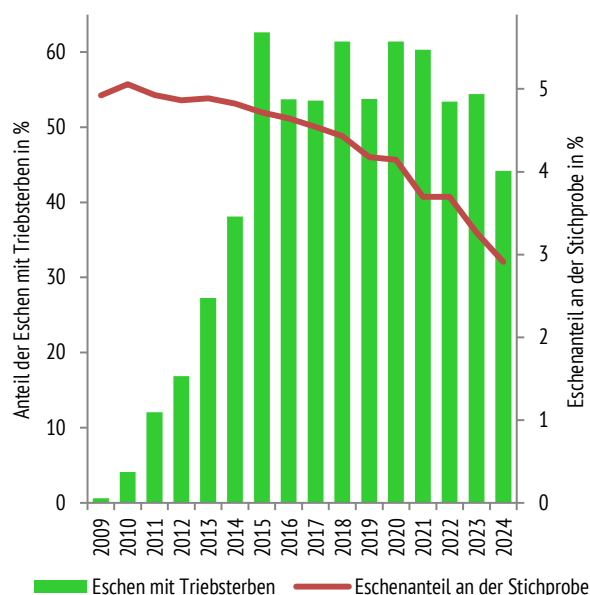
Der vergleichsweise geringe Schädigungsgrad des Bergahorns ist auf den hohen Anteil jüngerer Bäume zurückzuführen. In der Jugendphase weist der Bergahorn eine hohe Konkurrenzkraft gegenüber anderen Baumarten auf. Allerdings wird er ab einem Alter von etwa 30 bis 40 Jahren häufig von anderen Baumarten wie Fichte, Buche oder Tanne überwachsen.

Nach den extremen Hitzewellen und Dürreperioden der letzten Jahre sind stark geschwächte Bäume auch von der Ahorn-Rußrindenkrankheit betroffen. Der pilzliche Erreger *Cryptostroma corticale* stammt ursprünglich aus Nordamerika und tritt als Sekundärpathogen an geschwächten Bäumen auf, was meist zu deren Absterben führt. In der vergleichsweise weitmaschigen Stichprobe der Waldzustandserhebung wird diese Schädigung bisher allerdings selten erfasst.

## Esche

In diesem Jahr konnte sich der Kronenzustand der Eschen im Wesentlichen aufgrund der sehr guten Wasserversorgung zwar verbessern, jedoch sind die Eschen weiterhin stark durch das Eschentriebsterben geschädigt. Der mittlere Blattverlust verringert sich gegenüber dem Vorjahr um 7,2 Prozentpunkte auf 35,4 Prozent (Abb. 18), wobei sowohl die jüngeren als auch die älteren Bäume eine Verbesserung im Kronenzustand zeigen. Derzeit gelten 42 Prozent der Eschenfläche in Baden-Württemberg als deutlich geschädigt. Daneben werden 26 Prozent der Fläche als ungeschädigt und 32 Prozent als schwach geschädigt eingestuft (Abb. 15).

Das Eschentriebsterben wird durch den pilzlichen Erreger *Hymenoscyphus fraxineus* verursacht und führt seit Jahren zu massiven Schäden in Eschenbeständen. Zunächst wurden vorwiegend junge Eschen von dem Pilz befallen, mittlerweile sind jedoch alle Altersgruppen gleichermaßen betroffen. Bei den infizierten Bäumen kommt es zu Blattwelke und zum



**Abb. 20:** Anteil der Eschen mit Eschentriebsterben (grüne Säulen) und Eschenanteil an der Stichprobe der Waldzustandserhebung (rote Linie) im Zeitraum 2009 bis 2024.

## Aktuelle FVA-Projekte

### Zukunft der Esche: Empfehlungen zum forstbetrieblichen Umgang mit dem Eschentriebsterben

Unter maßgeblicher Beteiligung der FVA Baden-Württemberg und weiterer Projektpartner wurde im Frühjahr 2024 eine Broschüre mit Handlungsempfehlungen im Umgang mit dem Eschentriebsterben veröffentlicht. Mit dieser Broschüre liegt erstmals eine umfassende und bundesweit einheitliche Darstellung von waldbaulichen Maßnahmen zum Umgang mit geschädigten Eschenbeständen vor. Die Empfehlungen sollen Waldbesitzenden und Waldbewirtschaftenden Mut machen, zukünftig wieder bzw. weiterhin mit der Esche zu wirtschaften.

Beschrieben werden mögliche Managementmaßnahmen für den forstbetrieblichen Umgang mit Misch- und Reinbeständen der Esche, die vom Eschentriebsterben betroffen sind. Handlungsleitend für die waldbaulichen Empfehlungen ist die Eschennaturverjüngung, die als das größte natürliche Selektions- und Anpassungspotenzial gezielt eingeleitet und gefördert werden soll. Die Darstellung erfolgt chronologisch bezogen auf Wuchsklassen. Zusätzlich zur Erläuterung der Maßnahmen werden die resultierenden Risiken bewertet. Ein weiterer thematischer Schwerpunkt behandelt die Erhaltung von Ökosystemfunktionen eschenreicher Wälder und Pflanzungen mit potentiellen Ersatzbaumarten.

Die Broschüre ist im Rahmen des Demonstrationsprojekts „FraxForFuture“ in enger Zusammenarbeit mit dem Projekt „FraDiv“ entstanden und wurde durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) gefördert.



[www.fva-bw.de/mut-zur-esche](http://www.fva-bw.de/mut-zur-esche)



Absterben einzelner Triebe (Abb. 21). Charakteristischerweise werden in der Krone häufig Ersatztriebe gebildet. Im späteren Verlauf kann die gesamte Krone absterben und es können Stammfußnekrosen entstehen, die zu einer erhöhten Bruchgefahr der Eschen führen. Durch die hohe Ausfall- und Mortalitätsrate hat die Krankheit in den letzten Jahren zu einem drastischen Rückgang des Eschenanteils in Baden-Württemberg geführt (Abb. 20).

### Sonstige Laubbäume

Die sonstigen Laubbäume setzen sich aus einer großen Anzahl verschiedener Baumarten zusammen. Die Hainbuche ist dabei mit großem Abstand die häufigste Art, gefolgt von der Roteiche und der Linde. Zusammen nehmen diese drei Baumarten mehr als die Hälfte der sonstigen Laubbäume in der Stichprobe der Waldzustandserhebung ein.

Während die Hainbuche nach der starken Fruktifikation im letzten Jahr eine deutliche Verbesserung im Kronenzustand zeigt, ist die Verbesserung bei der Linde weniger stark ausgeprägt. Der Kronenzustand der Roteiche hingegen bleibt im Vergleich zum Vorjahr nahezu unverändert.



**Abb. 21:** Esche mit starkem Eschentriebsterben (Foto: S. Meining).

## 2 DIE AKTUELLE WALDSCHUTZSITUATION DER EICHE

Der Gesundheitszustand der Eichenwälder in Baden-Württemberg wurde in den letzten Jahren durch Hitze und Trockenheit maßgeblich geprägt. Diese abiotischen Einflüsse haben die Vitalität der Bäume auf unterschiedliche Weise beeinflusst. Zum einen waren und sind die Auswirkungen direkt in Form von unmittelbar auftretenden Trockenschäden zu beobachten (Abb. 22), zum anderen begünstigt die dadurch ausgelöste Schwächung der Bäume oft einen nachfolgenden Befall durch verschiedene Schadinsekten und pilzliche Erreger.

In den letzten Jahren hat die sogenannte zufällige Nutzung von Stiel- und Traubeneichen, also die ungeplante Holzernte aufgrund von Schäden, deutlich zugenommen. (Abb. 23). Ein Anstieg erfolgte mit dem markanten Dürrejahr 2018; seither verblieb die jährliche zufällige Nutzung auf hohem Niveau. Die Daten für 2024 liegen derzeit noch nicht vollständig vor, zeigen aber mit Stand Oktober 2024, dass von einer Entspannung der Situation auch in diesem Jahr voraussichtlich nicht gesprochen werden kann.

Bei der Bewertung dieser Daten im Vergleich zu anderen Baumarten ist jedoch der Anteil der zufälligen Nutzungen am verbleibenden Holzvorrat zu betrachten. Im Jahr 2023 wurden in Baden-Württemberg insgesamt über 47.000 Festmeter zufällige Nutzung von Eiche verbucht. Dieser Wert stellt den größten Wert seit 2001 dar und entspricht 0,14 Prozent des Eichenvorrats (FVA BADEN-WÜRTTEMBERG, 2024b). Verglichen mit den zufälligen Nutzungen im Jahr 2023 mit anderen Baumarten wie Buche (0,51 Prozent) oder Fichte (1,8 Prozent), stellt dies aber einen verhältnismäßig geringen Wert dar.

### Was genau schädigt die Eichen?

Über das digitale Waldschutzmeldesystem werden seit 2018 bei allen Baumarten vermehrt Trockenschäden gemeldet. Die genaue Betrachtung der Schadenssituation zeigt bei der Eiche in den letzten Jahren, dass neben direkten Trockenschäden auch blattfressende Schmetterlingsraupen und seit 2023 auch wieder der Zweipunktige Eichenprachtkäfer (*Agilus biguttatus*) eine Rolle spielen, wodurch wirtschaftlich spürbare oder bestandesbedrohende Schäden entstehen können (Abb. 24).



**Abb. 22:** Trockenschäden in einer Eichenkrone (Foto: D. Wonsack).

### Vitalitätsschwächung und Eichenkomplexkrankheit

Das Schadgeschehen an den Eichenarten ist in der Regel komplex und stellt eine Kombination verschiedener vitalitätsbeeinflussender und letaler Faktoren dar. Um ihr Zusammenwirken besser einordnen zu können, wird häufig zwischen prädisponierenden, schadensauslösenden und schadensverstärkenden Faktoren unterschieden.

Prädisponierende Faktoren, wie z. B. Standortseigenschaften, wirken kontinuierlich und können je nach Konstellation die Empfindlichkeit von Bäumen gegenüber schadensauslösenden Faktoren grundsätzlich erhöhen. Insektenfraß oder Witterungsextreme wie Dürren, also kurzfristig wirkende Ereignisse, stellen oft schadensauslösende Faktoren dar. Die Schwächephase der Bäume wird oftmals von schadensverstärkenden Schadorganismen wie dem Zweipunktigen Eichenprachtkäfer (*Agilus biguttatus*) oder dem Hallimaschpilz (*Armillaria spp.*) genutzt, um die Eichen befallen zu können. Dadurch wird eine Erholung deutlich unwahrscheinlicher und die betroffenen Bäume sterben oft ab.



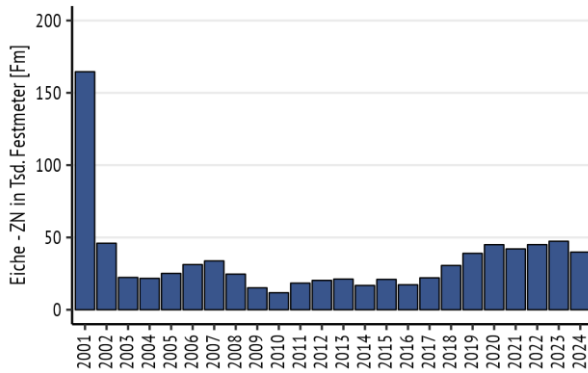


Abb. 23: Zufällige Nutzung (ZN) der Baumartengruppe Eiche mit Stand 21.10.2024 ohne Großprivatwald.

### Kahlfraß durch blattfressende Schmetterlinge

Schmetterlingsarten wie Schwammspinner (*Lymantria dispar*), Frostspanner (*Operophtera brumata* und *Erannis defoliaria*), Eichenwickler (*Tortrix viridana*) sowie Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea*) neigen zu Massenvermehrungen und können dann durch den Kahlfraß ihrer Raupen über größere Flächen hinweg Entlaubungen verursachen, so dass die Kronen noch in der Vegetationsperiode einem Winterzustand ähneln können.

Insbesondere wiederholter Kahlfraß und massiver Blattverlust stellen für die Eichenarten eine empfindliche Schwächung dar. Die dem Kahlfraß im Frühjahr nachfolgenden Regenerationstriebe befällt häufig der Mehltaupilz, so dass auch diese Blätter beschädigt werden. Die dadurch hervorgerufene Schwächung der Eichen resultiert aus ihrer Holzanatomie als ringporige Baumart: Die für die Wasserleitung wichtigen weitlumigen Gefäße werden im Frühjahr weitgehend aus Reservestoffen gebildet, die in den Vorjahren eingelagert wurden. Diese Gefäße sind entscheidend für den Wassertransport in die Baumkrone. Fehlt durch Kahlfraß und Mehltaubefall die assimilierende Blattmasse und damit die Möglichkeit, ausreichend Reservestoffe einzulagern, kann es in der folgenden Vegetationsperiode aufgrund der schwach ausgebildeten Frühholzgefäße zu einem „physiologischen Wassermangel“ kommen. Dies schlägt sich vor allem nach mehrjährigem Kahlfraß in einer erheblichen Vitalitätsschwäche der Eichen nieder.

Die Kahlfraßereignisse blattfressender Schmetterlingsraupen haben in den letzten 20 Jahren tendenziell abgenommen (Abb. 24). Da die Zyklen der Massenvermehrungen jedoch nicht eindeutig sind, kann das Vorkommen und die Verbreitung der blattfressenden Raupen nur bedingt vorhergesagt werden. Insbesondere der Schwammspinner kann bei einer Massenver-

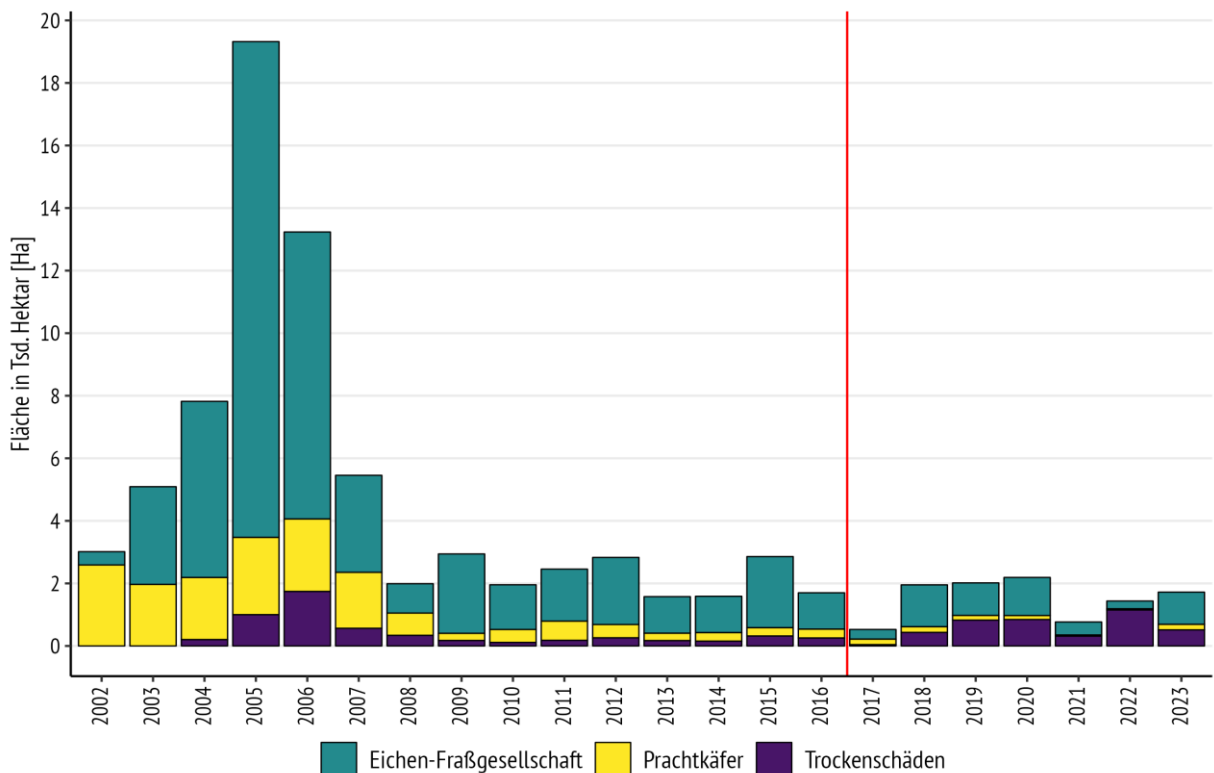


Abb. 24: Im digitalen Waldschutzmeldewesen gemeldete wirtschaftlich fühlbare sowie bestandesbedrohende Vorkommen von Schädlingen und Trockenschäden an Eiche. Aufgrund einer Verfahrensänderung im dWMS fallen die gemeldeten Werte seit 2017 deutlich geringer aus (Datenquelle: digitales Waldschutzmeldewesen (dWMS)).



**Abb. 25:** Der Zweipunktige Eichenprachtkäfer *Agrilus biguttatus*. Links: adultes Tier (Foto: Henk – AdobeStock), rechts: Larvengänge (Foto: D. Wonsack).

mehrung große Schäden an den Eichen verursachen. Gerade im Hinblick auf die zunehmenden Trockenschäden sollte eine Schwächung der Eichen durch Kahlfraßereignisse lokal genau analysiert und alle Maßnahmen zur Rettung der in vielerlei Hinsicht wertvollen Eichenwälder geprüft werden. Dazu kann auch die maßvolle Abwägung von Pflanzenschutzmitteleinsätzen zum Zeitpunkt des Raupenfraßes gehören (DELB, 1999; WONSACK et al., 2023).

Der Schwammspinner trat in Baden-Württemberg zuletzt in den Jahren 2019 und 2020 verstärkt auf. Frostspannerarten führten in der Oberrheinebene im Jahr 2023 und teilweise auch im Frühjahr 2024 lokal zu Kahlfraß. Der Eichenprozessionsspinner, der zuletzt im Jahr 2021 Kahlfraß verursacht hat, stellt für alle Waldbesucher vor allem aus gesundheitlicher Sicht eine große Herausforderung dar, da er durch seine Brennhaare u. a. allergische Reaktionen auslösen kann. Eine Massenvermehrung kann aber auch flächig zu Kahlfraß der Eichen führen und damit die Walderhaltung gefährden. Der Eichenwickler hat in den vergangenen Jahren in Baden-Württemberg keine Schadereignisse verursacht.

### Zweipunktiger Eichenprachtkäfer als Schadensverstärker

Von den Vitalitätsverlusten aufgrund von Trockenheit und/oder Kahlfraß hat seit 2023 in Baden-Württemberg vermehrt der schadensverstärkende Zweipunktige Eichenprachtkäfer profitiert. Der etwa ein Zentimeter große, metallisch glänzende Käfer (Abb. 25, links) kann sich an vorgeschädigten Eichen besonders bei warmer Witterung sehr gut entwickeln und die

Bäume zum Absterben bringen. Durch die fehlende Blattmasse verringert sich die Abwehrkraft der Eichen, so dass die Larven weitgehend ungestört im Bereich des Kambiums fressen (Abb. 25, rechts) und den Baum zunehmend schädigen können. Durch die Fraßgänge wird der Saftstrom und damit die Wasser- und Nährstoffversorgung des Baumes unterbrochen. Demgegenüber kann eine gesunde Eiche die Larven durch Schleimfluss, Lignifizierung von Zellen und Kallusbildung in der Kambialzone in der Regel gut abwehren.

Wird ein Befall durch den Eichenprachtkäfer frühzeitig erkannt, empfiehlt es sich, befallene und stark geschädigte Bäume mitsamt der darin befindlichen Käferbrut im Rahmen von sogenannten Sanitärhieben zu entnehmen, um so den Infektionsdruck zu senken (SEEMANN et al., 2001; DELB, 2002; LOBINGER et al., 2024). Ziel dieser Maßnahme ist in der Regel der Erhalt von weitgehend geschlossenen eichendominierten Waldbeständen.

Neben erhöhter Mortalität und Vitalitätsverlusten kann ein Prachtkäferbefall auch mit Holzwertverlusten einhergehen. Bei absterbenden Bäumen wird derzeit vermehrt ein zusätzlicher Befall durch holzbrütende Käfer, wie z. B. den Eichenkernkäfer (*Platypus cylindrus*), beobachtet. Dieser Befall schränkt die Vermarktungsmöglichkeiten erheblich ein, da die technischen Eigenschaften durch die Bohrgänge massiv beeinträchtigt werden. Dadurch wird auch die aus Waldschutzgründen wichtige Abfuhr des Holzes gefährdet, bevor die voll entwickelten Käfer ausfliegen und sich weiter im Bestand verbreiten.

### Pilotstudie zur Eichenkomplexkrankheit

Um das komplexe und meist lokal unterschiedliche Zusammenspiel der verschiedenen Schadfaktoren in Eichenwäldern detailliert zu untersuchen, wurde im Frühjahr 2024 in der Teninger Allmend nördlich von Freiburg eine umfassende Pilotstudie gestartet.

Ziel ist es, die Vitalitätsentwicklung mittelalter Eichen in den kommenden Jahren zu beobachten und daraus Rückschlüsse auf die beteiligten Schadfaktoren zu ziehen. Der Grund für die Standortwahl liegt in der dort vorliegenden Kombination von bereits durch Hitze und Trockenheit vorgeschädigten Eichen, in denen 2023 auch Kahlfraß durch Frostspanner auftrat. Schon im Herbst desselben Jahres wurden erste, zum Teil massive Schäden durch den Zweipunktigen Eichenprachtkäfer beobachtet. Entgegen der Prognose wiederholte sich der Kahlfraß im Frühjahr 2024 aufgrund einer für die Raupenentwicklung widrigen kühl-feuchten Witterung nicht flächendeckend, sondern betraf nur einzelne, früher austreibende Eichen.

Auf insgesamt drei Teilflächen, auf denen die Prachtkäferdichte unterschiedlich hoch eingeschätzt wurde, sind über 120 vorherrschende und herrschende Eichen zufällig ausgewählt worden. Jeder dieser Bäume wurde einmal hinsichtlich des Kronenzustandes im unbelaubten und belaubten Zustand bonitiert. Zudem wurde der Stamm im Sichtbereich auf Schleimflussflecken sowie Ein- und Ausbohrlöcher von Insekten untersucht.

Auf den Flächen mit dem stärksten und dem schwächsten Prachtkäferbefall wurden zusätzlich jeweils 15 möglichst noch unbeeinträchtigte Bäume im unteren Stammbereich mit einem feinmaschigen Kunststoffnetz eingepackt (Abb. 26). Dieses Netz soll die Eiablage des Eichenprachtkäfers an diesen Bäumen verhindern und so eine Einschätzung der Vitalitätsentwicklung der Eichen ohne den Einfluss des Käfers ermöglichen.

### Ausblick

Die extremen Witterungsereignisse der letzten Jahre haben sich regional auch auf den Zustand der als klimastabil geltenden Eichenarten ausgewirkt. Die auftretenden Schäden werden bei der Eiche in der Regel von einem Komplex von abiotischen und biotischen Faktoren verursacht, die lokal unterschiedlich auftreten können. Die durch Trockenheit und Kahlfraß entstandenen Kronenschäden werden seit 2023 durch den Zweipunktigen



**Abb. 26:** Mittels Kunststoffnetz bis zum Kronenansatz eingepackte Eiche im Pilotprojekt Teninger Allmend (Foto: D. Wonsack).

gen Eichenprachtkäfer lokal massiv verstärkt und können dort zum Absterben führen. Dennoch stellen sie aus heutiger Sicht noch keine landesweit verbreitete Gefährdung der Eichenbestände dar. Die Rolle der bekannten Schadfaktoren muss insbesondere vor dem Hintergrund mehrjähriger Dürren in Zukunft aber möglicherweise neu bewertet werden.

Fest steht, dass der Anteil der zufälligen Nutzung, der auch bei der Eiche zugenommen hat, im Verhältnis zum Vorrat dieser Baumart immer noch deutlich geringer ist als bei allen anderen Hauptbaumarten. Eine sorgfältige Auswahl der richtigen Standorte, des geeigneten Vermehrungsgutes (Saat- und Pflanzgut) sowie eine auf Bodenschonung und Einzelbaumstabilität ausgerichtete Waldbewirtschaftung wird den Eichenanteil in Zukunft zu Recht weiter ansteigen lassen. Aus Sicht des Waldschutzes ist die Eiche nach wie vor zu befürworten, auch wenn ihr in empfindlichen Schwächephase durch gesundheitserhaltende Maßnahmen fallweise durchaus geholfen werden muss.



### 3 WITTERUNG

Die Witterung hat einen entscheidenden Einfluss auf den Zustand der Wälder. Durch den fortschreitenden Klimawandel werden extreme Wetterereignisse häufiger und die Vitalität der Wälder wird auf vielfältige Weise geschwächt. Ein immer früherer Beginn der Vegetationszeit erhöht die Gefahr von Spätfrösten, die im Frühjahr die frischen Triebe schädigen können. Gleichzeitig können milde Winter und ausgedehnte sommerliche Trocken- und Hitzeperioden die Bäume stark belasten. Auch Starkregenereignisse stellen ein Risiko dar, da sie zu Bodenerosion führen und die Wurzeln destabilisieren. Zusätzlich verursachen Stürme häufig Windwürfe, die nicht nur Einzelbäume, sondern auch großflächige Waldgebiete betreffen können.

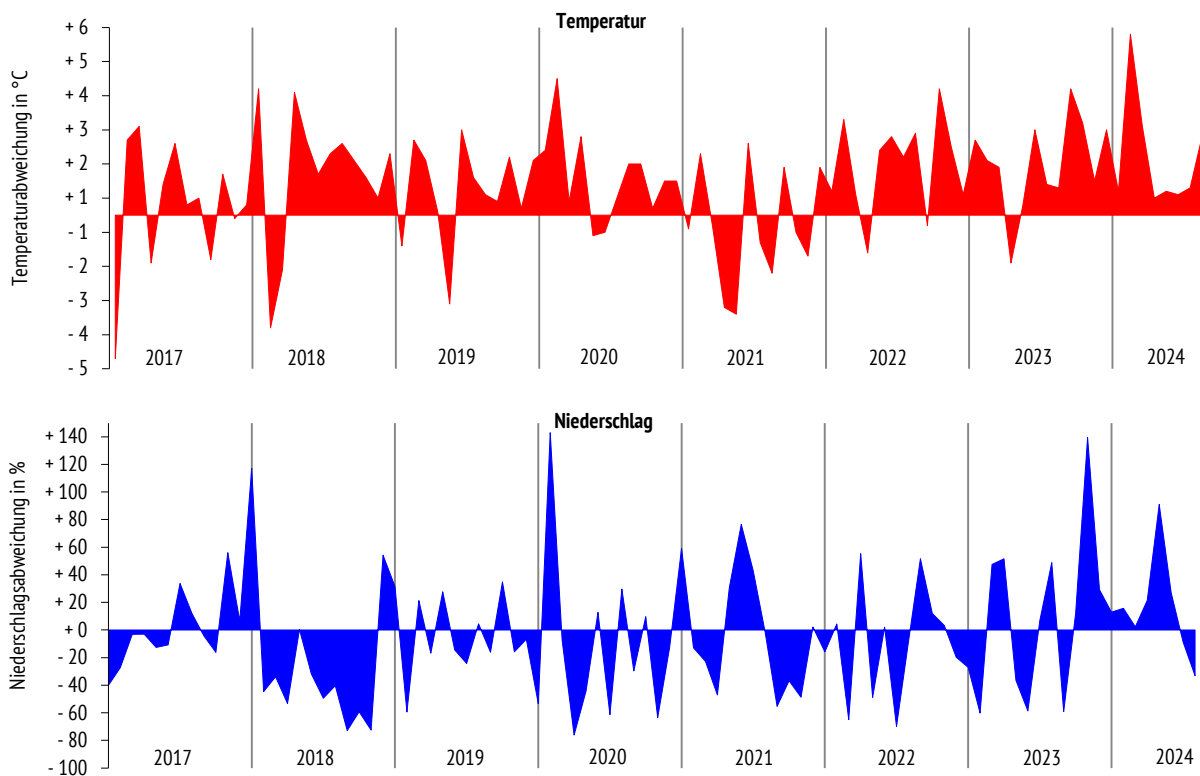
#### Witterungsverlauf

Der Witterungsverlauf der letzten Jahre war in Baden-Württemberg geprägt durch deutlich erhöhte Temperaturen, die in den meisten Monaten im Landesmittel die Werte der Klimareferenzperiode überstiegen (Abb. 27 oben). Seit dem Jahr 2022 lagen nahezu alle Monatsmitteltemperaturen

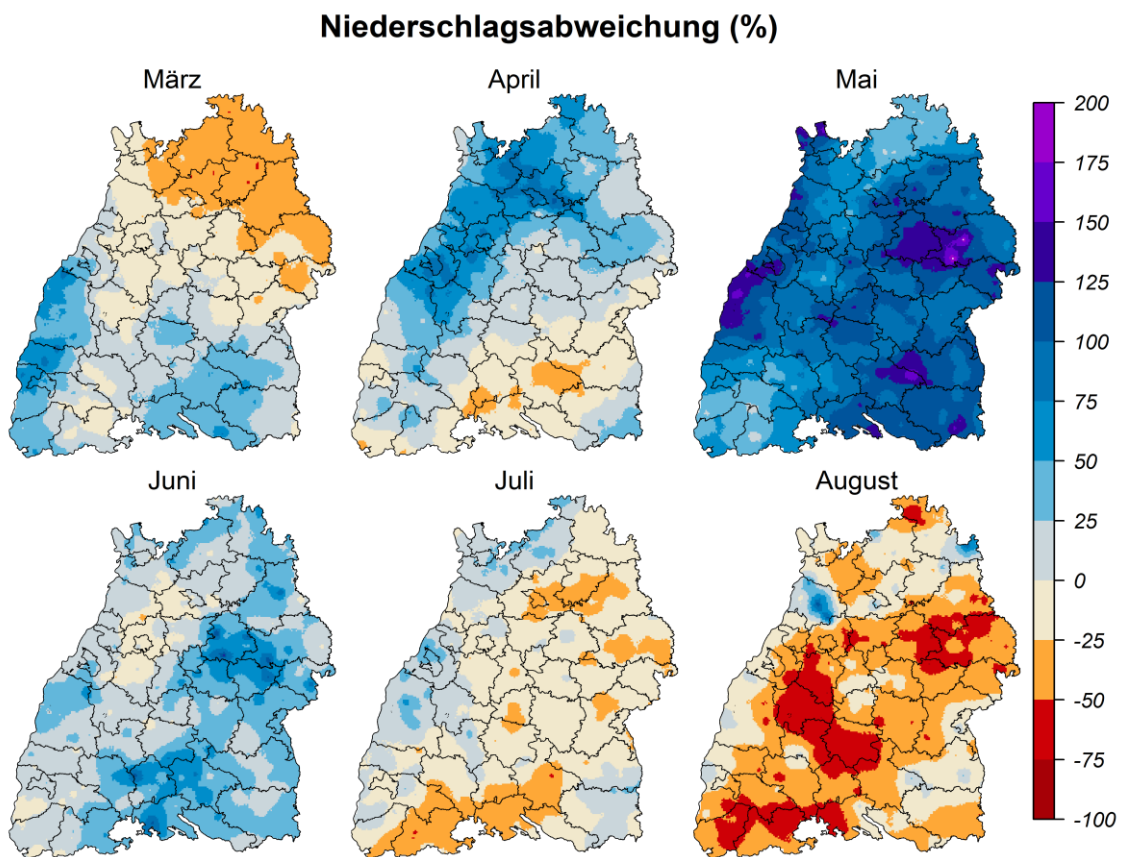
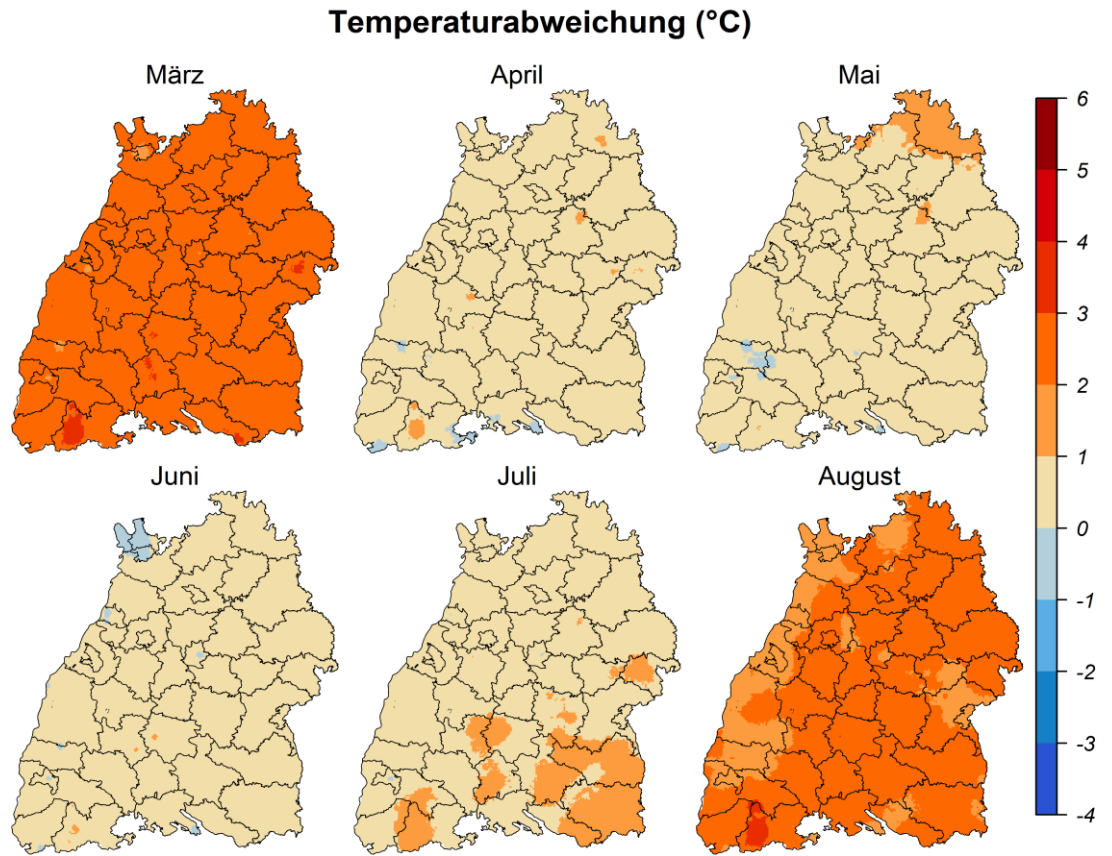
Die Klimareferenzperiode ist ein 30-jähriger Zeitraum, der zur Analyse von Klimadaten wie Temperatur und Niederschlag verwendet wird. Sie dient dazu, langfristige Trends zu identifizieren und aktuelle Klimaveränderungen zu bewerten. Derzeit gilt die Referenzperiode 1991 bis 2020, mit der die Monatsdurchschnittswerte der Temperatur bzw. des Niederschlags des aktuellen Jahres verglichen werden.

durchgehend über dem Durchschnitt der Referenzperiode. Lediglich im April 2022 und im April 2023 wurden unterdurchschnittliche Temperaturen registriert.

Auch die Niederschlagsmuster der letzten Jahre waren auffällig und zeigten vermehrt längere Trockenperioden an (Abb. 27 unten). Besonders markant war das Jahr 2018, in dem von Februar bis November ein erhebliches Niederschlagsdefizit herrschte. Aber auch in den Jahren 2019, 2021 und 2022 traten ausgeprägte mehrmonatige Trockenphasen auf. Neben ausgedehnten Dürrephasen fallen in Abbildung 27 einzelne Monate



**Abb. 27:** Monatliche Niederschlags- und Temperaturabweichung vom Mittel der Klimareferenzperiode (1991–2020) für Baden-Württemberg von Januar 2017 bis August 2024 (Daten: Deutscher Wetterdienst, DWD).



**Abb. 28:** Regionale Temperatur- (oben) und Niederschlagsabweichung (unten) der Monate März bis August 2024 vom Mittel der Referenzperiode (1991–2020) für Baden-Württemberg (Daten: Deutscher Wetterdienst, DWD).

mit deutlich erhöhten Niederschlagswerten auf. So lag im Januar 2018 die Niederschlagsmenge nahezu 120 Prozent über dem Referenzwert und damit mehr als doppelt so hoch wie das langjährige Mittel. Dauerregen und Starkregeneignisse führten auch im Februar 2020 und November 2023 zu erheblichen Niederschlagsmengen, die sogar bis zu 140 Prozent über dem Referenzwert lagen.

### Temperatur und Niederschlag 2024

Das Jahr 2024 wurde bis in den August von vergleichsweise hohen Temperaturen und sehr regenreichen Perioden geprägt. Der Winter 2023/2024 geht als mildeste Winter Baden-Württembergs seit Beginn der Wetteraufzeichnungen in die Geschichte des Landes ein.

Vor allem der extrem milde Februar übertraf alle zuvor erfassten Rekordwerte. Mit durchschnittlichen 6,5° Celsius lagen die Temperaturen in diesem Monat weit über dem Referenzwert (DWD, 2024). Die milden Temperaturen setzten

sich auch im Frühjahr weiter fort, wobei insbesondere der März landesweit deutlich zu warm war (Abb. 28). Dagegen lagen die Durchschnittstemperaturen im April und Mai nur leicht über dem langjährigen Mittel. Mitte April traten zudem gebietsweise Nachfröste auf, die zum Teil deutliche Schäden am Neuaustrieb der Bäume verursachten (Abb. 29). Zu Beginn des Sommers war es zunächst unbeständig und warme Perioden wechselten sich mit kühleren Phasen ab. Erst im August setzten sich landesweit hohe Temperaturen durch, so dass in Teilen der Oberrheinebene bis zu 15 heiße Tage mit über 30° Celsius gezählt wurden (DWD, 2024).

Landesweit wurden im Jahr 2024 sehr hohe Niederschlagsmengen gemessen. Insgesamt neun Monate hintereinander, von Oktober 2023 bis Juni 2024, lagen die Monatssummen durchgängig über dem Referenzwert, was insgesamt zu einer guten Wasserversorgung der Wälder Baden-Württembergs in diesem Jahr führte (Abb. 26, unten). In einigen Regionen wurden durch erhebliche Niederschlagsmengen im Mai und Juni aber auch hohe Schäden durch extreme Regenfälle und Überflutungen registriert. Besonders betroffen davon waren Teile der Schwäbischen Alb, des Allgäus und des Kraichgaus. Erst Mitte Juli setzte sich eine trocken-heiße Wetterlage durch, die jedoch kaum mehr Einfluss auf den Kronenzustand der Wälder hatte.

### Neuer Bodenfeuchte-Monitor der FVA

Im Rahmen des Intensiven Ökosystemmonitorings werden auf den Level II-Flächen in Baden-Württemberg die Bodenwasserhalte verschiedener Bodentiefen gemessen und die verfügbare Wasserspeicherkapazität (relative Bodenfeuchte) der Waldbäume berechnet. Die Messungen finden auf den Level II-Flächen in Heidelberg, Conventwald, Altensteig, Esslingen und Ochsenhausen jeweils in einem Fichten- und in einem Buchenbestand statt. Zusätzlich wird in Rotenfels auf der Fichtenversuchsfläche die Bodenfeuchte erhoben.

Beispielhaft für die Darstellungen im Bodenfeuchte-Monitor zeigt Abbildung 30 die zeitliche Entwicklung der relativen Bodenfeuchte auf der Buchenversuchsfläche im Conventwald für die drei gemessenen Bodentiefen. Im langjährigen mittleren Verlauf zeigt sich ein charakteristischer Jahresgang der Bodenfeuchte mit hohen Füllgraden in den Wintermonaten, zurückgehender Speicherfüllung mit dem Einsetzen der Vegetationsperiode, einem Minimum im Spätsommer/Frühherbst und einem allmählichen Auffüllen der Bodenwasserreserven mit

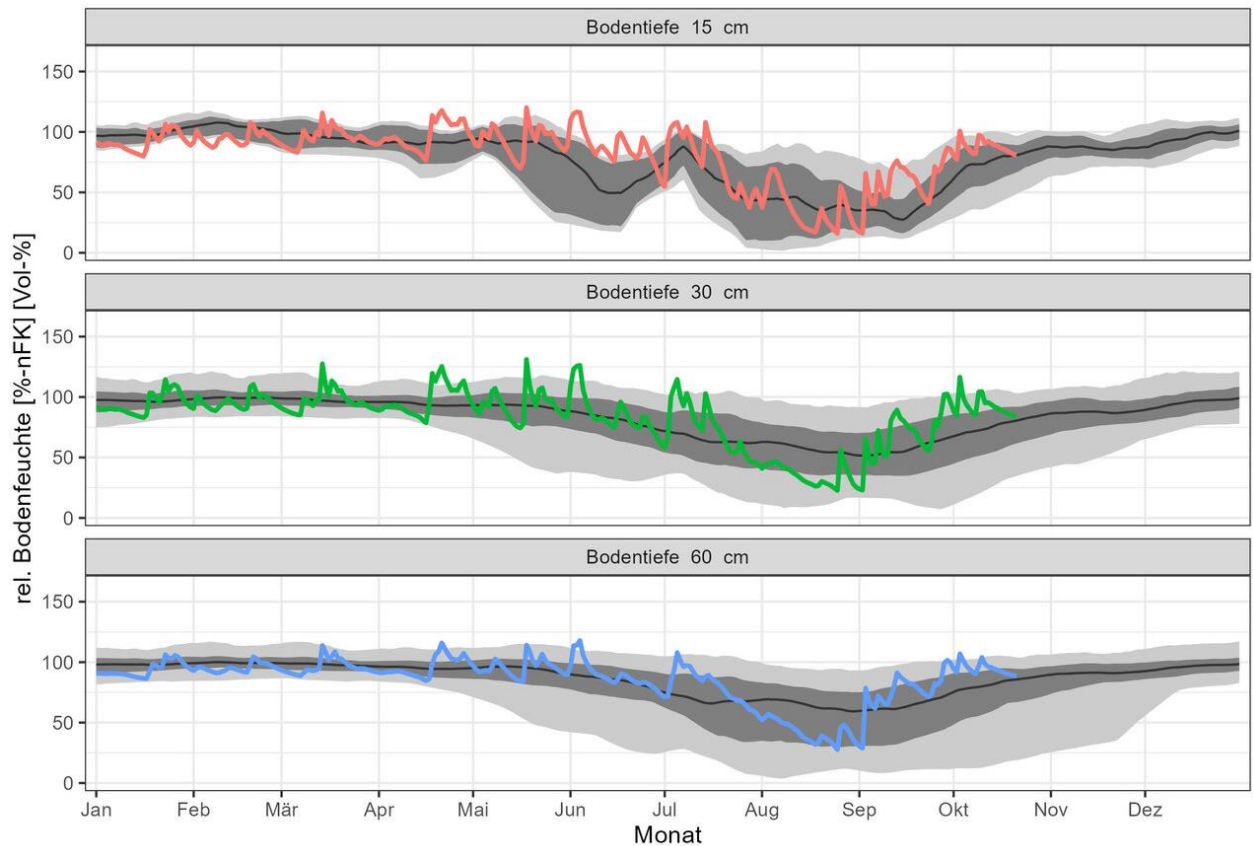


**Abb. 29:** Spätfrostschaden an einer Buche im Landkreis Karlsruhe, Mai 2024 (Foto: S. Schmidt).



Beginn der Vegetationsruhe. Während in der obersten Bodenschicht die Unterschiede zwischen Abtrocknung und Befeuchtung sehr stark ausfallen, sind diese in den tieferen Bodenschichten weniger stark ausgeprägt. Im aktuellen Jahr führten wiederholte Regenfälle bis in den Juli hinein in allen Bodentiefen zu einer guten Wasserversorgung der Bäume, bevor es

im August vor allem in den tieferen Bodenschichten (ab 30 cm Bodentiefe) deutlich trockener wurde. Ein ähnlicher Jahresverlauf der relativen Bodenfeuchte ist auch auf der Fichtenfläche im Conventwald sowie, mit regionalen Besonderheiten, auf den anderen Versuchsflächen der FVA Baden-Württemberg zu erkennen.



**Abb. 30:** Entwicklung der relativen Bodenfeuchte auf der Level II-Fläche Conventwald/Buche (Stand: 17.10.2024). Farbige Linien stellen den Verlauf im aktuellen Jahr dar. Die dunkelgraue Fläche repräsentiert den Bereich, in dem 50 Prozent der bisherigen Messwerte liegen, während die hellgraue Fläche den Bereich abbildet, der 90 Prozent der Messwerte umfasst. Die schwarze Linie stellt den Median aller Werte dar.

Der Bodenfeuchte-Monitor zeigt die zeitliche Entwicklung der Bodenfeuchte an den Intensivmessflächen der FVA und vergleicht diesen mit dem beobachteten langjährigen mittleren Verlauf. Der volumetrische Bodenwassergehalt wird mittels FDR-Technik (Frequency-Domain-Reflectometry) ermittelt. Auf jeder Fläche sind jeweils neun Bodenfeuchte-Sensoren installiert, welche in einer Bodentiefe von 15 cm, 30 cm und 60 cm die Bodenfeuchte im 15-Minuten-Intervall messen. Die relative Bodenfeuchte gibt den Füllgrad des pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeichers an. Werte von 100 Prozent oder mehr bedeuten, dass die Bodenspeicher vollständig gefüllt sind. Bei Werten unter 100 Prozent ist die Wasserversorgung eingeschränkt, wobei eine starke Unterversorgung der Bäume erst bei Werten unter 40 Prozent eintritt.

Alle Ergebnisse des Bodenfeuchte-Monitors sind wochenaktuell auf der Homepage der FVA Baden-Württemberg abrufbar.

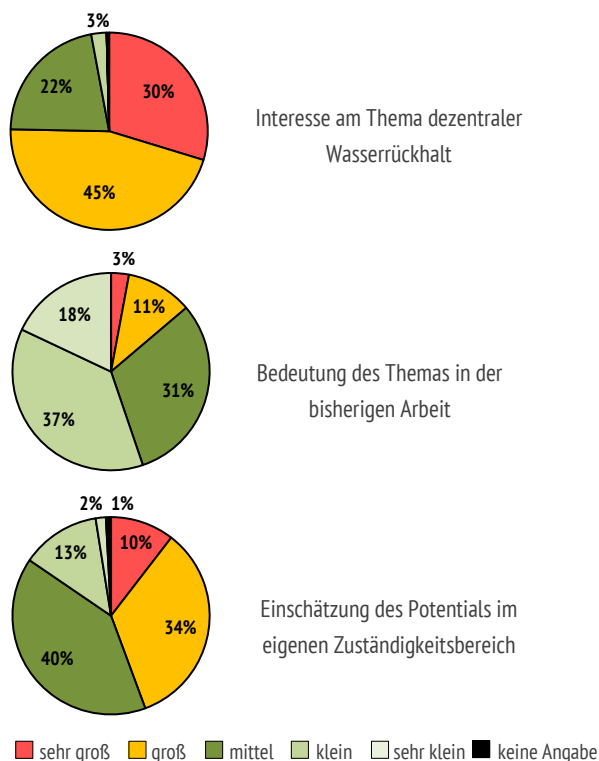


[www.fva-bw.de/bodenfeuchtemonitoring](http://www.fva-bw.de/bodenfeuchtemonitoring)

### Abmilderung von Wasserextremen durch Wasserrückhalt im Wald

Durch dezentrale Maßnahmen zur verstärkten Rückhaltung von Niederschlagswasser und Abfluss im Wald können nicht nur Hochwasserabflüsse bei Starkregenereignissen gemindert, sondern auch Erosionsschäden an der forstlichen Infrastruktur verringert werden (Abb. 32). Die Wiederversickerung von Niederschlags- und Wegewasser kann außerdem die Bodenwasserverhältnisse in benachbarten Waldbeständen verbessern. Dadurch wird die Tiefenversickerung gefördert und die Grundwasserneubildung erhöht. Insgesamt trägt ein verstärkter Wasserrückhalt dazu bei, extreme Schwankungen im Wasserhaushalt der Wälder abzumildern und den Landschaftswasserhaushalt resilienter zu machen. Auch für wassergebundene Tier- und Pflanzenarten ergeben sich zahlreiche positive Effekte.

Eine Vielzahl von Maßnahmen ist geeignet, den Wasserrückhalt im Wald zu stärken. Neben Anpassungen der Basis- und Feinerschließung sind dies die gezielte Schaffung von Retentionsräumen im Wald, der Rückbau von Entwässerungen sowie Maßnahmen zur hydrologischen Aktivierung von Still- und Fließgewässern im Wald (Abb. 33).



**Abb. 31:** Ergebnisse einer Online-Umfrage der FVA unter Waldbewirtschaftenden in Baden-Württemberg zu Interesse und Erfahrungen beim dezentralen Wasserrückhalt im Wald. 239 befragte Personen (Prozentwerte gerundet).



**Abb. 32:** Besonders wirksamer Wasserrückhalt durch Muldenkaskaden im Herbolzheimer Wald, Landkreis Emmendingen (Foto: J. Schmid).





**Abb. 33:** Mögliche Maßnahmen zur Stärkung des Wasserrückhalts im Wald.

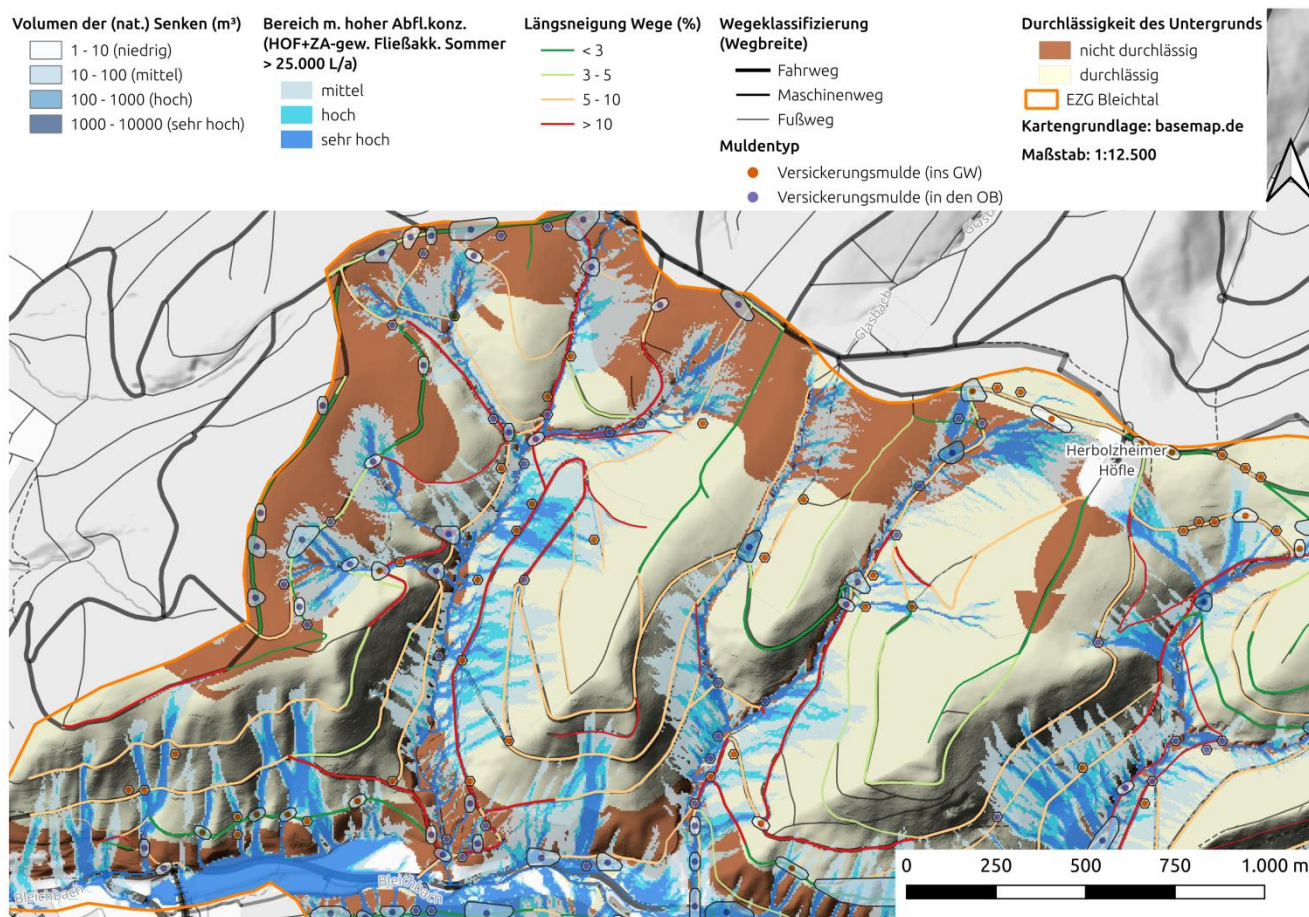
Trotz des erkannten großen Potenzials eines verstärkten Wasserrückhalts im Wald gibt es in der praktischen Umsetzung noch zahlreiche Herausforderungen. Eine von der FVA Baden-Württemberg im Jahr 2023 durchgeführte Online-Umfrage zeigte, dass viele Waldbewirtschaftende dem verstärkten Wasserrückhalt im Wald eine große Bedeutung beimessen. Das Interesse an dem Thema ist außerordentlich hoch (Abb. 31). Gleichzeitig zeigte die Umfrage auch, dass für die überwiegende Zahl der Befragten der gezielte Wasserrückhalt in der eigenen Arbeit bisher kaum eine Rolle gespielt hat. Eine Mehrheit der Befragten schätzte dennoch das Rückhaltepotential von dezentralen Maßnahmen in ihrem Zuständigkeitsbereich als „mittel“ bis „hoch“ ein.

Die FVA Baden-Württemberg greift in ihrem Projekt „Wasserspeicher Wald“ diese hohe Motivation der Waldbewirtschaftenden auf und unterstützt durch verschiedenste Informations- und Beratungsangebote die Planung und Umsetzung von Maßnahmen zur Verbesserung des Wasserrückhalts. Um die Projektarbeiten passgenau auf die Bedürfnisse der Waldbewirtschaftenden zuzuschneiden, wurde in der Online-Umfrage außerdem erfragt, welche Informationen in der Praxis benötigt werden. Die Rückmeldungen zeigten auf, dass praktische Hilfsmittel wie Handlungsleitfäden, Maßnahmenkataloge und Exkursionen besonders nachgefragt werden. Bis zum Projektende sollen entsprechende Materialien auf der Homepage der FVA bereitgestellt werden. Aktuell wird ein umfangreicher Leitfaden mit Bausteckbriefen zur Umsetzung von Wasserrückhaltmaßnahmen im Wald erarbeitet sowie „Porträts“ von Anschauungsobjekten, die als Inspiration und Vorbild dienen



**Abb. 34:** Gut gelungene Versickerungsmulde unterhalb eines Wegedurchlasses (Foto: H. Puhlmann).





**Abb. 35:** Beispiel einer Planungskarte für die Anlage von Versickerungsmulden im Umfeld des forstlichen Wegenetzes. Die Karte zeigt einen Ausschnitt des Bleichtals bei Herbolzheim, Landkreis Emmendingen.

können, aufbereitet (Abb. 34). Um den Austausch unter den Waldbewirtschaftenden zu fördern, wurden und werden in verschiedenen Regionen Exkursionen zu Best-Practice-Beispielen durchgeführt und Schulungen angeboten.

Neben diesem umfangreichen Informations- und Beratungsangebot werden im Rahmen des Projekts in fünf Modellregionen Planungskarten erarbeitet, welche Hotspots der Abflussbildung sowie mögliche Flächen für die gezielte Speicherung oder Wiederversickerung von Abflüssen identifizieren (Abb. 35).

Zusammen mit den örtlich zuständigen Revierleitenden werden konkret umsetzbare Maßnahmen besprochen und bei Bedarf die weitere Realisierung fachlich begleitet. Aufbauend auf den Erfahrungen in den Modellregionen sollen Konzepte und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden, die eine Ausweitung der Maßnahmenumsetzungen im gesamten Land erleichtern. Dadurch wird die dringend notwendige Anpassung der Wälder und der Waldbewirtschaftung an zunehmende Wasserextreme beschleunigt.

## Waldstrategie Baden-Württemberg 2050

### Wasserspeicher Wald

Das Projekt „Wasserspeicher Wald“ wird seit April 2023 im Rahmen der Waldstrategie Baden-Württemberg gefördert und hat eine Laufzeit von zwei Jahren. Mit dem Projekt möchte die FVA Waldbewirtschaftende bei der Umsetzung möglicher Wasserretentionsmaßnahmen unterstützen. Die Maßnahme hat Pilotcharakter und soll zunächst in mehreren Modellregionen Methoden (1) für die Identifikation von Hotspots der Abflusskonzentration, (2) für die Lokalisierung von Wasser-rückhaltemaßnahmen und (3) für die Wirkungsbewertung im Hinblick auf Hochwasserschutz und Bodenfeuchteverbesserung erarbeiten.

Im Rahmen der Maßnahme werden für alle drei Punkte Handlungsempfehlungen für die Umsetzung in der Fläche erarbeitet. Die Maßnahme gliedert sich in vier Arbeitspakete: GIS-Analysen und hydrologische Modellierungen, Simulation zur Bewertung der hydraulischen Wirksamkeit von dezentralen Rückhaltemaßnahmen, Wirkungsmonitoring sowie Partizipation und Wissenstransfer.



[www.fva-bw.de/wasserspeicher-wald](http://www.fva-bw.de/wasserspeicher-wald)

## Waldstrategie Baden-Württemberg 2050

### Trockenschäden – Bodenhilfsstoffe in der Wiederaufforstung

Die Witterungsextreme der letzten Jahre haben landesweit zu erheblichen Schäden in Waldbeständen geführt. Auf großen Kalamitätsflächen sind Forstkulturen aufgrund hoher Temperaturschwankungen und hoher Sonneneinstrahlung großen Belastungen ausgesetzt. Diese werden durch Bodentrockenheit bei ausbleibenden Niederschlägen noch verstärkt. Hohe Ausfälle in den Forstkulturen sind die Folge. Für die Walderhaltung und den gezielten Waldumbau ist es notwendig, den Anwuchserfolg der Kulturen zu erhöhen bzw. sicherzustellen. Bodenhilfsstoffe können eine alternative oder ergänzende Möglichkeit bieten, Trockenheitsausfälle in Forstkulturen zu reduzieren. Auf dem Markt ist eine breite Palette von Bodenzusatzstoffen erhältlich, deren (versprochene) Wirkung im Wesentlichen auf zwei Aspekten beruht:

1. Erhöhung der Bodenwasserspeicherkapazität des Bodens,
2. Erhöhung der Trockenheitstoleranz der Kulturpflanzen.

Bislang liegen aber nur wenige belastbare Daten zur Effektivität des Einsatzes solcher Mittel vor. Vor dem Hintergrund des enormen notwendigen Umfangs der Wiederbewaldung und des gezielten Waldumbaus in den nächsten Jahren und Jahrzehnten prüft die FVA zusammen mit ihren Kooperationspartner/-innen der Professur für Bodenökologie der Universität Freiburg aktuell eine Vielzahl marktverfügbarer Bodenhilfsstoffe im Hinblick auf ihre ökologischen Wirkungen und Risiken und erarbeitet Empfehlungen für deren Einsatz in Forstkulturen.



[www.fva-bw.de/bodenzusatzstoffe](http://www.fva-bw.de/bodenzusatzstoffe)



## 4 FÖRDERUNG ALTERNATIVER BAUMARTEN IM KLIMAWANDEL

Im Zuge des fortschreitenden Klimawandels zielt moderner Waldbau darauf ab, durch die Schaffung strukturreicher Mischbestände und die Förderung standortsheimischer Baumarten die Widerstandskraft unserer Wälder zu stärken. Durch den großflächigen Ausfall der Hauptbaumart Fichte durch Trockenheit und Borkenkäferbefall sowie den verstärkten Waldumbau wird sich die Artenzusammensetzung ändern und vor allem wärmeliebende und trockenheitstolerante Baumarten werden an Bedeutung gewinnen. Neben eingeführten Exoten, wie Douglasie oder Roteiche, rücken dabei seltene heimische Baumarten, sogenannte Neben- oder Alternativbaumarten, zunehmend in den Fokus forstlichen Interesses. Der Verbreitungsschwerpunkt dieser konkurrenzschwachen Baumarten liegt meist auf reliefbedingten und edaphischen Sonderstandorten, wo sie sich gegenüber den Hauptbaumarten durchsetzen können. Ihre vergleichsweise hohe Toleranz gegenüber Trockenheit und Pathogenen macht sie zu einem wichtigen Hoffnungsträger in Zeiten des Klimawandels. Außerdem

besitzen diese Nischenbaumarten eine wichtige Lebensraumfunktion für andere Arten und sind somit Hotspots der Waldbiodiversität.

Besonders wärmeliebend, aber (noch) selten anzutreffen ist beispielsweise die Flaumeiche. Die aus dem Mittelmeerraum stammende Eichenart hat ihre nördliche Arealgrenze in Südwestdeutschland, wo sie auf Extremstandorten an steinigem, südexponierten Hängen und Kuppen wächst und mit der Traubeneiche vergesellschaftet ist (Abb. 36). Auch der Spitzahorn könnte an Konkurrenzkraft gewinnen, da er im Hinblick auf die Wasser- und Nährstoffversorgung anspruchsloser als der Bergahorn ist. Ebenso ist die Flatterulme durch ihr tiefreichendes Wurzelsystem trockenheitstoleranter als viele andere Baumarten.

Die wirtschaftliche Bedeutung dieser heimischen Alternativbaumarten ist bislang oftmals noch untergeordnet. Während beispielsweise Sommerlinde und Hainbuche einst aufgrund ihres Stockausschlagvermögens geschätzte Brennholzlieferanten in der Mittel- und Niederwaldwirtschaft waren, spielen diese aktuell vielerorts nur noch als Begleitbaumart zur Schaftpflege bei Trauben- oder Stieleiche eine Rolle. Dabei wird das Holz seltener Baumarten wie Elsbeere oder Speierling durchaus nachgefragt und auch die Holzpreise für Flatterulme und Spitzahorn steigen zunehmend.

### Erhaltung von Genressourcen

Der Rückgang der Nadelbaumfläche verbunden mit dem gleichzeitigen Umbau zu Mischwäldern führt zu einer gesteigerten Nachfrage nach forstlichem Vermehrungsgut heimischer Nebenbaumarten. Um diesem Bedarf auch zukünftig nachkommen zu können, sind umfangreiche Maßnahmen notwendig. In einem ersten Schritt sind die zumeist weitverstreuten und inselartigen Vorkommen dieser Baumarten zu identifizieren und zu erhalten. Räumliche Isolation und der damit verbundene fehlende Genfluss zwischen den Vorkommen einerseits und zu geringe Populationsgrößen andererseits führen im Laufe von Generationen zu einer genetischen Verarmung und damit zu einer reduzierten Anpassungsfähigkeit an sich ändernde Umweltbedingungen. Gemäß der Generhaltungsstrategie Baden-Württembergs soll deswegen mit gezielten Maßnahmen der genetischen Verarmung vorgebeugt werden. Erhal-



**Abb. 36:** Flaumeichenwald auf einem Extremstandort im Klettgau (Foto: A. Danler).



tungsmaßnahmen können dabei zum einen vor Ort (in-situ) mittels der Ausweisung von besonders schützenswerten Generhaltungsobjekten umgesetzt werden. In solchen Vorkommen wird die Weiterentwicklung und Anpassung des lokalen Genpools über die Generation ermöglicht und gefördert. Als in-situ Generhaltungsbestände eignen sich daher Populationen, die aufgrund ihrer Größe bzw. ihrer Verbundenheit mit anderen Vorkommen nicht von einer genetischen Verarmung oder auch sonst in ihrer Existenz bedroht sind. Zum anderen ist ein Erhalt außerhalb der natürlichen Vorkommen (ex-situ) durch die Anlage von reinen Klonarchiven möglich. Solche Klonarchive werden mit Pfropflingen besonders erhaltenswerter Genotypen begründet. So können Genotypen aus vielen verschiedenen Standorten vertreten sein – auch aus Beständen, deren Fortbestehen und genetische Anpassung vor Ort ungewiss ist.

### Bereitstellung von forstlichem Vermehrungsgut

Neben dem reinen Generhalt ist die ausreichende Bereitstellung von forstlichem Vermehrungsgut notwendig, um den Anteil der heimischen Nebenbaumarten erhöhen zu können. Einige dieser Baumarten wie Spitzahorn, Hainbuche und

Sommerlinde unterliegen dabei dem Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG). Als mögliche Saatgutquellen kommen hier ausgewiesene Vorkommen, sogenannte Erntebestände, und Samenplantagen in Frage. Sowohl bei Erntebeständen als auch bei Samenplantagen muss jedoch ein gesetzlich festgelegter Kriterienkatalog erfüllt werden. Bei Erntebeständen gibt es baumartenspezifische Mindeststandards, unter anderem hinsichtlich Baumalter, Individuenzahl oder phänotypischen Qualitätsmerkmalen. Aufgrund der oftmals kleinräumigen und individuenarmen Vorkommen gestaltet sich bei Alternativbaumarten die Erfüllung dieser Kriterien häufig schwierig. Hinzu kommt, dass sich größere Vorkommen dieser Alternativbaumarten oftmals auf Sonderstandorte beschränken. Eine technische Beerntung ist hier kaum möglich. Daher gewinnen Samenplantagen zunehmend an Bedeutung. Durch den Aufbau solcher Plantagen kann die Verfügbarkeit von genetisch vielfältigem und hochwertigem Vermehrungsgut für diese Baumarten langfristig gewährleistet werden. Dazu werden landesweit vitale und phänotypisch hochwertige Einzelbäume, sogenannte Plusbäume (Abb. 37), kartiert, genetisch untersucht und anschließend vegetativ durch Pfropfung vermehrt (Abb. 38).



**Abb. 37:** Ausgewählter Sommerlinden-Plusbaum nahe Ulm (links) (Foto: J. Erbacher), Hainbuchen-Plusbaum mit schöner Schaftform und nur geringer Spannrückigkeit (rechts) (Foto: A. Danler)





**Abb. 38:** Feldahorn-Pfropfling (Foto: L. Gollent).

In einem letzten Schritt werden die auf diese Weise erzeugten Veredelungen so auf der zukünftigen Samenplantage verteilt, dass eine zufallspaarende Population entsteht. Dadurch wird die genetische Vielfalt des erzeugten Saatgutes weiter gefördert. Samenplantagen bieten dabei gegenüber zugelassenen Erntebeständen mehrere Vorteile: Da sich das berücksichtigte Plusbaumkollektiv aus einer Vielzahl von Einzelvorkommen zusammensetzt, ist die genetische Vielfalt in einer Samenplantage meist höher als im Bestand. Außerdem sind Samenplantagen über einen längeren Zeitraum als Saatgutquelle nutzbar und die Beerntung ist weniger aufwendig. Aufgrund der Freistellung der Einzelbäume ist zudem mit einer regelmäßigen und reichlichen Fruktifikation zu rechnen. Dementgegen stehen der hohe Aufwand bis zur Anlage einer Samenplantage sowie der vergleichsweise lange Zeitraum bis zur erstmaligen Saatgutgewinnung.

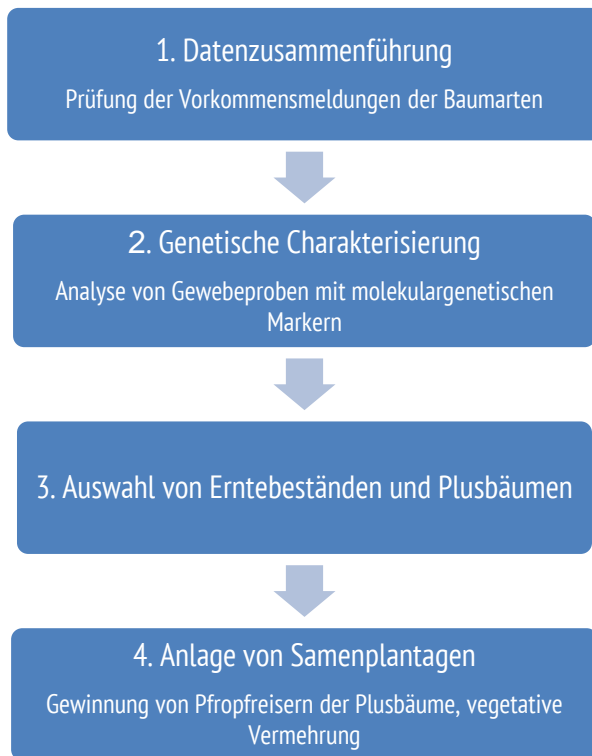
Andere seltene Baumarten wie Elsbeere, Feldahorn oder Flatterulme sind aktuell nicht im FoVG gelistet. Doch auch hier sollte die Herkunft des Vermehrungsgutes berücksichtigt werden. Denn es besteht die Gefahr, dass infolge von Pflanzung

mit ungeeignetem Ausgangsmaterial die genetische Vielfalt und Diversität dieser Baumarten negativ beeinflusst wird. Um lokal angepasste Genpools und Hotspots genetischer Vielfalt dieser seltenen Arten in Baden-Württemberg nicht zu verfälschen, sollten in diesem Zusammenhang die von der FVA Baden-Württemberg herausgegebenen Herkunftsempfehlungen beachtet werden. Neben der Berücksichtigung bereits ausgewiesener Vorkommen kann die genetische Diversität auch hier durch die Nutzung von Vermehrungsgut aus Samenplantagen erhöht werden.

### Vorgehen der FVA Baden-Württemberg

Schwerpunktmäßig wurde mit den Baumarten Flatterulme und Feldahorn begonnen, anschließend der Fokus auf Spitzahorn sowie Sommerlinde und zuletzt auf Hainbuche und Flaumeiche gelegt. Grundsätzlich ist die Vorgehensweise bei den einzelnen Baumarten sehr ähnlich (Abb. 39). Erhebungen aus bereits abgeschlossenen Projekten werden mit aktuellen Daten aus der Forsteinrichtung und der Waldbiotopkartierung ergänzt, um eine Auswahl in Frage kommender Vorkommen zu erhalten. In Zusammenarbeit mit den zuständigen Revierleitenden werden diese Vorkommen hinsichtlich deren Eignung als potenzieller Erntebestand und/oder des Vorhandenseins potenzieller Plusbäume vorab überprüft. Im Falle einer Eignung erfolgt ein Begang dieser Flächen. Dabei kam bei der bisherigen Bewertung potenzieller Erntebestände ein jeweils an die bearbeitete Baumart angepasster Aufnahmebogen zur Anwendung. Bei Arten, die dem FoVG unterliegen, wurden neben den gesetzlich geregelten Kriterien und vorab festgelegten Qualitätsparametern (z. B. Vitalität, Geradschaftigkeit oder Zwieselbildung) auch die Erschließung des Vorkommens sowie die Möglichkeit einer technischen Beerntung berücksichtigt. Für nicht im FoVG gelistete Arten wurde ein ähnlicher Kriterienkatalog entwickelt. Traf eines der aufgeführten Kriterien auf den gesamten potenziellen Erntebestand nicht zu, so wurden die vorkommenden Individuen zumindest hinsichtlich deren Eignung als Plusbaum bewertet. Dabei wurde darauf geachtet, die Plusbaumauslese auf eine kleine Anzahl an Individuen in jedem Bestand zu beschränken, die hinsichtlich ihrer Stammform und Vitalität deutlich herausragend waren. Indem über viele Bestände hinweg immer die am besten gerankten Bäume ausgewählt werden, ist künftig mit einem entsprechend hohen Züchtungsfortschritt in den Samenplantagen zu rechnen. Konnten potenzielle Erntebestände und/oder Plusbäume kartiert werden, so wurden im weiteren Verlauf genetische Proben gewonnen und diese anschließend molekulargenetisch unter-





**Abb. 39:** Schematischer Ablaufplan.

sucht. Mittels Genmarkern wird so die genetische Vielfalt und Diversität innerhalb sowie zwischen Populationen quantifiziert. Diese Information kann für die Ausweisung von Erntebeständen herangezogen werden, dient als Entscheidungshilfe für Generhaltungsmaßnahmen und erlaubt Rückschlüsse auf die Rückwanderungsgeschichte nach der letzten Eiszeit. Diese finden bei der Erstellung von Herkunftsempfehlung für zu verwendendes forstliches Vermehrungsgut Anwendung. Zusätzlich kann die Artreinheit bei Baumarten bestimmt werden, bei denen es natürlicherweise zu zwischenartlichen Kreuzungen (Hybridisierung) kommen kann.

In einem nächsten Schritt wurden Vorkommen, die nicht nur den aufgestellten Kriterienkatalog erfüllten, sondern auch hinsichtlich der genetischen Ausstattung als Erntebestand in Frage kamen, in Rücksprache mit den hierfür zuständigen Kontrollbeamten der Regierungspräsidien, in das Erntezulassungsregister aufgenommen. Diese können somit zukünftig zur Saatgutgewinnung beerntet werden. Des Weiteren wurden von den ausgewählten Plusbäumen mittels Baumkletterer ein- bis zweijährige Zweige, sogenannte Reiser, aus dem oberen Kronenbereich gewonnen und diese anschließend durch Pfropfung auf Baumschulpflanzen vegetativ vermehrt.



**Abb. 40:** Im Frühjahr 2023 angelegte zukünftig nutzbare Flatterulmen-Samenplantage (Foto: J. Erbacher).

**Tab. 1:** Übersicht zu den in der bisher vierjährigen Projektlaufzeit schwerpunktmäßig bearbeiteten Baumarten. Die beiden Baumarten Feldahorn und Flatterulme unterliegen nicht dem FoVG, weshalb beerntungswürdige Vorkommen lediglich in die Herkunftsempfehlungen aufgenommen werden können, da sie nicht in das offizielle Zulassungsregister der Erntebestände nach FoVG übernommen werden können.

Baumart	Empfohlene Saatgutquellen zu Projektbeginn	Anzahl kartierter Plusbäume	Anzahl veredelter Plusbäume	Anzahl neuer Erntebestände	Angelegte und ergänzte Samenplantagen
Feldahorn	-	146	60	3 (1,6 ha)	Neuanlage geplant für Winter 2024/25
Flatterulme	-	67	53	0	Neuanlage in 2023
Spitzahorn	25 Erntebestände (22,6 ha)	170	79	5 (11,2 ha)	Ergänzung einer bestehenden Anlage
	1 Samenplantage (26 Genotypen)				Neuanlage geplant für Winter 2024/25
Sommerlinde	1 Erntebestand (3,0 ha)	72	55	1 (1,0 ha)	Ergänzung der bestehenden Anlage im Herbst 2024
	1 Samenplantage (17 Genotypen)				Neuanlage geplant für Winter 2024/2025
Hainbuche	20 Erntebestände (37,2 ha)	65	geplant für 2024/25	ausstehend	Neuanlage geplant in 2026/27
Flaumeiche	-	44	geplant für 2025/26	ausstehend	Neuanlage geplant in 2027/28

Diese Pflöpflinge werden nach ein- bis zweijähriger Anzucht in der Baumschule dazu verwendet, zukünftige Samenplantagen anzulegen (Abb. 40). Die aus Klonen der Plusbäume bestehende Samenplantage kann schon nach wenigen Jahren beerntet werden, da die Fruktifikation im Vergleich zu Sämlingen deutlich früher einsetzt.

Die Ausgangssituation der bisher bearbeiteten Baumarten war sehr unterschiedlich. Auch wenn gemäß der Datengrundlage für viele Nebenbaumarten ein über ganz Baden-Württemberg verteiltes Vorkommen festgestellt werden konnte, erwies sich dennoch eine Vielzahl dieser Vorkommen für eine Ausweisung als Erntebestand und zur Plusbaumkartierung als nicht bis wenig geeignet. Dies kann auf die bisherige waldbauliche Bedeutung zurückzuführen sein, in der beispielsweise, wie eingangs erwähnt, Hainbuche und Sommerlinde zumeist nur eine dienende Funktion bei der Bewirtschaftung von Eichenwäldern haben. Dem gegenüber stehen die inselartigen und zerstreut vorkommenden Baumarten wie Flatterulme oder

Flaumeiche, die teils auch auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen sind. So ist die Flatterulme als typische Baumart des Auenwaldes aufgrund der Degradierung dieses Lebensraums heute oftmals vielerorts nur noch kleinräumig vorzufinden.

### Fazit und Ausblick

Das Projekt „Erhalt seltener Baumarten und deren Genetik“ schließt die Lücke zwischen den fachlichen Zielen der Generhaltungsstrategie Baden-Württembergs und der zunehmenden Nachfrage nach hochwertigem Saatgut von heimischen Alternativbaumarten. Durch die Generhaltung mithilfe neu ausgewiesener Erntebestände (in-situ) bzw. neu angelegter Samenplantagen (ex-situ) kann zum einen die genetische Vielfalt und Diversität von Nebenbaumarten gesichert werden. Zum anderen wird so aber auch die Grundlage für die zukünftige Versorgung mit forstlichem Vermehrungsgut geschaffen. Dies zeigt sich etwa bei den Baumarten Sommerlinde sowie Feld- und Spitz-



ahorn in der Zulassung neuer Erntebestände, die teils bereits erstmalig beerntet worden sind, und in der bereits angelegten Flatterulmen-Samenplantage. Weitere Samenplantagen mittels Pfropflingen aus vegetativer Vermehrung werden für die in Tabelle 1 aufgeführten Baumarten folgen.

Zukünftig wird insbesondere die Erforschung der genetischen Struktur und Vielfalt seltener Baumarten an Bedeutung zunehmen. Denn die gewonnenen Erkenntnisse können einen erheblichen Beitrag zur fortlaufenden Aktualisierung der bestehenden Herkunftsempfehlungen leisten. Außerdem soll die länderübergreifende Zusammenarbeit intensiviert werden, um eine breitere Datengrundlage für räumlich-genetische

Strukturen zu schaffen und auf diese Weise regionale Cluster für den Erhalt und die Nutzung forstlicher Genressourcen festzulegen. Zusätzlich rücken weitere heimische Alternativbaumarten wie Speierling, Wildapfel oder Wildbirne im Zuge der sich ändernden Umweltbedingungen in den Fokus forstlichen Interesses. Bei Wildobstarten besteht eine besondere Verantwortung, die Genressourcen wilder Populationen zu erforschen und zu erhalten. Denn diese Arten werden seit Jahrtausenden domestiziert, so dass eine Artabgrenzung zwischen wilden und kultivierten Beständen notwendig ist, bevor man Erhaltungsmaßnahmen für wilde Vorkommen ergreift. Genetische Untersuchungen zu diesem Zweck sind ein wichtiger Teil der geplanten Forschungsarbeit der FVA.

## Waldstrategie Baden-Württemberg 2050

### Seltene Baumarten und ihre Genetik erhalten

Feldahorn, Eibe, Speierling, Elsbeere und Flatterulme sind seltene, aber wichtige Baumarten, die unter anderem für den Erhalt der Biodiversität von hoher Bedeutung sind. Die seltenen Baumarten finden in der Forstpraxis immer mehr Verwendung als Alternativbaumarten zur Schaffung stabiler und klimatoleranter Wälder. Im Juni 2020 startete im Rahmen des Sonderprogramms zur Stärkung der Biologischen Vielfalt das Projekt zum "Erhalt seltener Baumarten und deren Genetik" an der FVA.

Mit dem Projekt soll zum einen die Erhaltung und genetische Vielfalt der Baumarten gefördert und zum anderen die Bereitstellung hochwertigen Pflanzguts für die Forstpraxis gewährleistet werden. Die Projektlaufzeit ist bis 2025 vorgesehen.



[www.fva-bw.de/seltene-baumarten-erhalten](http://www.fva-bw.de/seltene-baumarten-erhalten)

## 5 STOFFEINTRÄGE

Anthropogene Stoffeinträge aus der Atmosphäre können den natürlichen Nährstoffkreislauf intakter Wälder stören und so zu einer Schwächung des Waldökosystems beitragen. Die Nährstoffaufnahme der Waldbäume erfolgt über die Wurzeln und über symbiotisch lebende Mykorrhiza-Pilze, die das Wurzelwerk netzartig erweitern und durch ihre weitreichenden Pilzhyphen die Aufnahme von Wasser und Nährstoffen erhöhen. Die aufgenommenen Nährstoffe werden in der Biomasse der Bäume gespeichert. Durch den Abwurf von Laub und anderen organischen Materialien gelangen diese wiederum in den Humus, der durch Mineralisation die Nährstoffe fortlaufend der Vegetation zur Verfügung stellt.

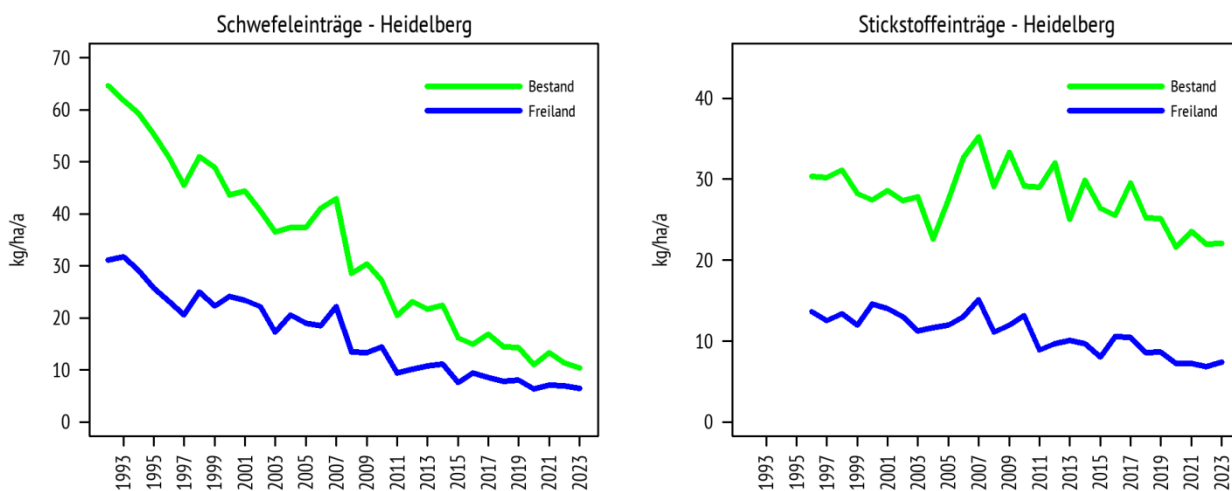
Ein hoher Eintrag von Säuren, vor allem durch Schwefel- und Stickstoffverbindungen, führte während der letzten Jahrzehnte zu einer langfristigen Versauerung der Waldböden und zu einer Störung der Waldernährung, da essentielle Nährelemente mit dem Sickerwasser ausgewaschen wurden und die Böden somit verarmten. Die Folge sind unter anderem eine verminderte Vitalität der Bäume, eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber Schadorganismen, eine verringerte Filter- und Pufferwirkung der Waldböden sowie Veränderungen in der Bodenvegetation. Dabei sind Wälder im Vergleich zu anderen Landnutzungsformen besonders stark gefährdet. Neben dem Eintrag mit dem Regen (nasse Deposition) und dem Nebel (feuchte Deposition) werden durch die große Oberfläche der Baumkronen Schadstoffe und Feinstäube auch aus der Luft ausgekämmt (trockene

Deposition). Daher ist der Stoffeintrag mit der Gesamtdeposition in Wäldern oftmals 1,5- bis 3-mal so hoch wie auf benachbarten Freiflächen (Abb. 41). In immergrünen Nadelwäldern ist der Schadstoffeintrag besonders hoch, da sie gegenüber winterkahlen Laubwäldern nochmals einen deutlich höheren Auskämmeffekt aufweisen.

### Säure- und Stickstoffeinträge

Beispielhaft für die beobachteten Entwicklungen im Depositionsmessnetz der FVA Baden-Württemberg sind in Abbildung 41 die Schwefel- und Stickstoffeinträge für die Versuchsfläche Heidelberg dargestellt. Die Einträge auf der Fichtenfläche sind sowohl für Schwefel als auch für Stickstoff deutlich höher als die Einträge auf dem Freiland. Bei den Schwefeleinträgen ist seit Mitte der 1990er Jahren eine klare Reduktion zu erkennen. Durch effektive Filterungsmaßnahmen sowie die Optimierung der Verbrennungsprozesse sind die Einträge von Schwefel im Bestandesniederschlag von ehemals über 60 kg auf ca. 10 kg pro Hektar Waldfläche zurückgegangen.

Eine leichte Reduktion zeigt sich auch für die Stickstoffeinträge, wenngleich die Belastung der Wälder mit über 20 kg pro Hektar auf der Versuchsfläche Heidelberg, wie in vielen anderen Teilen des Landes, nach wie vor hoch ist. Während auf den exponierten Standorten des Schwarzwalds und des Odenwalds der



**Abb. 41:** Schwefel- (links) und Stickstoffeinträge (rechts) der Versuchsfläche Heidelberg im Vergleich zwischen Waldbestand und Freiland. Die Gesamtschwefeleinträge werden seit 1993, die Gesamtstickstoffeinträge seit 1995 auf der Versuchsfläche gemessen.



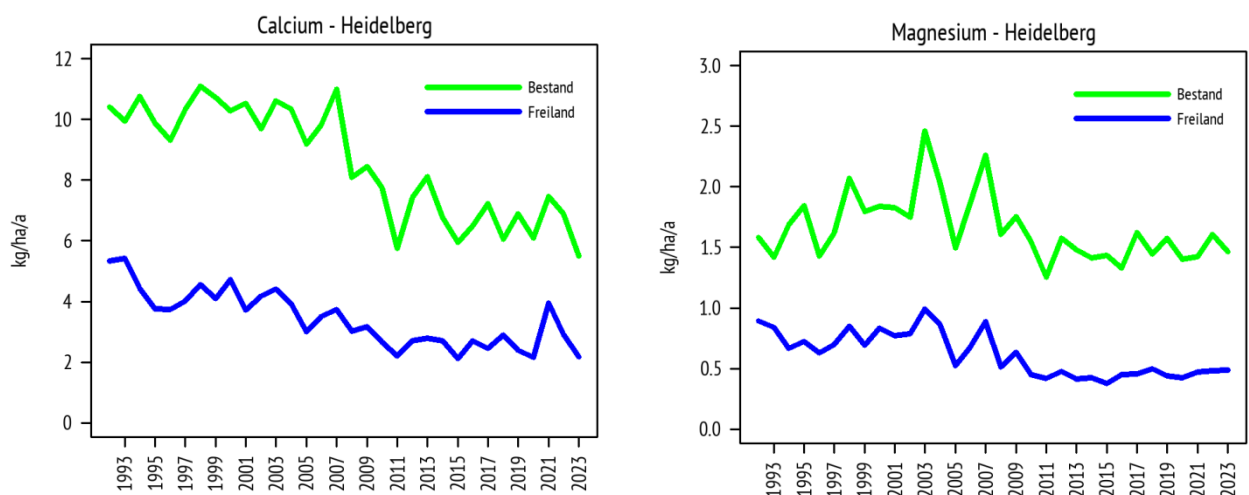
Stickstoffeintrag vorwiegend durch Verkehrs- und Industrieabgase verursacht wird, überwiegt in stärker landwirtschaftlich geprägten Regionen vor allem der Eintrag von Ammonium-Stickstoff, der vornehmlich aus der intensiven Tierhaltung stammt.

Trotz des erfreulichen Rückgangs der Schadstoffbelastung ist es wichtig zu beachten, dass viele Waldböden in Baden-Württemberg durch die jahrzehntelangen Säure- und Stickstoffeinträge geschädigt und weiterhin über ihr natürliches Maß hinaus versauert sind. Um alle Bodenfunktionen nach Möglichkeit vollständig wiederherzustellen, werden in Baden-Württemberg regenerationsorientierte Bodenschutzkalkungen durchgeführt, die darauf abzielen, den aktuellen Säureeintrag zu kompensieren und das durch die Versauerung verursachte Basendefizit im Boden auszugleichen (PUHLMANN et al., 2021).

### Basische Nährelemente

Infolge der Bodenversauerung der letzten Jahrzehnte wurden auf vielen Waldstandorten die existentiellen basischen Nährelemente mit dem Bodensickerwasser in tiefere Bodenschichten verlagert und weitgehend aus dem Wurzelraum ausgewaschen. Zudem war die erfolgreiche Reduktion der Säureemissionen begleitet von einem gleichermaßen rückläufigen Eintrag

basischer Kationen wie Calcium und Magnesium (Abb. 42). Dies hat zur Folge, dass eine Nachlieferung der verloren gegangenen Nährstoffvorräte überwiegend aus der Mineralisation von Gestein und Humus erfolgen muss. Für die forstliche Praxis bedeutet dies, auf eine nährstoffnachhaltige Holznutzung zu achten und möglichst viel Biomasse in den Waldbeständen zu belassen. Insbesondere sollte eine intensive Biomassenutzung, z. B. zur Erzeugung von Hackschnitzeln, auf gut bis sehr gut versorgte Standorte begrenzt werden, da gerade im Rinden- und Kronenmaterial ein hoher Anteil an Nährelementen gespeichert ist. Neben einer standörtlich angepassten Nutzungsintensität ist eine insgesamt auf Humus- und Bodenschutz ausgerichtete Bewirtschaftung zur nachhaltigen Sicherung der Nährstoffvorräte im Boden wichtig. Gerade auf verarmten Standorten ist die Humusaufgabe für Waldbäume eine wichtige Nährstoffquelle, die jedoch mittlerweile durch Witterungsextreme, Freistellungen im Zuge von Kalamitäten sowie Erosion stark gefährdet ist. Eine Waldbewirtschaftung, die auf stabile Bestände mit möglichst dauerhafter Überschirmung ausgerichtet ist und den Einbau von organischer Substanz aus der Humusaufgabe in den Mineralboden fördert (z. B. Bodenfauna, Tiefwurzler), unterstützt die natürlichen Regenerationsprozesse der Böden. Maßnahmen zur Sicherung der Nährstoffressourcen, wie die Bodenschutzkalkungen und angepasste Ernteintensitäten, steigern zusätzlich das Regenerationsvermögen der Waldböden.



**Abb. 42:** Calcium- (links) und Magnesiumeinträge (rechts) der Versuchsfäche Heidelberg im Vergleich zwischen Waldbestand und Freiland für den Zeitraum von 1993 bis 2023.

## 6 DER WALDBODEN - BODEN DES JAHRES 2024

### Wie können wir die Grundlage unserer Wälder nachhaltig bewahren?

Gibt es überhaupt den Waldboden? Nein, den einen Waldboden gibt es natürlich nicht, vielmehr umfasst der Begriff Waldboden eine große Vielfalt einzelner Bodentypen, die sich durch die besondere Vegetation – den Wald – von den Böden anderer Landnutzungsformen unterscheiden (Abb. 43). Alle Böden sind geprägt durch das Ausgangsgestein, das Relief und das Klima, die Flora (Waldbestand und Bodenvegetation) sowie die Tiere, die auf und vor allem im Boden leben. Neben diesen natürlichen Faktoren der Bodenbildung werden die Böden auch durch eine intensive Nutzung durch den Menschen beeinflusst. Es gibt daher einige Merkmale, die Waldböden von anderen Böden, wie Acker- und Grünlandböden, unterscheiden: Sie sind weitgehend durch dauerhafte Vegetation (Waldbestand) vor Erosion geschützt, sie werden nicht (mehr) durch Bodenbearbeitung umgestaltet, sie werden in der Regel nicht gedüngt oder bewässert, sie besitzen eine Streuauflage und Auflagehumus und sie sind im Vergleich zu benachbarten landwirtschaftlichen Standorten oftmals flachgründiger, steiniger, steiler, nasser oder trockener, saurer und/oder nährstoffärmer – insgesamt schwerer zu bewirtschaften und damit für die Landwirtschaft nicht (mehr) attraktiv.

### Leistungen und Funktionen der Waldböden

Waldböden übernehmen sehr viele Funktionen im Wald. Zum einen sind sie Wurzelraum für Bäume und die Bodenvegetation. Hier findet die überwiegende Nährstoff- und Wasserversorgung der Vegetation statt. Der Boden ist somit prägend für die Waldernährung und das Baumwachstum. Dabei gibt es in Baden-Württemberg sehr große Unterschiede zwischen den Regionen (HARTMANN et al., 2016). Neben nährstoffreichen Standorten, wie z. B. im Alpenvorland, gibt es auch sehr nährstoffarme Böden, wie z. B. im Nordschwarzwald – und damit ein breites Spektrum an Waldstandorten. Zum anderen speichern gut strukturierte und feinkörnige Waldböden zum Teil bis zu 200 mm Niederschlagswasser pro Quadratmeter (an flachgründigen, sandigen Standorten zum Teil aber weniger als 50 mm!) und sind somit neben der Versorgung der Bäume mit Wasser auch wirksamer Filter für Trinkwasser und ein wichtiger Puffer für Niederschlagsextreme (PUHLMANN, 2023). Neben dieser direkten positiven Wirkung auf Witterungsextreme übernehmen Waldböden auch noch einen großen Anteil der Kohlenstoffspeicherung im Wald. Knapp die Hälfte des Kohlenstoffs im Waldökosystem ist im Boden gespeichert (HARTMANN et al., 2016). Was dabei aktuell im Fokus der Forschung steht:



**Abb. 43:** Waldböden in Baden-Württemberg sind vielfältig. Von links nach rechts: nährstoffarme Braunerde aus Diatexit; wasserstauender Pseudogley aus Rotliegendem; ein stark durch Grundwasser geprägtes Erdniedermoor; nährstoffreiche und sehr gut Wasser speichernde Parabraunerde aus Löss; nährstoffreiche, aber auch steinreiche Terra Fusca aus Weißjura (Fotos: H. Buberl).



In Waldböden werden viele Treibhausgase umgesetzt – so befindet sich z. B. die wichtigste terrestrische Senke für das klimaschädliche Methan in Waldböden (LANG, 2023). Darüber hinaus sind Waldböden auch direkter Lebensraum für eine Vielzahl an Bodenlebewesen, wie z. B. Regenwürmer, Hornmilben (Abb. 44) und Pilze, die oft nur hier vorkommen (BLUHM et al., 2023). Waldböden übernehmen also wichtige Aufgaben als Lebensraum für Pflanzen, Tiere und Pilze, als Produktionsgrundlage für die Forstwirtschaft, als Klimastabilisator und als Trinkwasserquelle.

### Erhaltung der Leistungsfähigkeit

Aus waldbaulicher und ökonomischer Sicht ist der Waldboden das Basiskapital jeder Forstwirtschaft. Der Schutz des Bodens und die Erhaltung seiner Produktionskraft sind eine wesentliche Säule einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung. Ein Ziel nachhaltiger Forstwirtschaft muss daher sein, die Leistungsfähigkeit dieser Funktionen langfristig zu erhalten. Aus Naturschutzsicht ist der Erhalt bzw. die Regeneration naturnaher Bodenzustände Grundlage für eine natürliche Biodiversität. Aus Sicht einer auch im Klimawandel stabilen Versorgung mit sauberem Trinkwasser ist die Bewahrung und die Förderung der Filter- und Speicherfunktion von Waldböden eine zentrale Aufgabe. Der Kohlenstoffspeicherung im Waldboden zur Abmilderung des CO<sub>2</sub>-getriebenen Klimawandels kommt ebenfalls eine wichtige Aufgabe zu.

### Gefährdung der Waldböden = Gefährdung der Bodenfunktionen!

Waldböden und deren wichtige Funktionen sind gefährdet, auch wenn man sie im Allgemeinen als selbstverständlich verfügbar und unveränderlich ansieht – das sind sie aber nicht! Die Bodenforschung der letzten Jahrzehnte hat auch in Waldböden starke Veränderungen festgestellt, die durch interne und externe Faktoren angetrieben werden. Ein gesellschaftlich bekanntes Problem waren die hohen Belastungen durch schwefelsaure Einträge bis Mitte der 1980er Jahre („saurer Regen“) mit der Folge der „neuartigen Waldschäden“. Die Schadstoffeinträge sind dank starker politischer Regulierungen zur Luftreinhaltung in den letzten Jahrzehnten deutlich zurückgegangen. Der Waldboden hat jedoch nach wie vor mit der Versauerung durch die oftmals massiven Einträge an schwefelsauren Verbindungen zu kämpfen (PUHLMANN et al., 2021). Daneben stellt der weiterhin immer noch sehr hohe Eintrag an Stickstoff in die Wälder ein massives Problem für die Waldökologie dar (ROTH et al., 2024). Die hohen Einträge, insbesondere von Ammoniak aus der Landwirtschaft, führen einerseits zu einer weiteren Versauerung der Waldböden. Andererseits sind große Teile der an Stickstoffarmut angepassten Waldökosysteme durch den Überfluss an Stickstoff nicht mehr im Gleichgewicht und in ihrer Baumernährung und Biodiversität durch diese Eutrophierung gefährdet. Neben dem „Zuviel“ an Nährstoffen kann der Mensch die Waldökosysteme aber auch durch ein „Zuviel“ an Biomasseentzug destabilisieren (VONDERACH et al.,



**Abb. 44:** Aufnahme eines Regenwurms (*Lumbricidae*) und einer Hornmilbe (*Oribatida*) (Foto: S. Bluhm).

2018). Dies gilt insbesondere bei sehr nährstoffarmen Böden mit geringem Potential an natürlicher Nährstofffreisetzung durch Verwitterung. Aktuell zeigt sich zudem ein weiteres Gefährdungspotential der Waldböden: Das großflächige Absterben ganzer Bestände, das durch extreme Witterungsbedingungen verursacht wird, setzt die Waldböden ungeschützt dem Humusabbau aus und kann im schlimmsten Fall zu Erosion führen. Zusätzlich destabilisiert werden Böden in ihrer physikalischen Funktionalität durch übermäßige Befahrung und Bodenverdichtung (SCHÄFFER et al., 2012).

Folgen dieser oftmals kombinierten Bodengefährdungen können dann sein: Verlust der Bodenfruchtbarkeit, Nährstoffungleichgewichte, Verlust des Wasserspeichervermögens, Einschränkung der Naturverjüngung, Einschränkung der Baumarteneignung, Humusschwund und im schlimmsten Fall Erosion, was einem Verlust des Standorts gleichkommen kann. Als Folge sind die Waldökosysteme wiederum anfälliger für Trockenstress, Schaderreger und Kalamitäten.

### Bodenschutzkonzepte im Wald Baden-Württembergs

Die öffentliche Waldbewirtschaftung hat sich einer Nachhaltigkeit verpflichtet, welche auch den Bodenschutz immer stärker berücksichtigt, wenn auch oftmals andere Zielsetzungen aus politischer, ökonomischer oder artenschutzrechtlicher Abwägung priorisiert werden.

Ein zentrales Element des physikalischen Bodenschutzes ist das Rückegassenkonzept der Feinerschließungsrichtlinie (MLR BADEN-WÜRTTEMBERG, 2003). Damit wird ein dauerhafter Schutz von 80 bis 90 Prozent der Fläche vor schadhafter Bodenverdichtung gewährleistet. Offene Fragen sind hierbei: Wie gelingt aktuell die Umsetzung im Staats-, Körperschafts- und Privatwald? Wie wird Bodenschutz im Kalamitätsfall gewährleistet, bei dem flächenhaft geräumt werden muss? Gibt es Weiterentwicklungen in Richtung einer noch bodenschonenderen Technik?

Unsere Waldböden müssen auch hinsichtlich ihrer stofflichen Bodenfruchtbarkeit geschützt werden. Um den Verlust der Bodenfruchtbarkeit durch externe Versauerung entgegenzuwirken, wird mit der regenerationsorientierten Bodenschutzkalkung ein effektives und stark gefördertes Instrument zur Wiederherstellung einer natürlichen Bodenfunktionalität eingesetzt (FVA BADEN-WÜRTTEMBERG, 2024c). Hierfür werden landesweite

und regionalspezifische Konzepte durch die FVA Baden-Württemberg erstellt, und durch die Forstverwaltung und ForstBW umgesetzt. Die Bodenschutzkalkung ist kein Ersatz für eine nährstoffnachhaltige Bewirtschaftung und es gilt ein Düngeverbot zur Ertragssteigerung. Um den Ertrag dauerhaft zu erhalten, muss eine standortgerechte Regulierung der Erntentzüge zur Minderung der Versauerungslast auch in Zukunft insbesondere auf nährstoffarmen Standorten sichergestellt werden. Viele besser nährstoffversorgte Standorte weisen dagegen häufig eine ausreichende nachschaffende Kraft auf.

Neben den direkten bodenschützenden Maßnahmen ist auch der Waldumbau als wichtiges Instrument zum Schutz der Waldböden zu sehen. Standortstypische Waldentwicklungstypen gelten als klimastabiler, Mischbestände statt Nadelbestände erhöhen die Bodennutzungstiefe und reduzieren durch ihre Streu die Versauerungslast, stabile Bestände schützen dauerhaft vor Bodenerosion. In diesem Zusammenhang muss aktuell betont werden: Kalamitätsflächen schnell wiederbewalden UND langfristig vermeiden!

Im Jahr 2024 kommt dem Waldboden besonders viel Aufmerksamkeit zu, denn: Die Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft (DBG) hat ihn zum Boden des Jahres ernannt.

Die FVA Baden-Württemberg forscht intensiv zum Waldboden im Land. Bis zum Jahresende stellen wir Ihnen unsere Arbeit vor: Projekte, Material und Veranstaltungen rund um den Waldboden finden Sie Monat für Monat auf der FVA-Website.



[www.fva-bw.de/presse/boden-des-jahres-2024](http://www.fva-bw.de/presse/boden-des-jahres-2024)



## 7 DAS FORSTLICHE UMWELTMONITORING

Das Forstliche Umweltmonitoring liefert seit über 40 Jahren belastbare Daten und Erkenntnisse über den Zustand der Wälder. Durch die langjährigen Erhebungen können Veränderungen frühzeitig erkannt und mögliche Risiken aufgezeigt werden, was insbesondere in Zeiten einer fortschreitenden und zunehmend beschleunigten Klimaveränderung von großer Bedeutung ist.

Unter den vielfältigen Belastungen, die auf Wälder einwirken, sind die Folgen des Klimawandels besonders gravierend. Diese manifestieren sich in immer häufiger auftretenden Extremwet-

tereignissen wie sommerlicher Hitze und Trockenheit, Stürmen und Starkregen. In den letzten Jahren hat dies neben direkten Trockenis- und Hitzeschäden zu einer verstärkten Belastung durch verschiedene Schadorganismen geführt. Insbesondere das massenhafte Auftreten verschiedener Borkenkäferarten, die sich in den geschwächten Wäldern stark vermehren konnten, sorgte in den letzten Jahren für erhebliche Schadholzvorkommen. Zudem wirkt sich eine starke Eutrophierung der Wälder durch Stickstoffeinträge und die Spätfolgen hoher Säurebelastungen der letzten Jahrzehnte negativ auf den Zustand der Wälder aus.



### Kronenzustand

Erhebung des Nadel-/Blattverlusts, der Vergilbung sowie aller biotischen und abiotischen Schäden



### Phänologie

Zeitliche Bestimmung der Blüte, des Austriebs, der Herbstverfärbung und des Blattfalls



### Zuwachs

Bestimmung des Zuwachses in verschiedener zeitlicher Auflösung (Einzelbaum und Bestand)



### Ozon

Untersuchung von Ozonschäden an sogenannten LESS-Flächen



### Ernährung

Untersuchung der Versorgung der Bäume mit Nährelementen und deren Reaktion zueinander



### Bodenzustand

Erhebung des chemischen und physikalischen Bodenzustands



### Witterung

Erfassung meteorologischer Größen (u. a. Temperatur und Niederschlag) im Bestand und auf der Freifläche



### Deposition

Erhebung des Eintrags von Stickstoff, Säure sowie von Nährelementen und Schadstoffen



### Biodiversität

Erfassung der Arten- und Strukturvielfalt im Wald (u. a. Bodenfauna)



### Sickerwasser

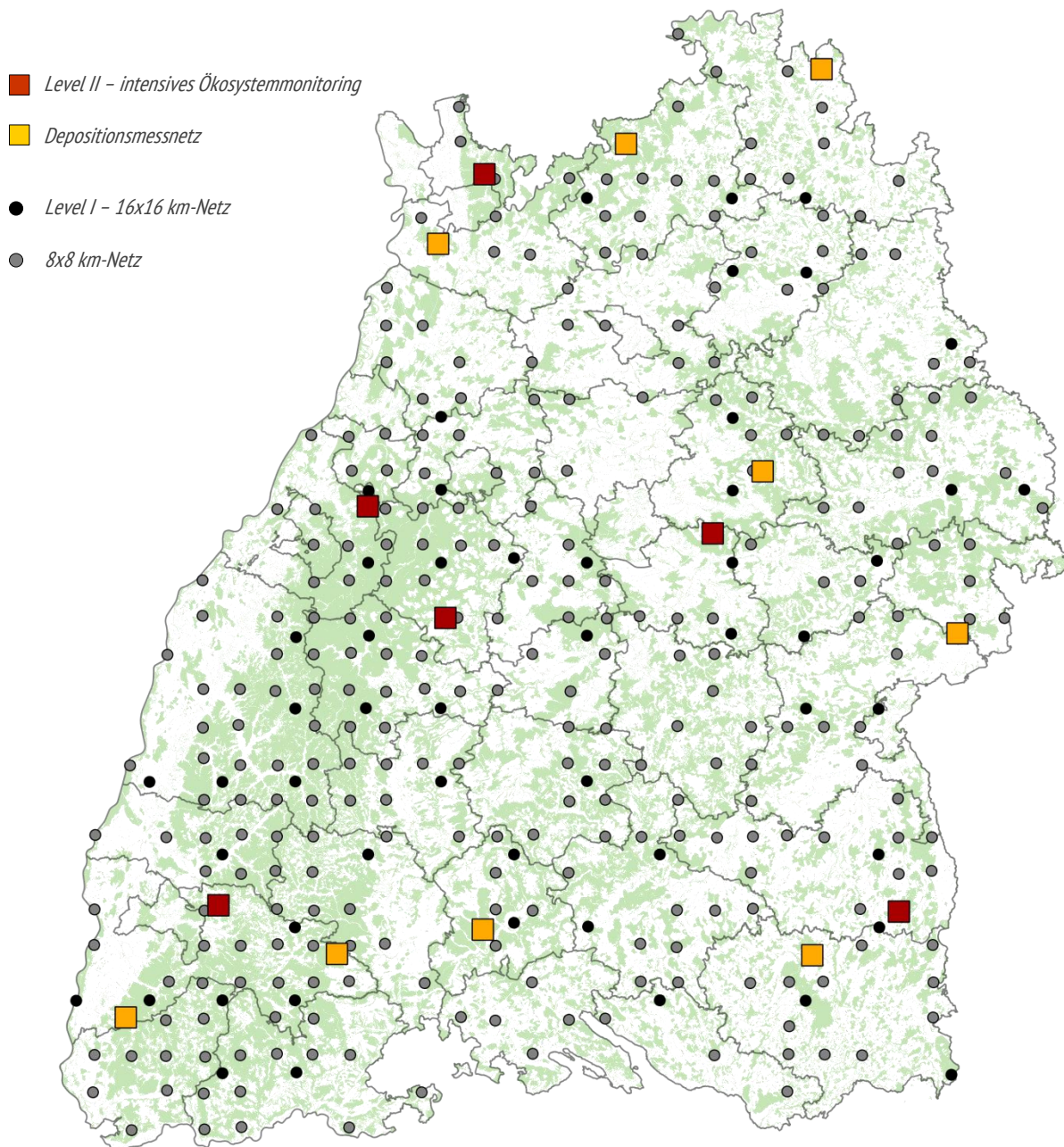
Untersuchung der Speicher- und Auswaschungsprozesse, Folgewirkungen für die Hydrosphäre



### Bodengasmessung

Untersuchung der Gasbestandteile im Boden zur Bilanzierung der Treibhausgase im Wald

Abb. 45: Untersuchungsthemen des Forstlichen Umweltmonitorings.



**Abb. 46:** Räumliche Lage der Rasterstichproben des 16x16 km- bzw. 8x8 km-Netzes und der Versuchsflächen des intensiven Ökosystemmonitorings sowie des Depositionsmessnetzes.

Das Forstliche Umweltmonitoring hat sich seit seinen Anfängen in den frühen 1980er Jahren zu einem umfassenden Beobachtungsprogramm entwickelt, welches wertvolle Ergebnisse zu Zustand und Entwicklung der Wälder in Baden-Württemberg bereitstellt und eine Ursachenanalyse für beobachtete Veränderungen erlaubt. Im Fokus des Monitorings stehen zum einen der Waldbestand selbst (Kronenzustand, Phänologie, Zuwachs, Ozon und Ernährung) und zum anderen weitere den Waldstandort charakterisierende Umweltfaktoren und Prozesse (Bodenzustand, Witterung, Deposition, Biodiversität, Sickerwasser und Bodengase) (Abb. 45).

### Methodischer Aufbau

Das Forstliche Umweltmonitoring gliedert sich in zwei verschiedene Untersuchungsebenen. Einerseits werden stichprobenbasierte Rastererhebungen durchgeführt, die flächenrepräsentative Ergebnisse für die gesamte Waldfläche Baden-Württembergs bereitstellen. Andererseits finden auf gezielt ausgewählten Versuchsflächen prozessorientierte Untersuchungen statt, die verallgemeinerbare Aussagen zu bestimmten Standorts- und Bestandestypen ermöglichen.



Zu den Rasterstichproben zählt die Waldzustandserhebung (WZE), die Bodenzustandserhebung (BZE) und die Immissionsökologische Waldernährungsinventur (IWE). Alle Aufnahmepunkte liegen hierbei auf einem festen Aufnahmeraster, bei dem jeder Schnittpunkt im Wald als Aufnahmepunkt angelegt wird. Seit dem Jahr 2005 werden alle Erhebungen der Rasterstichproben einheitlich auf dem 8x8 km-Netz sowie auf dem europäischen 16x16 km-Netz (Level I) durchgeführt (Abb. 46).

Zu den Versuchsflächen zählen die Flächen des intensiven Ökosystemmonitorings (Level II), die Waldklimastationen, die Depositionsflächen und die Dauerbeobachtungsflächen Waldschäden. Auf den Versuchsflächen werden viele verschiedene Umweltparameter in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung untersucht (Abb. 47). Dabei ist die geografische Lage der 50x50 m großen Versuchsflächen im Gegensatz zu den Rasterflächen nicht zufällig, sondern entsprechend dem jeweiligen Untersuchungsziel ausgewählt (Abb. 46).

### Internationale Einbindung

Das Forstliche Umweltmonitoring ist sowohl in nationale als auch in internationale Umweltprogramme eingebunden. Von den Rasterstichproben gehören die 52 Punkte des 16x16 km-Netzes zum europäischen Aufnahmenetz „Level I“. Daneben sind sechs Standorte des intensiven Ökosystemmonitorings in Baden-Württemberg, mit jeweils einer Fichten- und einer Buchenfläche, Bestandteil des europäischen Umweltprogramms „Level II“. Alle Ergebnisse fließen in das europäische Umweltprogramm ICP-Forests (International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests) ein und werden für unterschiedlichste Fragestellungen nationaler und internationaler Forschergruppen stark nachgefragt.



**Abb. 47:** Stammabflussanlage auf der Versuchsfläche des intensiven Ökosystemmonitorings in Rotenfels (Nordschwarzwald) (Foto: S. Meinung).

## 8 METHODIK DER WALDZUSTANDSERHEBUNG

Die Waldzustandserhebung (WZE) untersucht den Vitalitätszustand der Wälder in Baden-Württemberg. An jedem Stichprobenpunkt des 8x8 km- bzw. 16x16 km-Netzes werden nach einem festgelegten Verfahren 24 Bäume untersucht. Dafür werden ausgehend vom Stichprobenmittelpunkt in den vier Haupthimmelsrichtungen jeweils in 25 Metern Entfernung die sechs nächsten Bäume der Kraftschen Klasse 1 bis 3 ausgewählt (Abb. 48). Die Bäume werden dauerhaft markiert und jährlich hinsichtlich ihres Kronenzustands bewertet.

Die Bewertung der Baumkronen erfolgt terrestrisch mit Hilfe von Ferngläsern im Zwei-Personen-Verfahren. Wenn Bäume am Stichprobenpunkt nicht mehr vorhanden sind, werden sie möglichst durch benachbarte Bäume ersetzt. Sind nicht mehr ausreichend Bäume vorhanden, ruht die Aufnahme, bis sich wieder eine Verjüngung mit ausreichender Baumanzahl und einer Mindesthöhe von 60 cm am Stichprobenpunkt eingestellt hat.

Die Hauptkriterien zur Beurteilung des Kronenzustands sind der Nadel-/Blattverlust (NBV) sowie die Vergilbung. Diese beiden Merkmale werden in Fünf-Prozent-Stufen erfasst und anschließend zu sogenannten Schadstufen klassifiziert (Tab. 2). Darüber hinaus werden weitere Baummerkmale erhoben, die den Vitalitätszustand beeinflussen können. Dazu zählen insbesondere Schäden in der Baumkrone oder am Stamm, die durch Pilze oder Insekten verursacht wurden, sowie Auswirkungen von Witterungsereignissen wie Trockenstress oder einer unzureichenden Nährstoffversorgung.

### Durchführung der Waldzustandserhebung 2024

Die diesjährigen Außenaufnahmen zur Waldzustandserhebung fanden im Zeitraum vom 18. Juli bis 23. August an insgesamt 321 Stichprobenpunkten statt. An 18 Stichprobenpunkten ruht derzeit die Aufnahme, da nicht mehr genügend Bäume in ausreichender Höhe zur Verfügung stehen.

Für die Waldzustandserhebung 2024 wurden insgesamt 7.696 Bäume untersucht (Tab. 3). Den landesweiten Baumartenanteilen entsprechend sind Fichte und Buche am häufigsten in der Stichprobe vertreten. Dahinter folgen mit größerem Abstand Tanne, Eiche (Stiel- und Traubeneiche), Kiefer, Bergahorn, Esche und Douglasie.

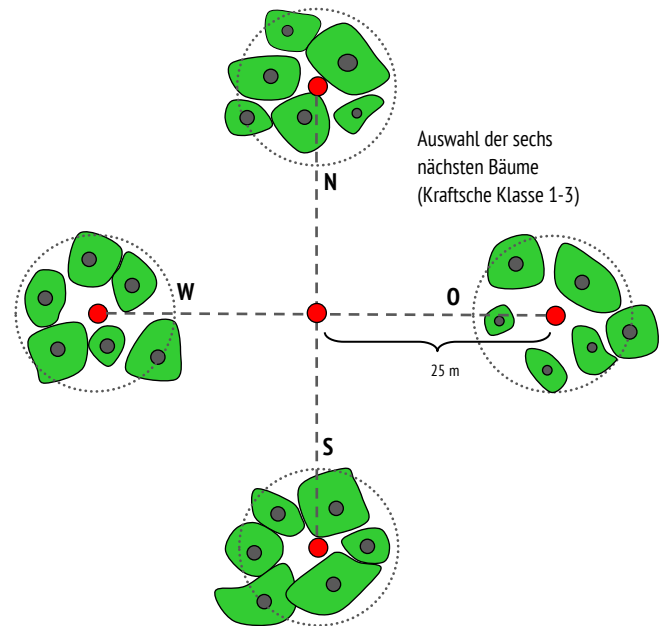


Abb. 48: Schematischer Aufbau eines WZE-Stichprobenpunktes.

Tab. 2: Klassifikation des Nadel-/Blattverlusts und der Vergilbung sowie daraus abgeleitete Schadstufen.

Klasse	Nadel-/Blattverlust in %	Vergilbung in %
0	0 - 10	0 - 10
1	11 - 25	11 - 25
2	26 - 60	26 - 60
3	61 - 99	> 60
4	100	

Berechnung der Schadstufen				
Nadel-/Blattverlustklasse	Vergilbungsklasse			
	0	1	2	3
0	0	0	1	2
1	1	1	2	2
2	2	2	3	3
3	3	3	3	3
4	4			

Schadstufe 0:	ungeschädigt	
Schadstufe 1:	schwach geschädigt	<b>Warnstufe</b>
Schadstufe 2:	mittelstark geschädigt	
Schadstufe 3:	stark geschädigt	<b>deutlich geschädigt</b>
Schadstufe 4:	abgestorben	



**Tab. 3:** Anzahl untersuchter Probestämme der Waldzustandserhebung 2024 und prozentuale Anteile nach Baumarten.

Baumart	bis 60 Jahre	ab 61 Jahre	Gesamt	Anteil %
Fichte	929	1.495	2.424	31,5%
Tanne	218	726	944	12,3%
Kiefer	69	251	320	4,2%
Douglasie	101	54	155	2,0%
sonstige Nadelbäume	21	120	141	1,8%
Buche	545	1.442	1.987	25,9%
Eiche	179	440	619	8,0%
Bergahorn	180	106	286	3,7%
Esche	84	140	224	2,9%
sonstige Laubbäume	419	177	596	7,7%
<b>Gesamt</b>	<b>2.745</b>	<b>4.951</b>	<b>7.696</b>	<b>100,0%</b>

Alle anderen Baumarten werden in die Gruppen „sonstige Nadelbäume“ und „sonstige Laubbäume“ zusammengefasst.

Da das Baumalter einen signifikanten Einfluss auf den Kronenzustand hat, werden die Ergebnisse nach den Altersgruppen „bis 60 Jahre“ und „ab 61 Jahre“ ausgewertet. Etwa ein Drittel aller Bäume entfallen derzeit auf die Altersgruppe „bis 60 Jahre“ und

etwa zwei Drittel auf die Altersgruppe „ab 61 Jahre“ (Tab. 3). Lediglich bei den Baumarten Douglasie, Bergahorn und den sonstigen Laubbäumen überwiegt der Anteil der jüngeren Bäume. Im Gegensatz dazu ist bei Kiefer, Tanne und den sonstigen Nadelbäumen der Anteil älterer Bäume besonders hoch.

### Qualitätssicherung

Seit dem Beginn der Waldzustandserhebung in Baden-Württemberg ist mit zahlreichen Maßnahmen zur Qualitätssicherung eine hohe Datenqualität sichergestellt worden. So findet jährlich auf Bundesebene ein Abstimmungskurs der Länder-Inventurleitungen statt, der sicherstellt, dass der Kronenzustand in ganz Deutschland einheitlich erfasst wird. Im Anschluss werden die Aufnahmeteams in Baden-Württemberg vor der eigentlichen Erhebung intensiv auf eigens hierfür eingerichteten Schulungspfaden der FVA Baden-Württemberg geschult (Abb. 49). Darüber hinaus wird die Qualität der Erhebung durch eine umfassende fachliche Begleitung während der Aufnahmen und stichprobenartige Kontrollen der Aufnahmepunkte zusätzlich sichergestellt.

Auf internationaler Ebene finden ebenfalls regelmäßig Abstimmungskurse statt. Zudem wurde im Jahr 2023 wiederholt ein Foto-Vergleichstest zur Waldzustandserhebung für Deutschland durchgeführt, dessen Ergebnisse die hohe Übereinstimmung in der Bewertung der Kronenansprache innerhalb Baden-Württembergs und im gesamten Bundesgebiet bestätigen.



**Abb. 49:** Schulung der Aufnahmeteams vor dem Beginn der Waldzustandserhebung 2024 (Foto: S. Schmidt).



## Auswertungsmethoden

Die Waldzustandserhebung ist ein landesweit angelegtes Stichprobenverfahren mit zufällig ausgewählten Probestämmen. Um die Ergebnisse auf die tatsächliche Waldflächenverteilung in Baden-Württemberg übertragen zu können, werden die Ergebnisse mit den Baumartenflächen gewichtet und waldfächenbezogen dargestellt. Für die Gewichtung dienen die jeweils aktuellen Daten der Bundeswaldinventur (BWI) 3 zurückgegriffen, da die Veröffentlichung der BWI 4 erst nach Erstellung dieses Berichts erfolgte. Damit werden die Ergebnisse der einzelnen Probestämme der Waldzustandserhebung gemäß ihrem Vorkommen in Baden-Württemberg berücksichtigt. Die Berechnung des mittleren Nadel-/Blattverlusts wird mit einem Vertrauensbereich von 95 Prozent dargestellt. Das bedeutet, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 95 Prozent der wahre Wert innerhalb dieses Bereiches liegt. Da der Vertrauensbereich stark von der Anzahl der Beobachtungen abhängt, ist dieser umso enger, je mehr Bäume untersucht wurden.

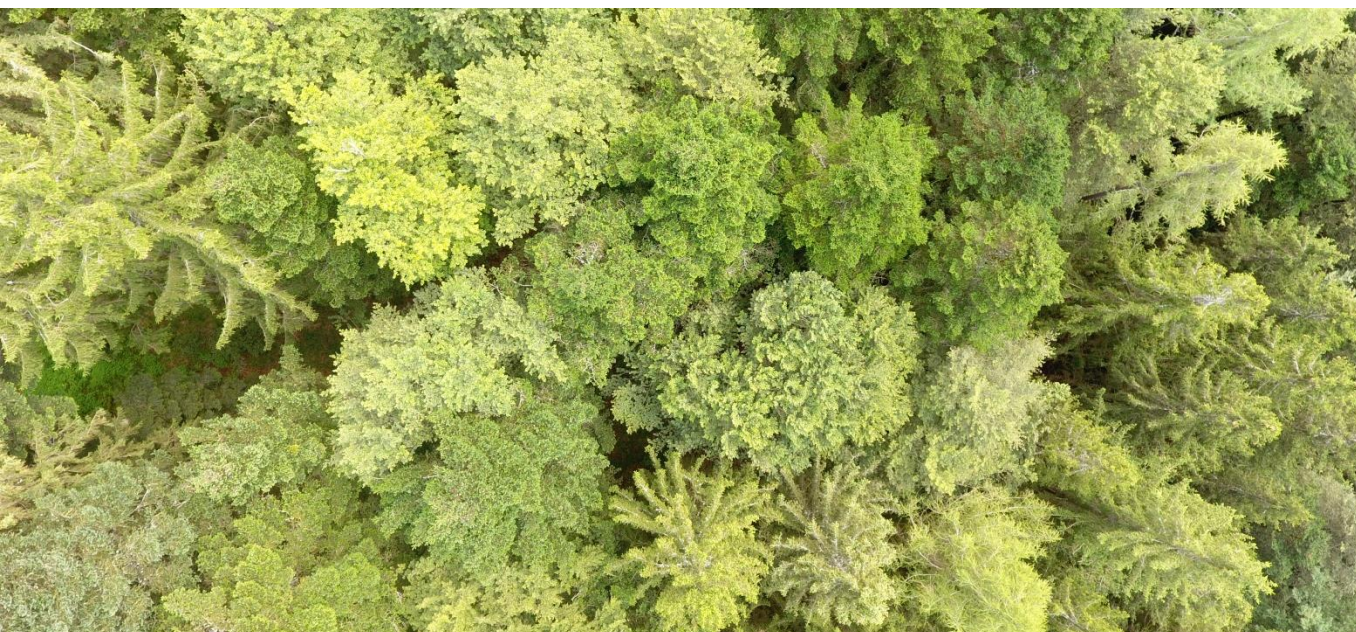
## Ergänzung des terrestrischen Monitorings durch sensor-gestützte Vitalitätserfassung

Mit dem kürzlich an der FVA Baden-Württemberg gestarteten Projekt „Unterstützung der klimaresilienten Waldbewirtschaftung mittels sensorgestützter Vitalitätserfassung“ (kurz „Wald-Vital“) soll das Potential unterschiedlicher mobiler Sensorik

(drohnengetragener Laserscanner und Multispektralkamera in Verbindung mit handgetragenem Laserscanner) für die Waldzustandserhebung untersucht werden. Neben der reinen geometrischen Beschreibung der Bestände mit Hilfe der Laserscan-Punktwolken liegt der Fokus auf einer automatisierten, in der Fläche skalierbaren Bestimmung der Baumvitalität. Übergeordnetes Ziel des Projekts ist es, mit den entwickelten Erfassungs- und Auswertungsmethoden zum Aufbau eines digitalen Waldinformationssystems beizutragen. Konkret sollen mit dem Projekt folgende Fragen beantwortet werden:

- Welche Vitalitätsparameter der Waldzustandserhebung lassen sich aus den Daten eines neuartigen, Zweiwellenlängen-Laserscanners (532 nm und 1064 nm) ableiten?
- Welche Vitalitätsparameter lassen sich aus allen Sensoren ableiten?
- Wie können die Daten von drohnengetragenen und handgetragenen Laserscanner- und Multispektral-Sensoren effizient fusioniert werden?
- Wie lassen sich die terrestrischen Messungen der letzten 30 Jahre mit aktuellen, sensorgestützten Daten ergänzen?
- Wie kann ein 3D-Waldinformationssystem einzelbaum- und bestandsweise dargestellt und in die Praxis integriert werden?

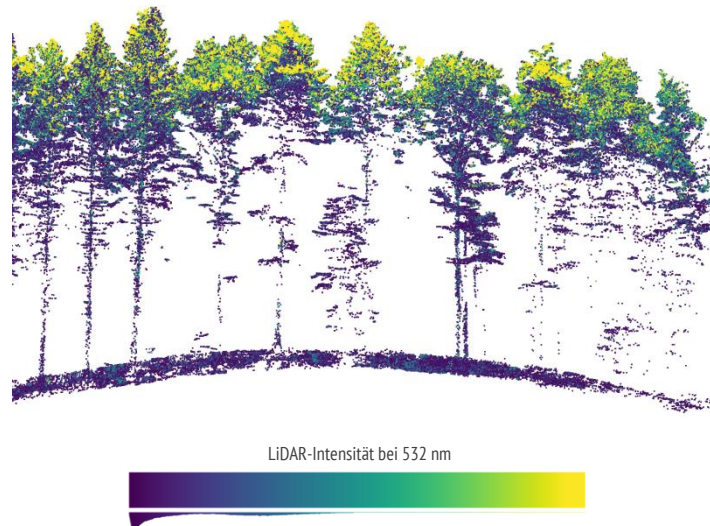
Von der FVA Baden-Württemberg und der Universität Freiburg werden hierfür unter anderem Untersuchungen auf einer der Messflächen des intensiven Ökosystemmonitorings (Level II), dem Conventwald bei Freiburg, durchgeführt. Schwerpunkt bildet die Erfassung der Versuchsflächen in einem Buchen- und



**Abb. 50:** Drohnenaufnahme der Versuchsfläche Conventwald (Foto: L. Rathmann).



einem Fichtenbestand mit Hilfe terrestrischer (TLS) und luftgestützter (ALS) Laserscanning-Verfahren. Ziel ist es, Laserpunktwolken jedes einzelnen Baums zu erhalten und ihre Vitalität mit Fernerkundungsmethoden zu charakterisieren. Erste Aufnahmen haben im Conventwald in diesem Sommer stattgefunden. Aufgetretene Probleme, wie z. B. Schwierigkeiten mit dem Startplatz der Drohne, sowie vereinzelte technische Aussetzer, werden in den folgenden Aufnahmen optimiert. Der terrestrische Laserscan verlief hingegen fehlerfrei. Weitere Aufnahmen sind für Winter 2024/25 und Sommer 2025 geplant. Bei den Datenaufnahmen wird mit einem handgehaltenen Laserscanner der Black Series von Leica (BLK2Go) die gesamte Versuchsfläche erfasst (Abb. 51). Zur gleichen Zeit wird die Fläche (ca. 1 Hektar) von einer Drohne (DJI Matrice 600 Pro) befliegen, an welcher ein neu entwickelter Zweiwellenlängen-Laserscanner und eine Multispektralkamera befestigt sind (Abb. 50). Der Laserscanner unterscheidet sich von anderen Scannern in der Hinsicht, dass er statt nur mit einer einzigen Wellenlänge mit zwei Wellenlängen misst. Gleichzeitig ist er leicht genug, um an einer kommerziell erhältlichen Drohne eingesetzt zu werden. Die Wellenlängen von 532 nm und 1064 nm wurden dabei so gewählt, dass die Intensität des rückreflektierten LiDAR-Signals prinzipiell Rückschlüsse auf die Vitalität der Bäume ermöglichen sollte. In Kombination mit einer hochauflösenden Multispektralkamera liegen somit sehr detaillierte Daten vor. Das Projektteam von WaldVital erstrebt mit diesem Ansatz neue vergleichbare Informationen zur Baumvitalität aus den Daten gewinnen zu können. Inwieweit die LiDAR-Intensität die Auswertung hinsichtlich der Baumvitalität erleichtert, ist Gegenstand der aktuellen Datenauswertung.



**Abb. 51:** Laserscan-Punktwolke einiger Probestämme der Versuchsfläche Conventwald. Die Farbgebung entspricht der gemessenen LiDAR-Intensität von niedrig (violett) zu hoch (gelb).

Als Richtwert für die Vitalität der Bäume werden zeitgleich zu den sensorischen Aufnahmen auch klassische Aufnahmen des Waldzustands nach der Methodik der terrestrischen Waldzustandserhebung (WZE) erhoben. Diese Aufnahmen werden als Referenz verwendet, um aus den sensorgestützten Daten Rückschlüsse auf die Vitalität der Bäume zu ziehen. Die gewonnenen Daten sollen in Zukunft dazu dienen, die bereits vorliegenden, über dreißigjährigen Daten aus dem terrestrischen Monitoring des Kronenzustands zu ergänzen sowie in Form eines digitalen Waldinformationssystems in Zukunft objektiver vergleichbarer zu gestalten.

## Aktuelle FVA-Projekte

### Unterstützung der klimaresilienten Waldbewirtschaftung mittels sensorgestützter Vitalitätserfassung“ („WaldVital“)

An dem Kooperationsprojekt beteiligen sich die FVA Baden-Württemberg (Koordination und Referenzdaten), das Institut für Nachhaltige Technische Systeme (INATECH) der Universität Freiburg (Hardwareintegration und Befliegung) sowie das Innovationszentrum Systemanalyse für Umwelt und Nachhaltigkeit (InnoSUN) der Steinbeis-Stiftung für Wirtschaftsförderung (Sensordatenauswertung). Die an der Drohne eingesetzten Sensoren wurden vom Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik (IPM) entwickelt und für das Projekt zur Verfügung gestellt.



[www.fva-bw.de/waldvital](http://www.fva-bw.de/waldvital)

## 9 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Die Waldzustandserhebung in Baden-Württemberg belegt im langjährigen Trend eine deutliche Zunahme der Waldschäden. Vor allem klimabedingte Belastungen wie heiße Sommertemperaturen und langanhaltende Dürren haben in den vergangenen zwanzig Jahren zu anhaltenden Vitalitätsverlusten in den Wäldern geführt und das Auftreten verschiedener Schadorganismen begünstigt. Die Schäden in den Wäldern Baden-Württembergs sind besonders nach dem extremen Sommer 2003 und den Trockenjahren 2018 bis 2020 stark angestiegen.

### Leichte Erholung in diesem Jahr

Im Jahr 2024 konnten die Wälder von zahlreichen und ergiebigen Niederschlägen profitieren, die eine gute Wasserversorgung der Bäume sicherstellten und akuten Trockenstress minimierten. Dennoch sind die Auswirkungen der vergangenen trockenen Jahre in Form von abgestorbenen Kronenteilen und schlechter Belaubung in vielen Baumkronen weiterhin sichtbar. Zudem kam es auch in diesem Sommer wieder zu einer starken Verbreitung der Fichten-Borkenkäfer. Zugleich wurde bei Laubbäumen landesweit vermehrt Blattfraß durch verschiedene Insektenarten festgestellt.

Die mittlere Kronenverlichtung der Waldbäume verringerte sich im Jahr 2024 um 1,1 Prozentpunkte auf 25,8 Prozent und liegt damit auf dem niedrigsten Wert der letzten fünf Jahre. Allerdings weisen die Wälder Baden-Württembergs auch nach der diesjährigen Erholung weiterhin ein hohes Schadniveau auf. Aktuell sind 40 Prozent der Waldfläche deutlich geschädigt, wobei der Anteil der Bäume mit einer besonders starken Kronenverlichtung (mehr als 60 Prozent) seit mehreren Jahren nahezu gleichbleibend hoch ist.

Der Kronenzustand der Fichten zeigt sich im Vergleich zum Vorjahr landesweit nahezu unverändert. Der mittlere Nadelverlust erhöhte sich nur geringfügig auf 25,5 Prozent. Die Schädigung der Fichten durch massenhaft auftretende Borkenkäferarten wie dem Buchdrucker blieb auch in diesem Jahr weiterhin sehr hoch, obwohl das kühl-feuchte Frühjahr die Käferentwicklung zunächst bremste. Dagegen ging die Belastung durch Tannenborkenkäfer deutlich zurück. Der mittlere Nadelverlust der vergleichsweise tief wurzelnden Tannen verringerte sich auf 20,4 Prozent, wobei insbesondere ältere Bäume in diesem Jahr eine sichtbare Verbesserung des Kronenzustandes aufwiesen.

Auch die mittlere Kronenverlichtung der Kiefern hat sich in diesem Jahr aufgrund der guten Wasserversorgung verringert und ist mit 28,5 Prozent zum zweiten Mal in Folge niedriger als im Vorjahr. Trotz dieser leichten Erholung bleibt der Zustand der Kiefern weiter angespannt. Die vergangenen Jahre haben mit ihren ausgeprägten Dürrephasen, langanhaltenden Hitzeperioden und milden Wintern in Kombination mit starkem Mistelbefall und Diplodia-Triebsterben die Vitalität der Kiefern erheblich geschwächt, was sich in diesem Jahr in einer auffallend hohen Ausfall- und Mortalitätsrate zeigt. Der Kronenzustand der Douglasie bleibt, nach einer Verbesserung im letzten Jahr, mit einer mittleren Kronenverlichtung von 19,3 Prozent in diesem Jahr nahezu konstant. Bei älteren Douglasien ist häufig eine Verlichtung der Baumkronen von innen nach außen festzustellen, was auf vorzeitigen Nadelverlust durch Trockenstress und/oder einen Befall durch die Rußige Douglasienschütte zurückzuführen ist. Auch die Douglasien-Gallmücke schädigt die Bäume, indem ihre Larven in junge Nadeln bohren und diese sich verkrümmen und schließlich abfallen.

Der mittlere Blattverlust der Buchen verringert sich in diesem Jahr leicht auf 31,3 Prozent. Viele Buchen haben unter der Hitze und Dürre der letzten Jahre stark gelitten, insbesondere nach dem extrem trockenen Jahr 2018, in dem der mittlere Blattverlust erheblich angestiegen war. Obwohl bereits das Jahr 2023 eher feucht und das Jahr 2024 ausgesprochen niederschlagsreich war, zeigt sich insbesondere bei älteren Buchen kaum eine Verbesserung des Kronenzustands. Die Dürreschäden der vergangenen Jahre sind häufig noch erkennbar, etwa durch fehlende Blattmasse und Totäste, ohne dass bisher eine wesentliche Regeneration der Verzweigungsstruktur erfolgt ist. In diesem Jahr ist zudem an vielen Bäumen ein etwas stärkerer Blattfraß durch den Buchenspringrüssler festzustellen. Für die Eichen zeigt sich aktuell, nach einer Verbesserung der Vitalität im letzten Jahr, eine erneute Verschlechterung des Kronenzustands. Der mittlere Blattverlust erhöht sich auf 31,6 Prozent. Neben Fraßschäden durch Schmetterlingsraupen wurden die Eichenblätter dieses Jahr häufig durch Eichenmehltau beeinträchtigt. Der wie immer vergleichsweise geringe Schädigungsgrad des Bergahorns ist auf den hohen Anteil jüngerer Bäume zurückzuführen. Der mittlere Blattverlust verringert sich dieses Jahr auf 15,1 Prozent. An stark geschwächten Bäumen ist jedoch nach den zuletzt sehr heißen und trockenen Jahren vermehrt die Ahorn-Rußrindenkrankheit zu finden, deren pilzliche Erreger am Stamm rußartige Sporenlager anlegen und



die Bäume in kürzester Zeit zum Absterben bringen. Der Kronenzustand der Eschen konnte sich in diesem Jahr aufgrund der guten Wasserversorgung zwar verbessern und der mittlere Blattverlust ist im Vergleich zum Vorjahr auf 35,4 Prozent gesunken. Jedoch leiden die Bäume weiterhin erheblich unter dem Eschentriebsterben und die Absterberate der befallenen Bäume ist nach wie vor sehr hoch.

### Schadensschwerpunkt Oberrheinebene

Von den Auswirkungen des Klimawandels besonders stark betroffen ist die Oberrheinebene, deren Klima durch hohe Temperaturen und geringe Niederschläge gekennzeichnet ist. In den dortigen Wäldern sind seit Jahren deutlich sichtbare Schäden in den Baumkronen sowie eine stark erhöhte Absterberate festzustellen. Zusätzlich wird in einigen Bereichen eine mögliche Verjüngung der Waldbestände durch eine regelmäßige Massenvermehrung des Waldmaikäfers sowie durch das Vordringen invasiver Pflanzenarten erheblich erschwert. Die zukünftigen klimatischen Verhältnisse in der Oberrheinebene verschieben sich in Bereiche, für die es im Land keinen forstlichen Erfahrungsschatz gibt. Besondere Bemühungen sind deshalb hier von Nöten, um zum einen die Entwicklung der natürlichen Rahmenbedingungen verlässlich prognostizieren zu können und tragbare Konzepte für die Waldbewirtschaftung unter Berücksichtigung der großen Unsicherheiten zu entwickeln.

### Gefährdung der Eichen durch Prachtkäfer

Die Eichenwälder in Baden-Württemberg sind in den letzten Jahren stark von Hitze und Trockenheit betroffen, was im Zusammenspiel mit dem Blattfraß durch Insekten zu einer verminderten Vitalität der Bäume führt. Die zufällige Nutzung von Eichenholz, also die ungeplante Holzernte aufgrund von Schäden, hat seit dem Dürrejahr 2018 stetig zugenommen und 2023 mit über 47.000 Festmetern den höchsten Wert seit 2001 erreicht. Das Schädgeschehen an Eichen ist komplex, da prädisponierende (z. B. bestimmte Standortseigenschaften), schadensauslösende (z. B. Witterungsereignisse oder Kahlfraß durch Schmetterlingsraupen) und schadensverstärkende (z. B. der Zweipunktige Eichenprachtkäfer) Faktoren zusammenspielen. Seit dem Jahr 2023 ist an geschwächten Eichen ein verstärkter Befall durch den Eichenprachtkäfer festzustellen, der diese zum Absterben bringen kann. In einer aktuellen Pilotstudie in der Teninger Allmend nördlich von Freiburg untersucht die FVA

Baden-Württemberg die Vitalitätsentwicklung mittelalter Eichen, um daraus Rückschlüsse auf die beteiligten Schadfaktoren zu ziehen. Eine sorgfältige Auswahl geeigneter Standorte und des Vermehrungsgutes sowie eine Waldbewirtschaftung, die auf Bodenschonung und Einzelbaumstabilität ausgerichtet ist, sind entscheidend, um den Eichenanteil langfristig zu sichern. Auch frühzeitige schadensbegrenzende Maßnahmen wie Sanitärhiebe können helfen, die weitere Ausbreitung zu verhindern und bestandesbedrohende Schädigungen abzuwehren. So wird die Eiche trotz aktueller Herausforderungen ein wichtiger Bestandteil unserer zukünftigen Wälder bleiben.

### Alternative Baumarten

Um die Widerstandskraft und Anpassungsfähigkeit der Wälder angesichts des Klimawandels zu stärken, müssen struktur- und artenreiche Mischbestände mit steigenden Anteilen an standortsheimischen, idealerweise wärmeliebenden und trockenheitstoleranten, Baumarten gefördert werden. Bisher eher seltene Baumarten wie Flaumeiche, Spitzahorn oder Flatterulme werden in den Waldbeständen der Zukunft deswegen an Bedeutung gewinnen. Voraussetzung hierfür ist der Erhalt der genetischen Vielfalt dieser Baumarten, da nur so die Anpassungsfähigkeit an sich ändernde Umweltbedingungen gewährleistet ist. Vor allem bei seltenen Baumarten können eine räumliche Isolation und kleine Populationsgrößen zu einer genetischen Verarmung führen. Mit gezielten Maßnahmen zur Generhaltung (u. a. die Ausweisung besonders schützenswerter Generhaltungsgebiete oder die Anlage von Klonarchiven mit Hilfe von Pflöpfungen) kann dem entgegengesteuert werden. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Bereitstellung von hochwertigem forstlichem Vermehrungsgut, welches in Samenplantagen oder ausgewiesenen Erntebeständen gewonnen werden kann. Vor diesem Hintergrund bemüht sich aktuell ein Projekt der FVA Baden-Württemberg um die Erhaltung seltener heimischer Baumarten. Bislang wurden landesweit Vorkommen der Baumarten Flatterulme, Feldahorn, Spitzahorn, Sommerlinde, Hainbuche und Flaumeiche erfasst und alle als Erntebestand geeigneten Vorkommen in das Erntezulassungsregister aufgenommen. Die mit dem Projekt durch die FVA angestoßenen und umgesetzten Maßnahmen tragen dazu bei, die genetische Vielfalt der Nebenbaumarten in Baden-Württemberg zu sichern und den zukünftigen Bedarf an qualitätsgeprüftem Saatgut zu decken. Die FVA strebt an, die genetische Forschung und die Zusammenarbeit über Landesgrenzen hinweg künftig zu intensivieren, um auch weitere heimische Alternativbaumarten wie Speierling und Wildapfel in den Fokus rücken zu können.

## Waldboden – der Boden des Jahres 2024

Vitalität und Widerstandskraft gegen Schädlinge der Waldbäume werden maßgeblich von ihrem Standort und vor allem den Bodenverhältnissen geprägt. Die Böden sind Wurzelraum, sie versorgen Bäume mit Wasser und Nährstoffen und erfüllen eine Vielzahl weiterer wichtiger Ökosystemleistungen. Hierzu zählen etwa die ausgleichende und reinigende Wirkung im Wasserkreislauf, die Speicherung von Kohlenstoffspeicherung oder der Abbau von Treibhausgasen. Viele wichtige Bodenfunktionen sind durch äußere Einflüsse bedroht oder bereits beeinträchtigt. So hat der jahrzehntelange Eintrag von „Sauem Regen“ die Böden massiv an Nährstoffen verarmen lassen, die immer noch zu hohen Stickstoffeinträge verändern die Nährstoffsituation zusätzlich und führen in vielen Wäldern zur Eutrophierung. Auch die Bodenverdichtung im Zusammenhang mit der Waldbenutzung und verstärkte Abbauprozesse und Erosion infolge des Klimawandels beeinträchtigen die Waldböden. Um auf die Bedeutung von Waldböden und ihre Gefährdungen hinzuweisen, wurden die Waldböden in diesem Jahr bundesweit als „Boden des Jahres“ in den Mittelpunkt gerückt. In einer Reihe von Veranstaltungen wurde auch in Baden-Württemberg das wertvolle Gut Waldboden in den Mittelpunkt gestellt. Die Auszeichnung zum „Boden des Jahres“ ist Anlass, Konzepte zum besseren Schutz der Waldböden weiterzuentwickeln und in betriebliches Handeln zu integrieren.

## Fazit

Das regenreiche Jahr 2024 brachte für die Wälder eine leichte Erholung; die Vitalität vieler Bäume ist jedoch durch die klimatische Belastung der letzten Jahre immer noch geschwächt. Es ist davon auszugehen, dass durch die langanhaltende Trockenheit im Laufe der letzten Jahre nicht nur Schäden in den Baumkronen entstanden sind. Bei intensiver Austrocknung des Bodens können auch Wurzeln in erheblichem Umfang absterben und die symbiotische Beziehung zwischen Wurzeln und Pilzen (Mykorrhiza) stark geschädigt werden. Die Regeneration derartiger Schädigungen im Wurzelbereich ist langwierig, so dass die Wasser- und Nährstoffaufnahme der Bäume über Jahre hinweg beeinträchtigt sein kann. Dies zeigt sich eindrücklich in den Daten der Waldzustandserhebung, in denen regelmäßig nach Trockenjahren zwar eine leichte Erholung des Kronenzustands zu verzeichnen ist, aber das Schadniveau nach Trockenjahren über lange Zeit hinweg auf einem hohen Niveau verharrt.

Das nasse Jahr 2024, gekennzeichnet durch außergewöhnliche Starkregen und teils lang andauernde Flusshochwasser, verdeutlicht zusammen mit den ausgeprägten Dürreperioden der zurückliegenden Jahre die drastischen Auswirkungen des Klimawandels und der zunehmenden Extremwetterlagen auf unsere Wälder. Angesichts dieser Prognosen steht die Waldbewirtschaftung in Baden-Württemberg vor großen Herausforderungen. Die Waldstrategie 2050 des Landes will hierauf Antworten finden und klimalabile Waldbestände stabilisieren, die Waldbewirtschaftung langfristig an geänderte Klimabedingungen anpassen und so die vielfältigen Ökosystemfunktionen der Wälder auch in Zukunft sichern. Als ein wichtiger Baustein hierbei wurden die landesweiten Waldentwicklungstypen weiterentwickelt, um diese an künftige Klimaverhältnisse anzupassen und den zunehmenden Ertragsunsicherheiten Rechnung zu tragen. Im Wald der Zukunft werden heute noch seltene, aber an Trockenheit und Hitze gut angepasste Nebenbaumarten an Bedeutung gewinnen. Die Sicherung des Genpools und die ausreichende Bereitstellung von sicherem Saat- und Pflanzgut sind die Voraussetzung, um den Anteil solcher Baumarten gezielt fördern zu können. Für die umfangreichen waldbaulichen Maßnahmen, die nötig sind, um die Wälder an die zukünftigen Klimaverhältnisse anzupassen, werden verlässliche Daten zum Zustand und zu beobachteten Veränderungen in Wäldern benötigt. Fernerkundungsverfahren haben hier ein großes Potenzial, um in unsicheren und hochdynamischen Zeiten zeitnahe und großflächige Informationen zur Verfügung zu stellen, um beispielsweise die frühzeitige Erkennung von Borkenkäferbefall an Fichten zu erleichtern.

Die großen Herausforderungen des Klimawandels erfordern auch eine stetige Weiterentwicklung des Forstlichen Umweltmonitorings, um die Veränderungen im Wald auch weiterhin präzise zu erfassen. Nur dann können fundierte Empfehlungen für den notwendigen Waldumbau abgeleitet und die Auswirkungen auf die Ökosystemfunktionen der Wälder eingeschätzt werden. Im Hinblick auf die Waldzustandserhebung bedeutet dies beispielsweise, stärker als bislang klimabedingte Schädigungen der Waldbestände zu differenzieren. Hierzu wurde in den letzten 20 Jahren die Schadensansprache angepasst und der Aufnahmekatalog deutlich ausgeweitet. Zudem soll künftig auch der Zustand der Waldverjüngung als zukünftiger Baumgeneration umfassender erfasst werden. Auch auf das weitere Messprogramm des Forstlichen Umweltmonitorings haben die klimawandelbedingten Veränderungen teils drastische Auswirkungen. Die bisherigen Monitoringprogramme müssen weiterentwickelt werden, um eine verlässliche Beobachtung der immer schnelleren Änderungsprozesse in verschiedensten



Waldökosystemen und über verschiedene Entwicklungsphasen von Waldbeständen zu gewährleisten. Hierfür muss das terrestrische Monitoring künftig auch durch fernerkundungsbasierte Daten ergänzt werden. Zur Unterstützung der terrestrischen Waldzustandserhebung werden dazu an der FVA aktuell sensorgestützte Verfahren zur Erfassung der Waldvitalität entwickelt und getestet.

Mit der Waldstrategie 2050 hat das Land Baden-Württemberg einen ambitionierten Weg eingeschlagen, um in einem breit angelegten, partizipativen Prozess geeignete Maßnahmen anzustoßen und umzusetzen und so die Herausforderungen der Zukunft für die Wälder und die Waldbewirtschaftung zu bewältigen. Die hierfür notwendige Transformation ist kein Prozess, der innerhalb weniger Jahre abgeschlossen werden kann, sondern muss als neue Daueraufgabe aller Waldbewirtschaftenden verstanden werden. Der Erhalt vitaler und widerstandsfähiger Wälder ist nicht nur für die Sicherung der Holzversorgung essentiell, sondern auch für den Schutz wichtiger Ökosystemleistungen der Wälder in Zukunft. Neben der übergeordneten Bedeutung als Kohlenstoffsенке stehen dabei die herausragende Bedeutung von Wäldern für das lokale und regionale Klima sowie für den Wasserkreislauf im Mittelpunkt. Die enge Zusammenarbeit der Forstwirtschaft und allen waldverbundenen Sektoren in der Waldstrategie 2050 ist entscheidend, um diese gesellschaftlich wichtigen Ökosystemleistungen auch in Zukunft sicherzustellen.

## 10 LITERATURVERZEICHNIS

- BLUHM, C.; PUHLMANN, H., HARTMANN, P. (2023): Die Bodenfauna in den Wäldern Baden-Württembergs: vielfältig, bedeutend und gefährdet. Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau, Band 113, S. 237-259.
- DELB, H. (1999): Folgewirkungen der Schwammspinner-Kalamität 1992 bis 1995 (*Lymantria dispar* L.) in einem mitteleuropäischen Eichenwaldgebiet am Beispiel des Bienwaldes in Rheinland-Pfalz. Dissertation Universität Göttingen, 154 S.
- DELB, H. (2002): Gefährdung von Eichenbeständen durch den Zweipunkt-Eichenprachtkäfer (*Agrilus biguttatus* [F.]) in Rheinland-Pfalz und Gegenmaßnahmen. Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstw. 390, S. 237-238.
- DELB, H., BURGER, M., GRÜNER, J., KAUTZ, M., WONSACK, D., WUßLER, J. (2024): Die Waldschutzsituation 2023/2024 in Baden-Württemberg. AFZ-DerWald 9/2024, S. 16-20.
- DWD (2024): [https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/pressemitteilungen\\_archiv\\_2024\\_node.html;jsessionid=5480BCA33D0AFB4E899FCA8E8FA742C2.live11042](https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/pressemitteilungen_archiv_2024_node.html;jsessionid=5480BCA33D0AFB4E899FCA8E8FA742C2.live11042). Deutscher Wetterdienst (Stand: 21.10.2024).
- FVA BADEN-WÜRTTEMBERG (2024a): Heißer August dämpft die Hoffnung auf baldiges Ende der Massenvermehrung. Borkenkäfer-Newsletter, Südwest 03/2024, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg. 5 S.
- FVA BADEN-WÜRTTEMBERG (2024b) : <https://www.fva-bw.de/daten-tools/monitoring/bundeswaldinventur>. Stand: 21.10.2024.
- FVA BADEN-WÜRTTEMBERG (2024c): Leitfaden zur Bodenschutzkalkung im Wald. Grundlagen und Konzeption sowie Berücksichtigung des Natur- und Artenschutzes, des Wasserschutzes sowie von Kulturdenkmalen. Stand 31.01.2024. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, 89 S.
- HARTMANN, P., BUBERL, H., PUHLMANN, H., SCHÄFFER, J., TREFZ-MALCHER, G., ZIRLEWAGEN, D., VON WILPERT, K. (2016): Waldböden Südwestdeutschlands – Ergebnisse der Bodenzustandserhebungen im Wald von 1989-1992 und 2006-2008. Verlag Kessel, Remagen-Oberwinter, 328 S.
- LANG, V. (2023): Methan liegt in der Luft - Waldboden als Klimarettet. *astrein*, 2022. S. 48-51.
- LOBINGER, G., BURKARDT, K., DELB, H., HAHN, A., HEIN, C., HURLING, R., ROHDE, MA., ROMMERSKIRCHEN, A., WONSACK, D. (2024): Eichenprachtkäfer und Eichensterben. AFZ/Der Wald 79 (7), S. 38-41.
- MLR BADEN-WÜRTTEMBERG (2003): Richtlinie zur Feinerschließung. Ministerium für Ernährung und Ländlicher Raum Baden-Württemberg. 27 S.
- MOOSMAYER, M. (2024): Ein Leitbild für die Hardtwälder von Rastatt bis Mannheim. AFZ-DerWald 15/2024, S. 39-42.
- PUHLMANN, H. (2023): Waldböden und ihre Wirkung auf den Wasserhaushalt. *Wasserwirtschaft*, 11, S. 16-19.
- PUHLMANN, H., HARTMANN, P., MAHLAU, L., VON WILPERT, K., HUBER, A., MOOS, J. H., JANSONE, L., DREWS, L. (2021): Regeneration-sorientierte Bodenschutzkalkung in den Wäldern Baden-Württembergs – Evaluierung der Umsetzung und der Wirksamkeit des Kalkungsprogramms in den Jahren 2010 bis 2019. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg, 286 S.
- ROTH, M., PUHLMANN, H., SUCKER, C., MICHIELS, H.-G., LASTRICO, R., MÜLLER, A.-C., WINTER, M.-B., MÜLLER-MEIBNER, A., KÄNDLER, G. (2024, unveröffentlicht): Eutrophierung – eine Gefahr für Waldlebensräume Baden-Württemberg. Abschlussbericht zum Projekt: „Validierung kritischer N-Eintragsraten für N-sensitive Waldgesellschaften“. Berichte Freiburger Forstliche Forschung. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg.
- SCHÄFFER, J., BUBERL, H., VON WILPERT, K. (2012): Deformation damages in forest topsoils—An assessment based on Level-I soil monitoring data from Baden-Württemberg (SW Germany). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175/1, S. 24-33.



SEEMANN, D., DELB, H., SCHRÖCK, H.W. (2001): Empfehlungen zur Behandlung von durch den Zweipunkt-Eichenprachtkäfer (*Agrilus biguttatus* F.) geschädigten Eichenbeständen. <https://fawf.wald.rlp.de/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=4918&token=0f6af3632105a026b9d111a6b4dd5fd8e254080c>, 4 S.

VONDERACH, C., RUMPF, S., SCHÖNFELDER, E., AHRENDT, B., SCHMIDT-WALTER, P., FLECK, S., KÖHLER, M., WEIS, W., KLINCK, U., KLINCK, C., WAGNER, M., SCHÄFF, T., KÖHLER, D., KÖLLING, C., ZIRLEWAGEN, D., VON WILPERT, K., KÄNDLER, G., NAGEL, J., PUHLMANN, H., SUCKER, C. (2018): Holznutzung und Nährstoffnachhaltigkeit – Abschlussbericht zum Projekt „Energieholzernte und stoffliche Nachhaltigkeit in Deutschland (EnNa)“. Berichte Freiburger Forstliche Forschung. Heft 101. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (Hrsg.). 375 S.

WONSACK, D., BURGER, M., HÖLAND, J., WUßLER, J., DELB, H. (2023): Regulierung des Eichenprozessionsspinners aus der Luft. *AFZ/Der Wald* 78 (20), S. 21-25.

## ANLAGEN

### Anlage 1:

Baumarten nach Altersgruppen der Waldzustandserhebung 2024

Baumart	wissenschaftlicher Name	Bäume <61 Jahre	Bäume >60 Jahre	Bäume insgesamt
Fichte	<i>Picea abies</i>	929	1.495	2.424
Tanne	<i>Abies alba</i>	218	726	944
Kiefer	<i>Pinus sylvestris</i>	69	251	320
Douglasie	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	101	54	155
Lärche	<i>Larix decidua</i> & <i>L. kaempferi</i>	18	116	134
Schwarzkiefer	<i>Pinus nigra</i>	1	4	5
Lebensbaum	<i>Thuja spp.</i>	2	0	2
Buche	<i>Fagus sylvatica</i>	545	1.442	1.987
Eiche	<i>Quercus robur</i> & <i>Q. petraea</i>	179	440	619
Bergahorn	<i>Acer pseudoplatanus</i>	180	106	286
Esche	<i>Fraxinus excelsior</i>	84	140	224
Hainbuche	<i>Carpinus betulus</i>	68	40	108
Roteiche	<i>Quercus rubra</i>	74	7	81
Linde	<i>Tilia spp.</i>	30	29	59
Spitzahorn	<i>Acer platanooides</i>	50	6	56
Vogel-Kirsche	<i>Prunus avium</i>	29	16	45
Vogelbeere	<i>Sorbus aucuparia</i>	36	7	43
Schwarzerle	<i>Alnus glutinosa</i>	25	15	40
Birke	<i>Betula spp.</i>	32	7	39
Robinie	<i>Robina pseudoacacia</i>	23	7	30
Pappel	<i>Populus hybridus</i>	0	18	18
Bergulme	<i>Ulmus glabra</i>	8	8	16
Edelkastanie	<i>Castanea sativa</i>	10	5	15
Feldahorn	<i>Acer campestre</i>	5	7	12
Weide	<i>Salix spp.</i>	9	0	9
Weißerle	<i>Alnus incana</i>	6	0	6
Walnuss	<i>Juglans regia</i>	3	2	5
Eschenahorn	<i>Acer negundo</i>	4	0	4
sonstige Laubbäume	<i>other deciduous tree</i>	3	0	3
Aspe/Zitterpappel	<i>Populus tremula</i>	2	1	3
Elsbeere	<i>Sorbus torminalis</i>	0	2	2
Schwarzpappel	<i>Populus nigra</i>	1	0	1
Blauglockenbaum	<i>Paulownia tomentosa</i>	1	0	1
<b>Gesamt</b>		<b>2.745</b>	<b>4.951</b>	<b>7.696</b>

**Anlage 2:**

Aufnahmedichte der Waldzustandserhebung von 1985 bis 2024

Jahr	Rasternetz	Anzahl Aufnahmepunkte	Anzahl Probestämme
1985	4x4 km* <sup>1</sup>	1.874	41.102
1986	4x4 km* <sup>1</sup>	1.923	42.166
1987	8x8 km* <sup>2</sup>	784	17.025
1988	8x8 km* <sup>2</sup>	792	17.183
1989	4x4 km	703	15.572
1990	16x16 km	49	1.088
1991	4x4 km	799	19.112
1992	16x16 km	48	1.152
1993	16x16 km	48	1.152
1994	4x4 km	778	18.515
1995	16x16 km	47	1.128
1996	16x16 km	47	1.128
1997	4x4 km	796	18.882
1998	16x16 km	46	1.104
1999	16x16 km	47	1.128
2000	16x16 km	48	1.145
2001	4x4 km	727	17.297
2002	16x16 km	49	1.170
2003	16x16 km	49	1.170
2004	16x16 km	48	1.146
2005	8x8 km	275	6.524
2006	8x8 km	272	6.463
2007	8x8 km	272	6.454
2008	8x8 km	277	6.590
2009	8x8 km	279	6.641
2010	8x8 km	283	6.743
2011	8x8 km	283	6.739
2012	8x8 km	292	6.951
2013	8x8 km	294	6.978
2014	8x8 km	293	6.964
2015	8x8 km	294	6.978
2016	8x8 km	306	7.256
2017	8x8 km	304	7.202
2018	8x8 km	301	7.130
2019	8x8 km	309	7.306
2020	8x8 km	306	7.191
2021	8x8 km	305	7.226
2022	8x8 km	317	7.550
2023	8x8 km	320	7.661
2024	8x8 km	321	7.696

\*<sup>1</sup> Flächen-/ Punkt- und Traufaufnahme \*<sup>2</sup> Schwarzwald verdichtet auf 4x4 km



**Anlage 3:**

Schadstufenverteilung in Prozent von 1985 bis 2024

Jahr	Schadstufe					
	0 un- geschädigt	1 schwach geschädigt	2 mittelstark geschädigt	3 stark geschädigt	4 ab- gestorben	2 bis 4 deutlich geschädigt
1985	34	39	25	2	0	27
1986	35	42	21	2	0	23
1987	40	39	20	2	0	21
1988	41	42	16	1	0	17
1989	40	40	18	2	0	20
1990	37	44	17	2	0	19
1991	39	44	16	1	0	17
1992	26	50	21	2	1	24
1993	23	46	27	3	1	31
1994	35	40	23	2	0	25
1995	29	44	25	2	0	27
1996	25	40	34	1	0	35
1997	40	41	18	1	0	19
1998	32	44	23	1	0	24
1999	31	44	24	1	0	25
2000	38	38	23	1	0	24
2001	29	42	27	2	0	29
2002	37	39	22	2	0	24
2003	26	45	28	1	0	29
2004	23	37	36	4	0	40
2005	19	38	40	3	0	43
2006	23	32	40	5	0	45
2007	22	38	36	4	0	40
2008	25	40	32	3	0	35
2009	26	32	38	4	0	42
2010	32	33	32	3	0	35
2011	38	29	30	3	0	33
2012	26	38	33	3	0	36
2013	33	32	32	3	0	35
2014	24	34	39	3	0	42
2015	29	35	33	3	0	36
2016	30	33	33	3	1	37
2017	31	38	28	3	0	31
2018	25	37	33	4	1	38
2019	20	37	38	4	1	43
2020	20	34	40	4	2	46
2021	21	37	37	4	1	42
2022	17	37	40	5	1	46
2023	22	34	39	3	2	44
2024	24	36	35	3	2	40

**Anlage 4:**

Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2024 in den Landkreisen

Landkreis	Anzahl aufgenommene Bäume	bis 60 Jahre Anteil Schadstufe 2-4 [%]	ab 61 Jahre Anteil Schadstufe 2-4 [%]	mittl. Nadel-/Blattverlust gesamt [%]	95%-Konfidenzintervall (+/-)	Anteil Bäume ab 50% Nadel-/Blattverlust	Verhältnis Baumart N:h:Lh [%]	Verhältnis Alter bis 60: ab 61 [%]	mittleres Probestaumenalter
Alb-Donau-Kreis	192	k.A.	81	34,7	1,80	7,3	36:64	18:82	95
Baden-Baden	48	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Biberach	288	18	75	27,3	2,27	5,6	68:32	60:40	60
Bodenseekreis	96	k.A.	74	27,7	2,90	4,2	32:68	35:65	74
Böblingen	168	8	61	26,3	3,06	7,7	20:80	35:65	99
Breisgau Hochschwarzwald	306	12	43	25,6	2,27	7,2	63:37	40:60	86
Calw	264	2	49	17,0	2,13	2,7	59:41	46:54	75
Emmendingen	168	20	62	30,1	2,59	8,9	57:43	32:68	85
Enzkreis	192	k.A.	88	45,9	2,89	26,6	7:93	0:100	111
Esslingen	120	k.A.	53	30,6	2,38	6,7	34:66	15:85	89
Freiburg im Breisgau	24	k.A.	k.A.	16	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Freudenstadt	384	5	61	27,0	1,97	8,6	81:19	21:79	105
Göppingen	120	k.A.	65	27,5	2,47	2,5	64:36	20:80	79
Heidelberg	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Heidenheim	120	k.A.	72	23,0	3,36	5,8	45:55	40:60	84
Heilbronn	96	k.A.	56	24,9	2,87	5,2	0:100	25:75	85
Heilbronn-Stadt	24	k.A.	k.A.	40	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Hohenlohekreis	144	21	k.A.	26,7	3,80	13,2	10:90	79:21	55
Karlsruhe	264	18	64	25,4	2,16	6,1	33:67	53:47	67
Karlsruhe-Stadt	24	k.A.	k.A.	34	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Konstanz	96	k.A.	69	34,9	3,25	6,3	32:68	3:97	110
Lörrach	264	4	48	22,3	1,82	2,3	31:69	39:61	80
Ludwigsburg	72	k.A.	60	35,5	5,90	13,9	24:76	3:97	89
Main-Tauber-Kreis	216	8	71	29,0	2,06	8,3	17:83	25:75	84
Mannheim	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Neckar-Odenwald-Kreis	288	15	71	32,8	2,24	10,8	26:74	23:77	94
Ortenaukreis	552	12	50	23,0	1,40	4,5	66:34	51:49	73
Ostalbkreis	288	10	66	26,5	2,07	6,9	59:41	32:68	75
Pforzheim	24	k.A.	k.A.	10	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Rastatt	192	13	65	26,7	2,72	7,8	68:32	35:65	100
Ravensburg	336	2	68	20,6	1,50	1,8	75:25	70:30	46
Rems-Murr-Kreis	168	0	61	24,7	3,24	7,1	60:40	35:65	81
Reutlingen	190	17	75	32,1	2,39	7,4	36:64	32:68	82
Rhein-Neckar-Kreis	216	48	75	34,5	2,51	14,4	28:72	28:72	97
Rottweil	216	8	51	25,2	2,31	6,0	83:17	28:72	84
Schwäbisch Hall	168	k.A.	60	30,7	3,28	14,3	35:65	29:71	89
Schwarzwald-Baar-Kreis	264	5	43	26,9	1,94	5,7	94:6	22:78	100
Sigmaringen	288	6	82	28,6	1,86	4,9	90:10	49:51	62
Stuttgart	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tübingen	144	k.A.	75	33,0	3,63	10,4	44:56	34:66	88
Tuttlingen	168	k.A.	76	33,3	1,89	3,0	81:19	27:73	85
Ulm	24	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Waldshut	288	6	55	30,7	2,48	10,4	61:39	27:73	96
Zollernalbkreis	192	11	79	29,1	2,23	8,9	34:66	49:51	64

k.A.: keine Angabe für Landkreise mit weniger als 50 Bäumen in der Stichprobe der Waldzustandserhebung